

Trabajo Fin de Máster

EVALUACIÓN DEL ERROR GLOBAL DE
CONTADORES DE AGUA DOMÉSTICOS Y
ANÁLISIS DE SU DEGRADACIÓN A PARTIR
DE UNA MUESTRA REAL. ANÁLISIS
ECONÓMICO COMO CRITERIO DE
RENOVACIÓN

Intensificación: *HIDRAULICA URBANA*

Autor:

ANDRES SANCHEZ CORDERO

Director:

DR. FRANCISCO ARREGUI DE LA CRUZ

Codirector:

DR. JAVIER SORIANO OLIVARES

SEPTIEMBRE, 2015



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título: EVALUACIÓN DEL ERROR GLOBAL DE CONTADORES DE AGUA DOMÉSTICOS Y ANÁLISIS DE SU DEGRADACIÓN A PARTIR DE UNA MUESTRA REAL. ANÁLISIS ECONÓMICO COMO CRITERIO DE RENOVACIÓN.

Alumno: ANDRÉS SÁNCHEZ CORDERO

E-mail: ascspanchez83@hotmail.com

Director: DR. FRANCISCO ARREGUI DE LA CRUZ

Codirector: DR. JAVIER SORIANO OLIVARES

Fecha de lectura: SEPTIEMBRE, 2015

Resumen

Partiendo de consideraciones ambientales y económicas, la importancia de mantener un parque de contadores de agua en buen estado es esencial para la sostenibilidad del abastecimiento. Pese a esto, y al ser el contador el único elemento de control con el que cuenta la empresa para conocer el consumo de los usuarios, no siempre se le da la importancia que se merece.

Los contadores, al igual que cualquier otro dispositivo están sujetos a desgaste y con el paso del tiempo, pierden la calidad de medición requerida. Es por esto, que es de importancia para la empresa elegir de entre las tecnologías de medición existentes, la que mejor se ajuste a las condiciones particulares del abastecimiento, teniendo en cuenta además el aumento de los errores de medición con el paso del tiempo.

Puesto que la gestión del parque de contadores comprende toda la vida útil de este dispositivo (desde su selección hasta la renovación), con este trabajo fin de máster se pretende facilitar al gestor del parque de contadores un procedimiento de análisis útil a la hora de realizar la selección de los contadores.

En el presente trabajo se hace un estudio del funcionamiento de contadores de chorro único, siendo ésta la tecnología más utilizada para la medición del consumo de usuarios del entorno residencial. También se hace un análisis de los principales factores que afectan a la precisión en este tipo de contadores, del procedimiento para la determinación de la curva de error en laboratorio y de las influencias de las pautas de consumo de los usuarios (estos dos últimos con el fin de determinar su error ponderado).

De forma complementaria, se analiza la degradación del error ponderado en función de las variables edad y volumen acumulado para posteriormente determinar el período óptimo de renovación mediante criterios económicos.

Para esto, se seleccionó una muestra de contadores de chorro único con características similares de funcionamiento y de un modelo comercial en concreto, instalados en viviendas de la ciudad de estudio. El patrón de consumo usado, es el determinado por la empresa FACSA.

La muestra de contadores se ensayó en laboratorio a diferentes caudales, teniendo especial interés el comportamiento a caudales bajos puesto que a estos caudales es donde los contadores tienen mayor error de medición.

El objetivo del ensayo consiste en comparar el volumen que registran los contadores con el que se mide de forma volumétrica en las probetas del banco de ensayo. Al comparar dichos volúmenes para diferentes caudales se obtiene la curva de error, la cual combinada con el patrón de consumo de los usuarios domésticos permiten conocer el error ponderado, siendo éste una medida del rendimiento real de los contadores al registrar el consumo de agua para un usuario determinado. Procediendo de la misma manera para diferentes contadores y tipos de usuarios del abastecimiento, permitirían conocer el error global conjunto del parque de contadores.

Con los resultados obtenidos, se realiza un estudio económico mediante un análisis de sensibilidad de las variables que intervienen (como por ejemplo el costo del agua por metro cúbico), en aras de estimar el período óptimo de renovación.

Finalmente, cabe señalar que, aunque en muchas ocasiones los criterios de renovación vienen regidos por reglamentos internos de las empresas (por ejemplo limitando el número de años en servicio), o por fallo finalista del contador (cuando éste se detiene por completo), estudios como el presente podrían ser de utilidad para revisar dichos criterios. Así también, los resultados podrían ser de interés para los propios fabricantes, siendo un punto de referencia para garantizar mejoras en el diseño de este tipo de dispositivos.

Resum

Partint de consideracions ambientals i econòmiques, la importància de mantindre un parc de comptadors d'aigua en bon estat és essencial per a la sostenibilitat de l'abastiment. Malgrat açò, i al ser el comptador l'únic element de control amb què compta l'empresa per a conèixer el consum dels usuaris, no sempre se li dóna la importància que es mereix.

Els comptadors, igual que qualsevol altre dispositiu estan subjectes a desgast i amb el pas del temps, perden la qualitat de mesurament requerida. És per açò, que és d'importància per a l'empresa triar d'entre les tecnologies de mesurament existent, la que millor s'ajuste a les condicions particulars de l'abastiment, tenint en compte a més l'augment dels errors de mesurament amb el pas del temps.

Donat que la gestió del parc de comptadors comprén tota la vida útil d'este dispositiu (des de la seua selecció fins a la renovació) , amb este treball fi de màster es pretén facilitar al gestor del parc de comptadors un procediment d'anàlisi útil a l'hora de realitzar la selecció dels comptadors.

En el present treball es fa un estudi del funcionament de comptadors de doll únic, sent esta la tecnologia més utilitzada per al mesurament del consum d'usuaris de l'entorn residencial. També es fa una anàlisi dels principals factors que afecten la precisió en este tipus de comptadors, del procediment per a la determinació de la

corba d'error en laboratori i de les influències de les pautes de consum dels usuaris (estos dos últims a fi de determinar el seu error ponderat).

De forma complementària, s'analitza la degradació de l'error ponderat en funció de les variables edat i volum acumulat per a posteriorment determinar el període òptim de renovació per mitjà de criteris econòmics. Per a açò, es va seleccionar una mostra de comptadors de doll únic amb característiques semblants de funcionament i d'un model comercial en concret, instal·lats en vivendes de la ciutat d'estudi. El patró de consum utilitzat, és el determinat per l'empresa FACSA.

La mostra de comptadors es va assajar en laboratori a diferents cabals, tenint especial interès el comportament a cabals baixos ja que a estos cabals és on els comptadors tenen major error de mesurament. L'objectiu de l'assaig consistix a comparar el volum que registren els comptadors amb què es mesura de forma volumètrica en les provetes del banc d'assaig. Al comparar els nomenats volums per a diferents cabals s'obté la corba d'error, la qual combinada amb el patró de consum dels usuaris domèstics permeten conèixer l'error ponderat, sent este una mesura del rendiment real dels comptadors al registrar el consum d'aigua per a un usuari determinat. Procedint de la mateixa manera per a diferents comptadors i tipus d'usuaris de l'abastiment, permetrien conèixer l'error global conjunt del parc de comptadors.

Amb els resultats obtinguts, es realitza un estudi econòmic per mitjà d'una anàlisi de sensibilitat de les variables que intervenen (com per exemple el cost de l'aigua per metre cúbic) , a fi d'estimar el període òptim de renovació.

Finalment, cal assenyalar que, encara que moltes vegades els criteris de renovació vénen regits per reglaments interns de les empreses (per exemple limitant el nombre d'anys en servici) , o per fallada finalista del comptador (quan este es deté per complet) , estudis com el present podrien ser d'utilitat per a revisar aquests criteris. Així també, els resultats podrien ser d'interés per als propis fabricants, sent un punt de referència per a garantir millores en el disseny d'este tipus de dispositius.

Abstract

Based on environmental and economic considerations, the importance of maintaining water meters in optimal conditions is essential for sustainability of supply. Despite this, and water meters being the only control element that the company possesses in order to identify its users consumption levels, it is not always given the importance it deserves.

Water meters, like any other device are subject to wear and deteriorate over time and as a result, they lose the required accuracy of measurement. For this reason, is important for the company to choose from the existing measurement technologies the one that best suits its supply conditions, taking into account the increased measurement errors that occur over time.

Since the duration of water meters depends on the effective management of these devices (from selection to renewal), the purpose of this final master's project is to provide to managers a useful procedure of analysis that can be applied when selecting the meters for its supply.

This project presents a study of the performance of single-jet meters, which is the technology most widely applied to measure user consumption of the residential environment. Additionally, the main factors that affect the accuracy in these meters, the procedure for determining the curve of error in the laboratory, and the influences of the consumption pattern of users will be analyzed (these two last elements will be explored in order to determine the weighted error).

In a complementary manner, the degradation of the weighted error, in function of variables such as age and cumulative volume, is analyzed in order to later determine the optimum renewal period according to economic criteria. For this purpose, a sample of single-jet meters with similar performance characteristics and a specific commercial model, installed in homes in the city of study was selected. The consumption pattern of the water supply used was determined by the company FACSA.

The sample of water meters is tested in a laboratory at different flow rates, drawing particular attention to the lower flow rates, since it is at these rates that the meters demonstrate increased measurement error. The objective of this experiment is to compare the volume registered by the meters against the registered volumetrically by the tanks of the test bench. By comparing the differences of these volumes applied to different currents, the error curve will be able to be identified and this, combined with the consumption pattern of domestic users, will provide information about the weighted error, being this a measure of the real performance of a water meter when registering the water consumption of a given type of user. The use of these same procedures applied to different meters and users of the supply will help to determine global error of the meters of the water company.

With the obtained results, an economic study was performed through a sensitivity analysis of the variables involved (such as the cost of water per cubic meter), in order to estimate the optimum renewal period.

Finally, it should be noted that, although in many cases the renewal criteria is governed by internal company regulations (for example by limiting the number of years in service), or by failure finalist of the meter (when it completely stops working), studies like this one can be seen as a helpful tool to review this criteria. In addition, the results could be of interest for the manufacturers themselves, serving as a point of reference to ensure improvements in the design of these devices.

Palabras clave: errores de medición, pérdidas aparentes, gestión de contadores de agua.

Paraules Claus: error de mesurament, pèrdues aparents, gestió comptadors d'aigua.

Keywords: Water meter errors; apparent losses; water meters management

INDICE

1. INTRODUCCION	1
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. OBJETIVOS	4
1.3. ESTRUCTURA DEL PROYECTO	5
2. CONSIDERACIONES Y CONCEPTOS PREVIOS	7
2.1. METROLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS CONTADORES DE CHORRO ÚNICO.....	8
2.2. FACTORES QUE AFECTAN A LA PRECISIÓN DE LA MEDICIÓN	11
2.2.1. Factores que afectan la precisión en contadores domésticos.....	11
2.2.2. Factores que afectan la precisión de contadores no domésticos.....	15
2.2.3. Posibles causas de sobrecontaje en contadores de chorro único.....	17
2.3. CURVA DE ERROR DE UN CONTADOR Y SUS PARÁMETROS	19
2.3.1. Parámetros metroológicos de los contadores	19
2.3.2. Parámetros Técnicos	22
2.4. NORMATIVA.....	25
2.4.1. ISO 4064:1993.....	25
2.4.2. ISO 4064:2005.....	28
2.4.3. Recomendaciones de la OIMIL.....	33
3. MATERIALES Y METODOS	35
3.1. DETERMINACIÓN DEL ERROR PONDERADO DE CONTADORES.....	36
3.1.1. Características del modelo de contador analizado.....	36
3.1.2. Descripción de los ensayos en laboratorio.....	39
3.1.3. Determinación de la curva de error	52
3.1.4. Construcción de la curva de error	55
3.1.5. Muestreo del parque de contadores.....	58
3.1.6. Determinación del patrón de consumo.....	61
3.1.7. Procedimiento para la obtención del patrón de consumo	63
3.1.8. Cálculo del error de medición (error ponderado).....	65
3.1.9. Error global de medición de un parque de contadores.....	67
3.1.10. El programa Woltmann	68
3.2. ESTUDIO ECONÓMICO Y PERIODO DE RENOVACIÓN	70
3.2.1. Introducción.....	70
3.2.2. Valor actual neto (VAN)	72
3.2.3. Parámetros que influyen en el período óptimo de renovación	74
3.2.4. Casos de estudio	78

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS	88
4.1. INTRODUCCIÓN.....	89
4.2. ANÁLISIS DE LA MUESTRA TOMADA DEL PARQUE DE CONTADORES.....	92
4.3. ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE ERROR DE LA MUESTRA DE CONTADORES.....	96
4.4. ANÁLISIS DE LOS CONTADORES DEFECTUOSOS	100
4.4.1. Análisis por edad de contadores defectuosos.....	100
4.4.2. Análisis por volumen acumulado de contadores defectuosos.....	101
4.5. ANÁLISIS DEL ERROR PONDERADO DE LA MUESTRA DE CONTADORES	102
4.6. ANÁLISIS DE LOS CONTADORES NO DEFECTUOSOS	105
4.7. ERROR GLOBAL DEL PARQUE DE CONTADORES.....	109
4.8. ANÁLISIS DEL ERROR PONDERADO	110
4.8.1. Error ponderado con la edad	111
4.8.2. Error ponderado con el volumen acumulado	114
4.8.3. Error ponderado considerando el volumen acumulado y la edad ...	118
4.9. RESULTADOS DEL ESTUDIO ECONÓMICO Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	125
4.9.1. Modelo de degradación del error ponderado con la edad.....	127
4.9.2. Modelo de degradación del error ponderado con el volumen	135
4.9.3. Comparación, según el modelo en función de la edad y del volumen acumulado	138
4.10. EJEMPLO DE APLICACIÓN A UN CASO PARTICULAR	141
4.10.1. Período óptimo de renovación en función de la edad	142
4.10.2. Período óptimo de renovación en función del volumen acumulado	142
4.10.3. Período óptimo de renovación en función de la edad y volumen	143
5. CONCLUSIONES	144
6. BIBLIOGRAFIA	146
7. ANEXOS.....	149
I. ERRORES DE MEDICIÓN DETERMINADOS EN CADA CONTADOR	149
II. IDENTIFICACIÓN DE ABERRANTES.	158
III. AJUSTES DEL ERROR PONDERADO.	161
a) Ajuste en función de la edad	161
b) Ajuste en función del Volumen acumulado.	164
c) Ajuste en función de la edad y volumen acumulado.	167

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 ASPECTO DEL CONTADOR ENSAYADO. MARCACIÓN	10
FIGURA 2 OBSTRUCCIÓN DEL FILTRO.....	12
FIGURA 3 INSTALACIÓN PRECARIA DE UN CONTADOR EN CONDICIONES DE SERVICIO.	15
FIGURA 4 INSTALACIÓN ERRÓNEA DE UN CONTADOR.....	16
FIGURA 5 DEPOSICIONES EN LA TOBERA DEL CONTADOR.	17
FIGURA 6 CURVA DE ERROR DE MEDICIÓN CON SUS ZONAS CARACTERÍSTICAS.....	20
FIGURA 7 PARÁMETROS DE LA CURVA DE ERROR DE UN CONTADOR DE AGUA.....	21
FIGURA 8 CLASES METROLÓGICAS PARA CONTADORES CON $Q_P=1.5 \text{ m}^3/\text{H}$ ISO 4064:1993.....	27
FIGURA 9 CLASES METROLÓGICAS PARA CONTADORES CON $Q_3=1.5 \text{ m}^3/\text{H}$. ISO 4064:2005	30
FIGURA 10 MARCACIÓN DEL CONTADOR ENSAYADO	37
FIGURA 11 MARCACIÓN EN UNA VERSIÓN MÁS ANTIGUA DEL MODELO ENSAYADO.....	38
FIGURA 12 COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBA DEL ITA UTILIZADO	40
FIGURA 13 COMPONENTES DEL GRUPO DE BOMBEO DEL BANCO DE ENSAYO.....	40
FIGURA 14 LÍNEAS USADAS PARA ENSAYOS A CAUDALES BAJOS, MEDIOS Y ALTOS	41
FIGURA 15 VÁLVULA DE ACCIONAMIENTO PRINCIPAL	42
FIGURA 16 TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA COMPARACIÓN DEL VOLUMEN AFORADO.....	43
FIGURA 17 REGLAS PARA MEDICIÓN DE VOLUMEN AFORADO.....	43
FIGURA 18 CRONÓMETRO UTILIZADO.	44
FIGURA 19 CAUDALÍMETROS Y SENSORES USADOS SEGÚN EL CAUDAL DE PRUEBA	44
FIGURA 20 CALDERINES PARA MANTENER UN FLUJO ESTABLE	45
FIGURA 21 MANÓMETRO	46
FIGURA 22 COLOCACIÓN DE UN CONTADOR EN EL BANCO DE ENSAYO	47
FIGURA 23 RODILLOS MAL SINCRONIZADOS	48
FIGURA 24 EMPAQUE Y MANTENIMIENTO PREVIAS AL ENSAYO.....	49
FIGURA 25 COMPARACIÓN DE LA CURVA REAL VS LA CONSTRUIDA RECOMENDADA POR LA AWWA.....	53
FIGURA 26 EVOLUCIÓN DE LA CURVA DE ERROR EN FUNCIÓN DE LA EDAD.....	54
FIGURA 27 CURVA DE ERROR EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN ACUMULADO.....	55
FIGURA 28 CURVAS DE ERROR DE UN ENSAYO A DIFERENTES CAUDALES	57
FIGURA 29 TAPONAMIENTO DEL FILTRO DEL CONTADOR IDENTIFICADO CON C4	58
FIGURA 30 INTERVALOS DE CONFIANZA EN CADA CAUDAL DE PRUEBA.....	60
FIGURA 31 PATRÓN DE CONSUMO DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO PROPORCIONADO POR LA EMPRESA FACSA	63
FIGURA 32 CURVA DE ERROR RECONSTRUIDA.	66
FIGURA 33 REPRESENTACIÓN DE DINERO FUTURO TRASLADADO A VALOR ACTUAL MEDIANTE EL VAN	73
FIGURA 34 PORCENTAJE DE PRECIO ($\text{€}/\text{M}^3$) PARA ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO	76
FIGURA 35 PRECIOS DE AGUA EN CIUDADES ESPAÑOLAS	76
FIGURA 36 PRECIOS DE AGUA EN CIUDADES EUROPEAS	77
FIGURA 37 VARIACIÓN DEL VAN CON LA TASA DE DETERIORO	81
FIGURA 38 VARIACIÓN DEL VAN CON LA TASA DE DETERIORO PRECIO DEL AGUA 1€	81
FIGURA 39 ESTIMACIÓN DEL PERÍODO DE RENOVACIÓN ÓPTIMO. CONSTRUCCIÓN DEL MÉTODO GRÁFICO.	86
FIGURA 40 TIEMPO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN. MÉTODO GRÁFICO (ARREGUI, 2006).....	87
FIGURA 41 BALANCE DE AGUA PROPUESTO POR LA IWA	89
FIGURA 42 DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA POR EDAD	92
FIGURA 43 NÚMERO DE CONTADORES DE LA MUESTRA POR EDAD.....	93
FIGURA 44 ESTRATIFICACIÓN DE LA MUESTRA POR VOLUMEN ACUMULADO EN INTERVALOS DE 100 m^3	94
FIGURA 45 ESTRATIFICACIÓN DE LA MUESTRA POR VOLUMEN ACUMULADO EN INTERVALOS DE 250 m^3	94
FIGURA 46 CURVAS DE ERROR DE UN ENSAYO ALEATORIO.....	96
FIGURA 47 CURVAS DE ERROR POR SOBRECANTAJE EN CONTADORES ANÓMALOS	97
FIGURA 48 TAPONAMIENTO EN EL FILTRO QUE DABA LUGAR A SOBRECANTAJE	97
FIGURA 49 CURVAS DE ERROR DE CONTADORES ANÓMALOS ENCONTRADOS EN LA MUESTRA	98
FIGURA 50 CURVAS DE ERROR DE CONTADORES ANÓMALOS. IDENTIFICACIÓN PARA EXCLUSIÓN EN EL ANÁLISIS.	98

FIGURA 51 DISTRIBUCIÓN DE CONTADORES DEFECTUOSOS, SEGÚN EDAD	100
FIGURA 52 PORCENTAJE DE CONTADORES DEFECTUOSOS SEGÚN EL VOLUMEN ACUMULADO	101
FIGURA 53 IDENTIFICACIÓN DE VALORES ATÍPICOS EN EL PROGRAMA STATGRAPHICS	102
FIGURA 54 VALORES ABERRANTES DEL ERROR PONDERADO.	103
FIGURA 55 CURVA DE ERROR DE MEDICIÓN ANÓMALA, PARA EXPLICACIÓN DE ELIMINACIÓN DE ABERRANTES	103
FIGURA 56 ELIMINACIÓN DE VALORES ATÍPICOS	104
FIGURA 57 CURVA DE ERROR PROMEDIO CON SUS LÍMITES DE CONFIANZA DE LA MUESTRA DE CONTADORES	105
FIGURA 58 CURVA DE ERROR EN FUNCIÓN DE LA EDAD	106
FIGURA 59 CURVA DE ERROR EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN ACUMULADO	107
FIGURA 60 DEGRADACIÓN DEL ERROR DE MEDICIÓN A CADA CAUDAL DE ENSAYO CON LA EDAD	108
FIGURA 61 EVOLUCIÓN DEL ERROR A DIFERENTES CAUDALES CON EL VOLUMEN ACUMULADO	109
FIGURA 62 COMPONENTES DE LAS PÉRDIDAS APARENTES	111
FIGURA 63 DEGRADACIÓN DEL ERROR PONDERADO CON LA EDAD. LÍMITES DE PREDICCIÓN	113
FIGURA 64 DEGRADACIÓN DEL ERROR PONDERADO CON LA EDAD. VOLUMEN ACUMULADO PROMEDIO	113
FIGURA 65 DEGRADACIÓN DEL ERROR PONDERADO CON LA EDAD. INTERVALOS DE CONFIANZA PARA CADA EDAD.	114
FIGURA 66 DISPERSIÓN DEL ERROR PONDERADO CON EL VOLUMEN ACUMULADO.	115
FIGURA 67 DEGRADACIÓN DEL ERROR PONDERADO CON EL VOLUMEN ACUMULADO. INTERVALOS DE CONFIANZA	115
FIGURA 68 MODELO AJUSTADO DE DEGRADACIÓN CON EL VOLUMEN ACUMULADO. INTERVALOS DE PREDICCIÓN	116
FIGURA 69 INTERVALO DE PREDICCIÓN PARA UN VOLUMEN ACUMULADO DE 4000m ³	117
FIGURA 70 DEGRADACIÓN DEL ERROR PONDERADO CON LA EDAD Y EL VOLUMEN ACUMULADO	118
FIGURA 71 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTADORES POR EDAD Y VOLUMEN ACUMULADO	119
FIGURA 72 DEGRADACIÓN DEL ERROR EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN ACUMULADO Y EDAD	121
FIGURA 73 DEGRADACIÓN CON EL VOLUMEN ACUMULADO Y EDAD 3 AÑOS	121
FIGURA 74 DEGRADACIÓN CON EL VOLUMEN ACUMULADO Y EDAD 4 AÑOS	122
FIGURA 75 DEGRADACIÓN DEL ERROR CON EL VOLUMEN ACUMULADO Y EDAD 5 AÑOS	122
FIGURA 76 AJUSTE DE LA DEGRADACIÓN DEL ERROR PONDERADO CON LA EDAD Y EL VOLUMEN	122
FIGURA 77 DEGRADACIÓN DEL ERROR PONDERADO MEDIANTE REGRESIÓN MÚLTIPLE	124
FIGURA 78 PARÁMETROS DE AJUSTE DE LA DEGRADACIÓN DEL ERROR A TRAVÉS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE	124
FIGURA 79 PORCENTAJE DEL PRECIO DE AGUA DEDICADO A CADA CONCEPTO	126
FIGURA 80 PRECIO DEL AGUA PROMEDIO CORRESPONDIENTE A ABASTECIMIENTO EN CIUDADES ESPAÑOLAS	126
FIGURA 81 CONSTRUCCIÓN DEL MÉTODO GRÁFICO PARA DETERMINAR EL PERÍODO DE RENOVACIÓN ÓPTIMO	130
FIGURA 82 VARIACIÓN DE LA VIDA ÚTIL CON LOS COSTOS INICIALES	131
FIGURA 83 ESTUDIO ECONÓMICO. SENSIBILIDAD RESPECTO AL PRECIO DEL AGUA	133
FIGURA 84 PERÍODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN. VARIACIÓN CON LA TASA DE DETERIORO	134
FIGURA 85 PRECIO DEL AGUA Y VOLUMEN REGISTRADO MÁXIMO PERMITIDO	137
FIGURA 86 COMPARACIÓN DEL PERÍODO DE RENOVACIÓN ÓPTIMO ENTRE EL MODELO EN FUNCIÓN DE LA EDAD Y VOLUMEN ACUMULADO	139
FIGURA 87 COMPARACIÓN DEL PERÍODO DE RENOVACIÓN ÓPTIMO ENTRE EL MODELO EN FUNCIÓN DE LA EDAD Y VOLUMEN ACUMULADO	140

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 CLASES METROLÓGICAS SEGÚN ISO 4064-1993 EN FUNCIÓN DE SU CAUDAL PERMANENTE.....	26
TABLA 2 CAUDALES CARACTERÍSTICOS POR CLASE METROLÓGICA.....	26
TABLA 3 VALORES ADMISIBLES PARA CAUDAL PERMANENTE	29
TABLA 4 VALORES ADMISIBLES PARA EL RATIO Q_3/Q_1	29
TABLA 5 CLASES DE CONTADOR SEGÚN LA PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO ISO 4064:2005.....	30
TABLA 6 CLASES DE CONTADOR SEGÚN LA TEMPERATURA DE TRABAJO ISO 4064:2005	31
TABLA 7 CLASES DE CONTADOR SEGÚN LA PÉRDIDA DE PRESIÓN MÁXIMA	31
TABLA 8 CLASES DE CONTADOR SEGÚN LA SENSIBILIDAD A DISTORSIONES PRODUCIDAS AGUAS ARRIBA ISO 4064:2005.....	32
TABLA 9 CLASES DE CONTADOR SEGÚN LA SENSIBILIDAD A DISTORSIONES PRODUCIDAS AGUAS ABAJO ISO 4064:2005	32
TABLA 10 RANGOS MÍNIMOS DE LECTURA PARA EL DISPOSITIVO INDICADOR ISO 4064:2005	32
TABLA 11 CLASES DE EXACTITUD SEGÚN LA OIML R-49:2003	33
TABLA 12 RANGO MÍNIMO DE LECTURA PARA EL DISPOSITIVO DE INDICACIÓN	34
TABLA 13 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MODELO DE CONTADOR ENSAYADO, SEGÚN EL FABRICANTE.....	36
TABLA 14 CAUDALES DE PRUEBA, ORDEN EN QUE FUERON ENSAYADOS Y SU DURACIÓN	50
TABLA 15 CAUDALES RECOMENDADOS DE ENSAYO SEGÚN LA CLASE DE CONTADOR Y TIPO DE VIVIENDA	52
TABLA 16 RESULTADOS DEL ENSAYO DE EJEMPLO	57
TABLA 17 VALOR Z PARA DISTINTOS NIVELES DE CONFIANZA	59
TABLA 18 PATRONES DE CONSUMO EN ESPAÑA POR TIPO DE VIVIENDA (ARREGUI, 2002)	62
TABLA 19 EJEMPLO DE CORRECCIÓN DEL CONSUMO REAL EN CADA RANGO, CONSIDERANDO EL ERROR DEL CONTADOR DE PRUEBA ..	64
TABLA 20 PROCEDIMIENTO DE EJEMPLO PARA EL CÁLCULO DEL ERROR PONDERADO.....	66
TABLA 21 DATOS PARA EL EJEMPLO DE ELECCIÓN DE UN CONTADOR DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO	78
TABLA 22 CÁLCULO DEL VANC DE EJEMPLO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MÉTODO GRÁFICO DE DETERMINACIÓN DEL PERÍODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN.....	84
TABLA 23 PERÍODO DE RENOVACIÓN ÓPTIMO DEL EJEMPLO, VARIANDO DIFERENTES PARÁMETROS PARA LA EXPLICACIÓN DEL MÉTODO GRÁFICO.....	85
TABLA 24 COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA LA CONDICIÓN A DEL EJEMPLO DE EXPLICACIÓN DEL MÉTODO GRÁFICO DEL TIEMPO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN	85
TABLA 25 CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA POR EDAD	93
TABLA 26 CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA DE CONTADORES POR VOLUMEN ACUMULADO EN INTERVALOS DE 100 m^3	95
TABLA 27 RESULTADOS EN CONTADORES DEFECTUOSOS	99
TABLA 28 CONTADORES DEFECTUOSOS POR EDAD DE LA MUESTRA	100
TABLA 29 CONTADORES DEFECTUOSOS. ESTRATIFICACIÓN POR VOLUMEN ACUMULADO	101
TABLA 30 RESUMEN ESTADÍSTICO DE LOS CONTADORES DEFECTUOSOS.....	104
TABLA 31 ESTADÍSTICOS PARA DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE ERROR PROMEDIO DE LA MUESTRA DE CONTADORES	105
TABLA 32 PROMEDIOS PARA DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE ERROR EN FUNCIÓN DE LA EDAD.....	106
TABLA 33 DEGRADACIÓN DEL ERROR PONDERADO CON EL VOLUMEN ACUMULADO.....	107
TABLA 34 ESTADÍSTICOS DE LOS CONTADORES DEFECTUOSOS Y NO DEFECTUOSOS	110
TABLA 35 ERROR PONDERADO CON LA EDAD DEL CONTADOR	111
TABLA 36 COMPARACIÓN DE MODELOS ALTERNOS.....	112
TABLA 37 ERROR PONDERADO CON EL VOLUMEN ACUMULADO	114
TABLA 38 INTERVALO DE PREDICCIÓN PARA UN VOLUMEN ACUMULADO DE 4000 m^3	117
TABLA 39 CLASIFICACIÓN DE CONTADORES POR EDAD Y VOLUMEN ACUMULADO	120
TABLA 40 PARÁMETROS DE AJUSTE DE LA REGRESIÓN NO LINEAL	123
TABLA 41 MODELOS DE AJUSTE SEGÚN LAS VARIABLES CONSIDERADAS.....	125
TABLA 42 PRECIOS DE AGUA EN CIUDADES ESPAÑOLAS (AEAS-AGA, 2014)	125
TABLA 43 COSTOS POR m^3 MÍNIMO, MEDIO Y MÁXIMO EN CIUDADES ESPAÑOLAS	127
TABLA 44 DATOS PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO	127
TABLA 45 DATOS DEL EJEMPLO PARA ANÁLISIS ECONÓMICO	128
TABLA 46 CÁLCULO DEL VANC PARA OBTENER EL PERÍODO DE RENOVACIÓN ÓPTIMO.....	129
TABLA 47 DETERMINACIÓN DEL PERÍODO DE RENOVACIÓN PARA DIFERENTES COSTOS INICIALES	130

TABLA 48 DATOS PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO VARIANDO EL PRECIO DEL METRO CÚBICO DE AGUA	131
TABLA 49 CÁLCULO DEL PERÍODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN VARIANDO EL PRECIO DEL AGUA DEL CASO PARTICULAR DE EJEMPLO ...	132
TABLA 50 DATOS DE CÁLCULO DEL PERÍODO DE RENOVACIÓN CON EL MODELO DEL VOLUMEN ACUMULADO	135
TABLA 51 PERÍODO DE RENOVACIÓN MEDIANTE EL MODELO DE DEGRADACIÓN CON EL VOLUMEN ACUMULADO	136
TABLA 52 PERÍODO DE RENOVACIÓN PARA DIFERENTES PRECIOS DE AGUA CON EL MODELO DE DEGRADACIÓN DEL VOLUMEN ACUMULADO.	136
TABLA 53 PERÍODO DE RENOVACIÓN VARIANDO PRECIOS DE AGUA Y EL COSTO INICIAL. MODELO DE DEGRADACIÓN CON EL VOLUMEN ACUMULADO.	137
TABLA 54 PERÍODO DE RENOVACIÓN CON EL MODELO EN FUNCIÓN DE LA EDAD	138
TABLA 55 PERÍODO DE RENOVACIÓN CON EL MODELO EN FUNCIÓN DE LA EDAD	138
TABLA 56 PERÍODO DE RENOVACIÓN CON EL MODELO EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN ACUMULADO	139
TABLA 57 PERÍODO DE RENOVACIÓN CON EL MODELO EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN ACUMULADO	139
TABLA 58 DATOS DE EJEMPLO PARA COMPARACIÓN DE MODELOS	141
TABLA 59 CÁLCULO DEL PERÍODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN CON EL MODELO EN FUNCIÓN DE LA EDAD	142
TABLA 60 CÁLCULO DEL PERÍODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN CON EL MODELO EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN ACUMULADO	142
TABLA 61 CÁLCULO DEL PERÍODO DE RENOVACIÓN ÓPTIMO CON EL MODELO EN FUNCIÓN DE LA EDAD Y EL VOLUMEN	143

Capítulo I

INTRODUCCION

1.1. Antecedentes

Siendo los contadores prácticamente el único instrumento legal con el cual se contabiliza el agua consumida por los usuarios de un abastecimiento, resulta de especial importancia mantener un parque de contadores de manera adecuada, de manera que la empresa responsable del abastecimiento cobre por la cantidad que el usuario efectivamente consume (Arregui et al. 2009).

Los medidores son dispositivos que tienen sus limitaciones propias de su mecánica al registrar los caudales que lo atraviesan, estos dispositivos pueden registrar por exceso o por defecto el volumen de agua consumido por un determinado usuario. El error con que registran los contadores no es constante, sino que dependen del caudal que pasa a través de ellos, siendo mayor el error mientras más bajos sean los caudales consumidos.

La mala medición, implica directamente pérdidas económicas para la empresa o eventualmente para el usuario ya que no se estaría cobrando por una determinada cantidad de agua consumida que el contador no es capaz de registrar, o que se estaría cobrando en exceso por un posible sobrecontaje del contador. En cualquier caso, el precio por metro cúbico de agua y factores ambientales hacen que sea de interés mutuo una correcta medición por el agua que es consumida y se evite pérdidas económicas.

Muchos abastecimientos no le dan la importancia que se merece al estudio del estado de su parque de contadores limitándose a realizar su renovación con criterios básicos como por ejemplo de acuerdo al número de años que permanecen instalados o simplemente reemplazando por nuevos aquellos que se encuentran totalmente parados.

La renovación de contadores se realiza en muchas ocasiones con un único modelo (generalmente el de menor valor de adquisición), con el riesgo que esto conlleva debido a que en muchos casos se aceptan contadores como idóneos para un abastecimiento sin realizar ninguna prueba adicional y se confía directamente en las especificaciones que el fabricante presenta, ignorando que los dispositivos pueden presentar fallos de diseño (Arregui et al. 2006a).

En estudios realizados en contadores de Estados Unidos (Neilsen et al. 2011, Barfuss et al. 2011) demostraban que los fabricantes de contadores, aunque etiquetaban sus dispositivos como que satisfacían la normativa vigente propuesta por la AWWA, éstos no cumplían las normas estándar propuestas por dicho organismo en cuanto a los errores máximos permitidos, y los autores sugerían un mayor control por parte de los gestores de manera que tales normas se cumplan.

Siendo así, y conociendo que en países en desarrollo mucho menos se realizan controles en este aspecto, sería conveniente involucrar a las empresas gestoras y a los fabricantes de contadores en lo respectivo al control de calidad y elaboración de requisitos mínimos que deban cumplir los dispositivos previos a su recepción.

Los controles de calidad se deben realizar antes de su instalación y durante el tiempo que permanezcan en servicio, por esto se recomienda que se realicen estudios del comportamiento de los contadores escogiendo muestras periódicas de los dispositivos instalados (cada cinco años por ejemplo), debido a que los modelos pueden tener versiones distintas al pasar el tiempo y los fabricantes asimismo suelen ser variados.

Así también, se recomienda revisar las políticas de renovación según los resultados obtenidos en dichos estudios (Yee 1999a).

En este sentido, puesto que la gestión de un parque de contadores comprende desde su selección hasta la renovación, es deseable elegir el dispositivo de medición que mejor se ajuste a las condiciones de un determinado abastecimiento y maximice los beneficios de la empresa, no sólo basando los criterios económicos en cuanto al costo inicial del medidor sino a la capacidad de éste de conservar sus cualidades métricas conforme pasa el tiempo (Arregui et al. 2006b).

La selección del modelo más adecuado para un abastecimiento depende de diversos factores y se deben evaluar económicamente las diferentes tecnologías disponibles en el mercado considerando parámetros como la calidad del agua, tamaño, aire en la tubería o incluso la posición en la que van a ser instalados (Richards et al. 2010).

Puesto que el error con que se registra depende del caudal que pasa por los contadores, se deben realizar pruebas de laboratorio que nos indiquen el comportamiento o capacidad de registrar que tienen los contadores a diferentes caudales. Por esta razón, para la determinación del error global con que un parque de contadores registra el agua consumida, se requiere el conocimiento de dos

parámetros: por un lado la curva de error de medición del contador y por otro lado su patrón de consumo (Arregui et al. 2006b).

Con respecto al primer punto se debe tener en cuenta que muchos contadores nuevos cumplen con los requisitos exigidos en cuanto a errores máximos permitidos en la normativa se refiere, pero lo que interesa a las empresas de agua es que los contadores puedan mantener en sus cualidades métricas conforme envejece, que es donde factores como la calidad y robustez se ponen de manifiesto.

En cuanto al patrón de consumo, se debe determinar (haciendo las respectivas mediciones empleando muestreos estadísticos representativos) el comportamiento de la población para consumir el agua. Esto es de importancia, puesto que para determinar el error global con que un contador registra el consumo de un determinado usuario, se deben conocer los caudales que circulan por el mismo.

1.2. Objetivos

Objetivo general:

Determinar la degradación del error de medición de un modelo de contador de chorro único correspondientes a usuarios domésticos de la empresa de agua FACSA, mediante el ensayo de una muestra de contadores retirados de su abastecimiento.

Objetivos específicos:

- Determinar la curva de error de medición de los contadores ensayados en laboratorio y ponderarlos con el patrón de consumo de este abastecimiento en particular.
- Encontrar un modelo matemático que relacione el error ponderado con la edad de los contadores instalados.
- Encontrar un modelo matemático que relacione el error ponderado con el volumen acumulado registrado por los contadores.
- Relacionar las variables edad y volumen acumulado de los contadores para determinar un modelo matemático que se ajuste al error esperado.

- Realizar un análisis económico que permita determinar su período óptimo de renovación o el volumen máximo que deban registrar por encima del cual deban ser sustituidos.

Así también, el presente trabajo de fin de máster pretende dar una descripción de los conceptos básicos que debe conocer el responsable de la gestión del parque de contadores de una empresa de agua para que tenga un criterio técnico de renovación de los mismos.

Además de esto, debe conocer la importancia económica y ambiental de minimizar las pérdidas aparentes por el agua no registrada pero si consumida que se ocasionaría si no se procediera a la sustitución de los contadores. Con este objetivo, se ha hecho la revisión bibliográfica pertinente.

Cabe señalar, que aunque en muchas ocasiones los criterios de renovación se limitan por ley, al cambio de contadores únicamente cuando están totalmente parados o según un número determinado de años en servicio, estudios como el presente podrían ser de utilidad para revisar dichas leyes existentes.

Así también, podrían ser usados por los fabricantes de manera que puedan realizar mejoras en sus diseños o sirvan para comparar el funcionamiento entre las diferentes versiones de sus modelos, puesto que por ejemplo, los materiales usados en su fabricación pueden cambiar con el tiempo y de esta manera tener incidencia en su funcionamiento.

1.3. Estructura del proyecto

En la primera parte se dan los antecedentes y la importancia desde un punto de vista panorámico para abordar un estudio como el presente.

En la segunda parte se hace hincapié en los factores que afectan a la medición de los contadores, así como los parámetros metrológicos y técnicos de los mismos. Aquí también se hace una revisión de la normativa aplicable.

El tercer capítulo se enfatiza en la construcción de la curva de error de un contador conseguida a partir de su ensayo en laboratorio así como la importancia que el patrón de consumo de los usuarios tiene en la determinación del error ponderado del modelo de contador considerado. También se mencionan los beneficios que un software

especializado puede lograr en la gestión de la información y determinación del error ponderado.

En el cuarto capítulo se hace el análisis de resultados mediante la discriminación de la muestra por edad, por volumen acumulado, así como por edad y volumen acumulado de los contadores simultáneamente.

Seguido de esto se hace un análisis de sensibilidad de las variables que intervienen en el estudio económico y se presenta un ejemplo al final del capítulo con la comparación de los tres modelos de ajuste de error ponderado que se obtuvieron.

Por último, se dan las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos correspondientes.

Capítulo II

CONSIDERACIONES Y CONCEPTOS PREVIOS

Se hace aquí una descripción de las características generales del tipo de contador estudiado, es decir de los contadores de chorro único, puesto que son de este tipo se encuentran más utilizados en usuarios domésticos a nivel mundial (Arregui et al. 2006b).

Entre otras tecnologías de medición se encuentran los contadores de chorro múltiple, contadores volumétricos, Woltman, combinados, tangenciales solo por nombrar algunas de los cuales el lector puede remitirse a bibliografía especializada (Arregui et al. 2006b, Barfuss et al. 2011) para una descripción más extensa de los principios de funcionamiento de estos contadores.

Resulta de interés para el consultor revisar estas tecnologías en detalle antes de elegir un modelo adecuado para un abastecimiento en particular.

2.1. Metrología y características de funcionamiento de los contadores de chorro único

Se puede decir que los modelos de chorro único son de los más utilizados en el mundo debido principalmente a que su uso ha brindado resultados satisfactorios por muchos años en los abastecimientos que se han sido instalados, además de que su bajo coste, tamaño, fiabilidad entre otras propiedades han hecho de esta tecnología muy común en consumidores domésticos.

Son contadores de velocidad, su funcionamiento se basa en la incidencia tangencial del chorro de agua sobre una turbina que gira proporcionalmente a esta velocidad. El giro de la turbina es transmitido al totalizador que es el que registra el volumen de agua que lo atraviesa (AWWA 2002), por lo que cualquier alteración en la relación caudal/velocidad hace que su capacidad de medición se vea afectada alterando su curva de error.

Para evitar que la curva de error de los contadores de chorro único se salga de los errores máximos contemplados en la normativa, los fabricantes incluyen nervios en la cámara de medición (que generalmente son de materiales metálicos e incluso hay versiones plásticas más modernas) del mismo para que de esta forma se provoque un régimen turbulento a caudales bajos y así su curva de error no se salga de los límites de tolerancia, sin embargo puede tener el efecto contraproducente de

deteriorar el apoyo de la turbina provocando su deterioro acelerado (Arregui et al. 2006b).

Uno de los elementos más importantes precisamente es la turbina. Se debe evitar la instalación de los contadores de forma inadecuada puesto que esto hace que el eje de la turbina se apoye en más de un punto (instalación inclinada) o se apoye en un plano incluso, si se lo instala de forma vertical.

La fricción causada de esta manera, hace que la turbina gire más lentamente incidiendo para que el caudal de arranque del contador sea mayor con el consecuente subcontaje, especialmente a caudales bajos dificultando la detección de fugas y perjudicando económicamente al abastecimiento. A caudales medios y altos la inclinación no tiene influencia, pero provoca un desgaste excesivo del pivote disminuyendo su vida útil (Arregui et al. 2006b).

Generalmente, los contadores de chorro único se han diseñado para ser instalados de forma horizontal aunque se debe mencionar que existen también modelos de contador de chorro único que conservan su clase metrológica en cualquier posición.

De cualquier manera, se debe prestar atención a las instrucciones del fabricante en cuanto a este punto, debido a que en muchos parques de contadores por razones de espacio y de facilidad al realizar las lecturas se instalan de manera inadecuada con los efectos negativos mencionados siendo responsabilidad del gestor encontrar un modelo capaz de mantener mejor las condiciones de su curva de error, tanto más importante es su elección si el número de contadores de chorro único instalados diferentes a la posición horizontal es considerable.

En la Figura 1 podemos ver el indicador A H-B puesto por el fabricante en un contador correspondiente al caso de estudio ensayado en el laboratorio del Instituto Tecnológico del Agua (ITA) de la Universidad Politécnica de Valencia, que se debe entender como que si es instalado en horizontal, el contador es de clase B, y en cualquier otra posición degrada su clase a A.



Figura 1 Aspecto del contador ensayado. Marcación

Al tratarse de contadores de velocidad, se podría pensar en la influencia que aguas arriba puede tener sobre el registro elementos como válvulas, codos o algún elemento necesario en su instalación, pero debido al diseño mismo del contador, y puesto que el ingreso del flujo a la cámara converge acelerando el flujo, se reduce el efecto que estos accesorios producen. La alteración del flujo en la entrada del contador debido al cambio de dirección en la tobera y su sección, hacen minimizar los efectos que podrían causar los elementos mencionados (Arregui et al. 2006b).

En un estudio sobre el tema a caudales altos 1350 l/h realizado para válvula completamente abierta aguas arriba, y válvula abierta al 50% así como debido a obstrucción del filtro al 20%, se determinó que el error de medición no superaba el 1%, determinando así la menor incidencia de esto en la medición. Sin embargo, cuando se trata de contadores cortos (10 cm) esta afirmación puede ser no válida. (Arregui et al. 2006b, Arregui et al. 2005).

2.2. Factores que afectan a la precisión de la medición

Dentro de los factores que influyen en el deterioro de su capacidad de medición, se pueden mencionar: los debidos a su propia calidad constructiva, la posición de instalación de los contadores (puesto que variará tanto si es horizontal o vertical según el modelo), las condiciones ambientales que deben soportar los instrumentos (el estar expuestos a condiciones severas de calor o frío hacen que afecte su calidad de medición puesto que estos cambios de temperatura inciden sobre los componentes móviles), el perfil de velocidades según la tecnología que tenga el contador, así como a los provocados por la calidad del agua.

Independientemente de que el tipo de usuario sea doméstico o industrial, los anteriores factores pueden afectar en mayor o menor medida según la tecnología del contador (de chorro único, chorro múltiple, pistón rotativo, tangencial o Woltman).

En el siguiente apartado se hace una revisión de estos factores.

2.2.1. Factores que afectan la precisión en contadores domésticos

Entre los contadores de uso doméstico usados típicamente, están los contadores de velocidad y los volumétricos. Entre los más usados del primer grupo están los de chorro único y los de chorro múltiple. En el segundo grupo, los contadores de pistón rotativo son los más usados para este tipo de usuarios (Arregui et al. 2006b).

Factores como el montaje, las partículas sólidas que lleva el chorro, así como a las incrustaciones debidas a la calidad del agua son causantes del deterioro de la degradación del error de medición. A más de esto, en los contadores domésticos, las fugas, los tanques de reserva y la obstrucción del filtro representan otro problema común en estos contadores, los cuales se describen a continuación.

Obstrucción del filtro

En los contadores de velocidad, el chorro de agua impacta sobre la turbina haciendo que ésta gire permitiendo el registro del agua consumida, por lo que una obstrucción del filtro (Figura 2) podría afectar la precisión en el registro al alterar el perfil de velocidades a la entrada del contador, esto como ya se describió, no tiene un efecto significativo en contadores de chorro único, a menos de que se trate de contadores cortos (10 cm de longitud) (Arregui et al. 2006b).

En estudios realizados (Arregui et al. 2005), para determinar cómo afecta la medición debido a este hecho, se experimentó en contadores de chorro único. Para esto, se concentró el flujo en la entrada de la sección, siendo esto una simulación por ejemplo, de lo que se provoca una incorrecta instalación al apretar demasiado la junta plástica disminuyendo la sección de entrada y concentrando el flujo en el centro de la misma. Así también, se disminuyó la sección de entrada de manera aleatoria para simular la obstrucción parcial debido a sólidos arrastrados.



Figura 2 Obstrucción del filtro

En cuanto al primer caso (al concentrar el flujo) se obtuvo valores positivos importantes del error, esto es sobrecontaje, el cual variaba según la longitud del contador como de su diámetro.

En el segundo ensayo (disminución aleatoria de la sección) los errores fueron menores comprobando así que la distorsión en el perfil de velocidades no es de peso en esta clase de contadores, al no afectar la curva de error puesto que esta distorsión en el perfil de velocidades del chorro de agua, necesita una pequeña longitud (la longitud de la tobera) para recuperar su forma antes de la obstrucción.

Como regla general aplicable a contadores de velocidad, se afirma que cuando se concentra el flujo en una zona, la curva de error se ve seriamente afectada (Arregui et al. 2006b).

Tanques de reserva y fugas

Son muchos los inconvenientes los provocados por el uso de estos tanques de almacenamiento, entre las que podemos notar principalmente los relacionados con la insalubridad que significa para el consumidor el almacenaje de agua en contenedores a presión atmosférica expuestos a la intrusión de cualquier elemento contaminante, además de la falta de mantenimiento por parte de los usuarios que en el mejor de los casos es escasa.

La ineficiencia que significa perder la presión de la red para almacenarla a la presión de altura es otra razón por la que hacen indeseables estos depósitos. De hecho, en países desarrollados son prohibidos y son usados en países en vías de desarrollo como medida paliativa en las redes en las que se realizan frecuentes cortes o incluso donde se tiene servicio a determinadas horas.

Sirven de indicador del estado de la red, puesto que mientras más insuficiente es ésta, más grande son los volúmenes de los tanques de reserva requeridos (Cabrera & Espert 2004).

A más de esto, los tanques de reserva son causantes de perjuicios económicos a la empresa, puesto que, debido a que el cierre lento de la válvula de boya que llevan instalados generalmente permiten su llenado a caudales demasiado bajos, que los contadores no son capaces de registrar o lo hacen con errores importantes, por lo que un usuario con un patrón de consumo alto en estos rangos bajos de caudal, no estará pagando la cantidad que realmente consume (Cobacho et al. 2008).

Mientras más grande sea la superficie del tanque, menor será el caudal de llenado e incluso puede ser inferior al caudal de arranque del contador, siendo un problema su medición incluso para contadores de mayor clase.

Para evitar este perjuicio económico a la empresa las válvulas de los tanques se deben cambiar por válvulas solenoidales que por pulsos eléctricos efectúe su apertura o cierre. También es recomendable instalar un contador con menor caudal nominal de manera que el caudal de arranque sea más bajo y se minimice los errores de medición.

Otra recomendación útil, es la inversión en contadores más precisos como los de tecnología volumétrica (Arregui et al. 2006b).

Como ejemplo de lo anterior, en un estudio realizado en Malta (Rizzo & Cilia 2005), se monitoreó el subcontaje en tanques de reserva, primero cuando tenían instaladas las válvulas de boya y luego al instalar las válvulas solenoidales, llegando a la conclusión de que la empresa de agua registraría 6% más con la instalación de estas válvulas todo-nada en este abastecimiento particular.

En otro estudio (Cobacho et al. 2008), se evalúan las ineficiencias de estos tanques en los que se determinó que su uso puede afectar el error global desde un -9% a un -20%, llegando a ser de -40% incluso en medidores cuya edad era 14 años. Por otro lado, el efecto en la laminación del patrón de consumo que provocan los tanques, dificulta distinguir entre los diversos tipos de pérdidas y así el balance de agua.

Aunque estas investigaciones mencionadas se hicieron en abastecimientos particulares, resultados como estos se pueden esperar en otros países.

Manipulación de los contadores

Hay muchas maneras en las que se puede cometer fraude para evitar el correcto registro del dispositivo entre los que se puede mencionar la inserción de elementos que bloqueen el giro de la turbina, retirar el contador o realizar un by pass, golpes que dañen su capacidad metrológica, el uso de imanes que desacoplen los imanes en los contadores de velocidad, etc. (Arregui et al. 2006b).

Por este motivo, algunos fabricantes incluyen precintos de seguridad antifraude o indicadores de que el dispositivo ha sido golpeado.

Factores Ambientales

Los factores ambientales afectan a sus partes móviles, la exposición a condiciones extremas de calor y frío inciden en los materiales con los que los contadores son fabricados y así en su capacidad de medición. Muchos contadores modernos para abaratar costos recurren a materiales plásticos sensibles a estos factores por lo que las empresas de agua deberían exigir un cumplimiento mínimo en cuanto a las condiciones donde deben ser instalados los contadores.



Figura 3 Instalación precaria de un contador en condiciones de servicio.

2.2.2. Factores que afectan la precisión de contadores no domésticos

Influencia del perfil de velocidades

Se mencionó que en contadores chorro único (de velocidad) , dependiendo del tamaño, la distorsión del perfil de velocidades no tiene una incidencia notable en cuanto a la afectación a su curva de error, sin embargo para otras tecnologías como por ejemplo para los contadores tangenciales, si que tiene que tomarse en cuenta este factor.

Para evitar la distorsión en el perfil de velocidades que afectan a los contadores tangenciales se debe tener muy en cuenta las recomendaciones de instalación del fabricante en cuanto a tramos rectos de tubería. Generalmente estos tramos rectos el fabricante recomienda según un cierto número de veces su diámetro. Una instalación incorrecta (Figura 4), haría nada fiable la medición del consumo

En estudios realizados en este tipo de contadores (Arregui et al. 2006a), determinaron que en una longitud de 3 veces el diámetro del dispositivo eran suficientes para mitigar la influencia causada por la distorsión del perfil de velocidades sin importar el grado de apertura de la válvula, sin embargo el cambio de dirección en el flujo en dos planos perpendiculares por codos, causarían turbulencia influyendo mucho más en la medida, aún con tramos rectos mucho más largos.



Figura 4 Instalación errónea de un contador, sin cumplir requerimientos en cuanto a longitudes mínimas.

Influencia del patrón de consumo

Para usuarios no domésticos, se debe determinar su patrón de consumo específico para una correcta elección del dispositivo adecuado. Se debe rechazar cualquier método de diseño basado en el diámetro de la tubería matriz en la que está hecha la acometida (Arregui et al. 2006b).

Aunque existen recomendaciones de los fabricantes para la selección de este tipo de contadores en forma de tablas basados en patrones supuestos, o determinándolo usando data loggers, o caudalímetros externos, se recomienda (Arregui et al. 2006a) determinarlo con un contador referencial calibrado previamente en laboratorio.

2.2.3. Posibles causas de sobrecontaje en contadores de chorro único

Deposición de sólidos

Entre las circunstancias que hacen que se produzca un sobrecontaje en este tipo de contadores, se encuentran la deposición de sólidos en la cámara que hacen que el volumen que pasa por el mismo sea menor, por tanto registrándose más volumen que el que realmente está siendo consumido.

Estas deposiciones no solamente pueden achacarse a partículas arrastradas en las tuberías de distribución que entre otras causas llegan usualmente debido a reparaciones aguas arriba luego del arreglo de roturas de la matriz por ejemplo, sino a las características mismas del agua, puesto que la dureza del agua provoca incrustaciones (Figura 5) que se alojan tanto en la cámara como en la sección de entrada provocando una disminución de la sección.

Existen actualmente materiales plásticos con cuales se fabrican contadores anti incrustaciones. En la elección de los materiales para su fabricación se debe tomar muy en cuenta las características del agua del abastecimiento (Arregui et al. 2006b).



Figura 5 Deposiciones en la tobera del contador.

Como referencia a este respecto, al realizar un estudio de medidores de diferentes abastecimientos de Estados Unidos se constató otros tipos de deposiciones en los contadores incluyendo óxidos, virutas de PVC de las tuberías, plástico de las juntas así como gravas, afectando de distinta manera la curva de error según la tecnología

del contador e incluso para una misma tecnología de medición, según su diámetro (Barfuss et al. 2011).

Otra causa de sobrecontaje se produce al instalar los dispositivos de forma incorrecta al apretar demasiado el empaque plástico del contador, disminuyendo así la sección de entrada en la tobera con lo cual se aumenta la velocidad del chorro de agua haciendo que la turbina gire más rápidamente totalizando así más volumen.

En contadores de chorro único cuya curva de error sea ajustada por by-pass, esto es un paso en paralelo de manera que no toda el agua pase por la turbina sino por un camino paralelo, se pueden producir obstrucciones del paso del agua por los mismos motivos dados en párrafos anteriores, haciendo que el contador totalice volumen en exceso.

Los efectos de estas malas mediciones, se notarían en el registro de consumos a lo largo del tiempo de los cuales la empresa lleva en su base de datos, muchas empresas llevan lecturas mensuales, pudiendo determinarse esta evolución en los cobros que realiza al abonado.

Flujo en sentido contrario en contadores de chorro único

Cuando se produce algún corte en el servicio, y al no disponer de dispositivos anti retorno, el flujo a través del contador se registra de manera inversa, con un error de medición mayor que el registrado en el flujo normal.

Esto quiere decir que usualmente los contadores no restan la cantidad de agua no consumida por el usuario que se devuelve a la red por la caída de presión. La sección de la salida de contador no es la misma que la sección de entrada provocando que la turbina gire más lentamente que cuando atravesó en sentido directo, llegándose a registrar hasta la mitad en sentido inverso con el respectivo cargo económico al usuario (Arregui et al. 2006b).

2.3. Curva de error de un contador y sus parámetros

Contadores que contienen partes mecánicas sufren deterioro con el pasar de los años de uso. Esto puede significar que una evaluación a edad cero, la curva de error de un contador sea satisfactoria en todos los modelos considerados como opción para ser instalados, pero debido al desgaste de las piezas móviles propias del envejecimiento, las mayores fricciones que se producen en su parte mecánica, hacen que su capacidad de medición se deteriore, siendo aquí donde intervienen factores como la robustez o la calidad constructiva hacen la diferencia y es lo que a la empresa le interesa conocer al elegir el contador adecuado para sus particulares características.

Sin importar la tecnología con la que cuente el contador, es necesario conocer ciertos parámetros en común para determinar las características de funcionamiento. En lo siguiente, se hace una descripción de los parámetros de interés en la curva de error de un contador.

2.3.1. Parámetros metrológicos de los contadores

Permiten conocer el error de medición del contador, acotarlo en intervalos de incertidumbre (OIML 2000, Arregui et al. 2006b). Están relacionados con el desempeño de los dispositivos y son los que se definen a continuación:

Volumen real: volumen de agua que ha circulado por el contador en un lapso de tiempo determinado, sin atender a la duración del mismo. Esta es la cantidad medida. El caudal real es el cociente entre el volumen real y el tiempo de duración de paso del mismo.

Volumen indicado (medido): es el volumen de agua indicado por el contador correspondiente al volumen real. El caudal medido es el volumen medido y el intervalo de tiempo en que transcurre la medición.

Error de medición absoluto o error de indicación: es la diferencia entre el volumen medido y el volumen real.

Error de medición relativo: cociente entre el error de medición absoluto y el volumen real.

Curva de error del contador: es la representación gráfica entre el caudal circulante y su respectivo error de medición relativo.

En la Figura 6 se muestra una curva de error en la que se distinguen tres zonas.

La zona 1 donde el contador es incapaz de registrar, teniendo el 100% de error. Una zona 2 en la que el contador es capaz de registrar con errores importantes, y una zona 3 en la que el error se mantiene estable (caudales medianos y altos)

En la zona 1, el contador no puede registrar los caudales demasiado bajos, es por eso que la curva empieza en un punto determinado bajo el cual la turbina no se mueve. El caudal capaz de hacer girar la turbina se denomina caudal de arranque y en la práctica no es un solo valor de caudal sino varía dentro de un intervalo (Arregui et al. 2006a).

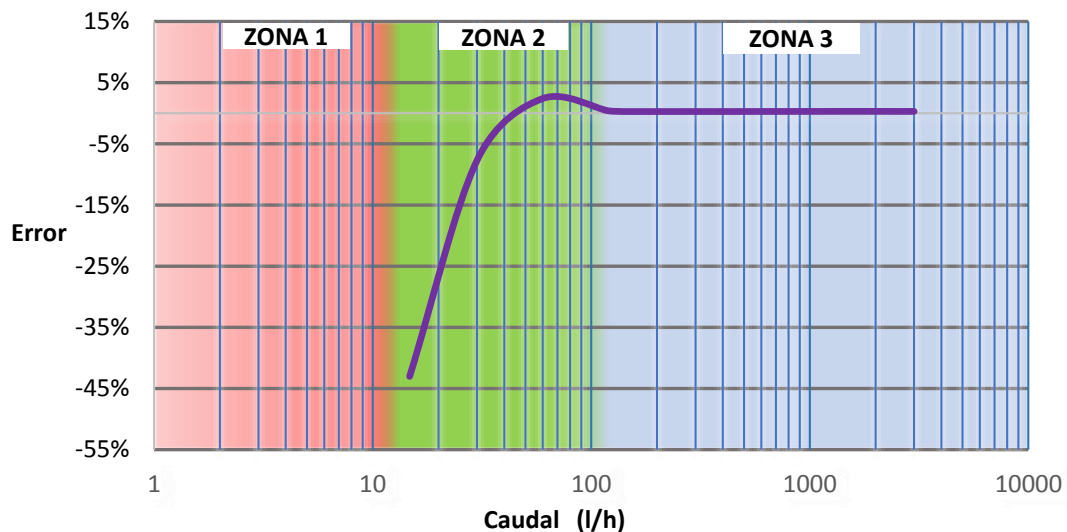


Figura 6 Curva de error de medición con sus zonas características

Desde el caudal de arranque, el contador registra con errores muy importantes (zona 2) hasta alcanzar rápidamente un error de medición cercano a cero. Usualmente este caudal para el cual se tiene un error relativo a cero, difiere en 10 a 15 l/h del caudal de arranque (Arregui et al. 2006b).

En la zona 3, los errores se mantienen prácticamente sin variación para caudales en los que debe trabajar en condiciones normales.

Como se ve, a caudales bajos es donde mayores dificultades se presentan, de ahí que se deba prestar especial interés por los problemas que aquí se ocasionan, por lo cual se debe conocer su curva de error y caracterizarla.

En lo siguiente, se definen los parámetros que definen las distintas clases metrológicas. En las normativas ISO 4064, EN 14154 y en OIMR R-49 se divide el rango de caudales en dos y establecen unos límites de error para cada zona (ϵ_1 y ϵ_2).

Mientras mayor sea su clase metrológica, menor será el caudal mínimo y de transición que sean capaces de registrar.

La normativa ISO 4064:1993 define cuatro calidades o clases A, B, C y D, pero según otras normativas más actuales International Organization for Standardization (ISO), o de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) definen un más amplio rango de clases metrológicas.

La Figura 7 se muestra los parámetros importantes de una curva de error de un contador de agua, en la cual se puede ver también a manera de ejemplo los errores máximos permitidos (ϵ_1 y ϵ_2) según la clase metrológica.

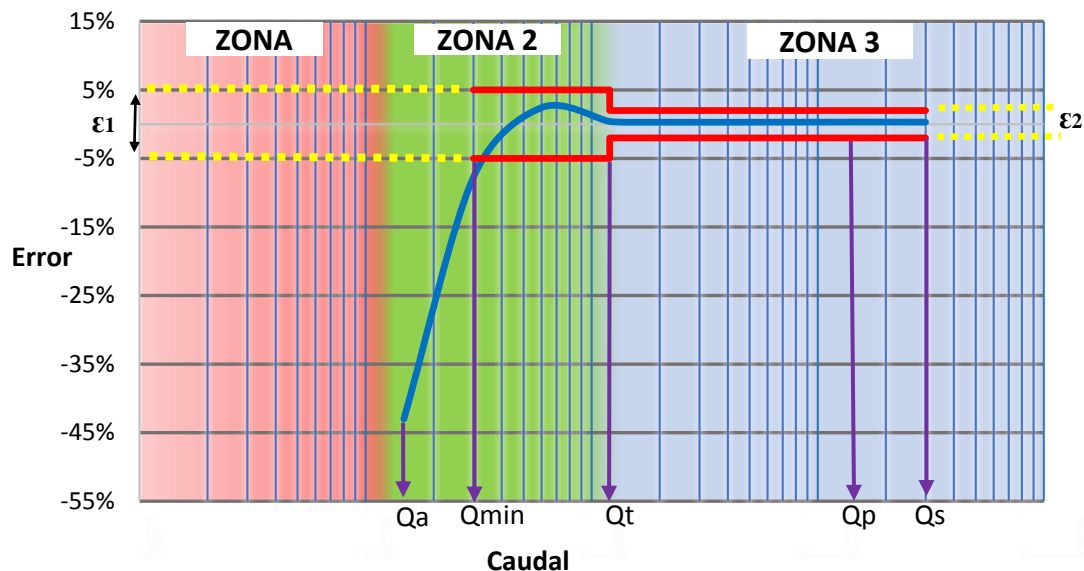


Figura 7 Parámetros de la curva de error de un contador de agua.

- Caudal de arranque (Q_a): Caudal para el cual la turbina empieza a moverse o el caudal mínimo que mantiene al contador en movimiento.
- Caudal mínimo Q_{min} (Q_1): Es el caudal más bajo al cual se requiere que el contador funcione dentro del error máximo permitido.
- Caudal de transición Q_t (Q_2): Situado entre el caudal mínimo Q_1 y el caudal nominal o permanente Q_p (Q_3), divide el rango de caudales en la “zona superior” y la “zona inferior”, cada una de las cuales se caracteriza con su propio error máximo permitido (ϵ_1 y ϵ_2).

- Caudal permanente Q_p (Q_3): También denominado caudal nominal, es el caudal más elevado dentro de las condiciones nominales de funcionamiento al cual se requiere que el contador funcione de una manera satisfactoria dentro del error máximo permitido.
- Caudal de sobrecarga Q_s (Q_4): Denominado también caudal máximo, es el valor de caudal más alto al cual se requiere que el contador funcione durante cortos períodos de tiempo manteniendo su curva de error dentro de los valores máximos permitidos, manteniendo su comportamiento metrológico cuando retorne a las condiciones nominales de funcionamiento.

Se debe tener presente que los errores (ϵ_1 y ϵ_2) de la figura son los mismos en todos los casos, lo que cambia son los caudales exigidos para que cumplan con los requisitos máximos permitidos de error (Arregui et al. 2006a).

2.3.2. Parámetros Técnicos

Se describen aquí los parámetros de interés más relevantes de los contadores. Los rangos para los cuales se revisan estas definiciones se deben ampliar en la normativa empleada.

Presión de trabajo:

Es la presión media del agua en la tubería medida aguas arriba y abajo del contador que se recomienda para que el dispositivo funcione normalmente.

Presión máxima y mínima de trabajo admisible

Son las presiones mínima y máxima que un contador puede soportar permanentemente sin deteriorar su comportamiento metrológico dentro de las condiciones nominales de funcionamiento.

Temperatura de trabajo

Es la temperatura media del agua en la tubería medida aguas arriba y aguas abajo del contador. La temperatura mínima y máxima de trabajo admisible son las que el dispositivo puede soportar de forma permanente a una presión interna dada, sin que se deteriore su comportamiento metrológico.

Pérdida de presión

Es la pérdida de presión causada por la presencia del contador entre aguas arriba y aguas abajo que debe ser menor que la pérdida máxima admisible para las condiciones normales de funcionamiento.

Condiciones de funcionamiento:

Condiciones nominales de funcionamiento

Es el intervalo de valores dentro de los cuales se requiere al dispositivo para que los errores del contador estén dentro de los errores máximos permitidos.

Condiciones de referencia

Son los rangos de referencia predeterminados para realizar los ensayos de los contadores o para la comparación de los resultados de las distintas mediciones.

Condiciones límite

Condiciones extremas que un contador debe soportar sin que presente daño y sin que se deteriore su capacidad metrológica cuando posteriormente vuelva a operar dentro de las condiciones normales de funcionamiento.

Para las magnitudes de influencia como presión y temperatura e incluso en lo relativo a su almacenamiento y transporte, se definen las condiciones límite inferior y superior.

Sentido de circulación:

Sentido directo

Es el sentido de circulación del agua para la cual el contador ha sido construido.

Sentido inverso:

Sentido de circulación del flujo de agua contrario para el que fue diseñado el contador. Los fabricantes deben especificar si su diseño es apto para medir el flujo inverso. Un contador puede no descontar el volumen contabilizado si el flujo es inverso, contabilizar en menor medida el flujo inverso en comparación con el directo o restar el volumen si se da flujo inverso.

En normativas actuales se requiere que el contador sea capaz de registrar con la misma exigencia independientemente de si el flujo es directo o inverso.

Dispositivo indicador

Su función es la de indicar el volumen medido de manera legible y sin ambigüedades visuales. Usualmente en metros cúbicos, la unidad de medida se indica usualmente a lado del valor de la medición.

Este dispositivo tiene que ser capaz de registrar una lectura máxima del volumen totalizado luego de un número determinado de horas de funcionamiento a caudal nominal. También de tener un código de colores que distinga los múltiplos y submúltiplos de la unidad de volumen, su resolución mínima es de especial interés para determinar la curva de error en los ensayos de laboratorio.

Materiales, construcción, diseño y designación

Se refiere a los materiales con los que están fabricados los contadores los cuales deben ser resistentes y durables, que no lo afecten dentro del intervalo de trabajo la temperatura del agua circulante o los factores externos debidos al clima como la corrosión. Así también, es importante que los elementos del contador en contacto con el agua no sean tóxicos y biológicamente inertes.

Su diseño debe evitar la condensación en el visor del contador. Las dimensiones y diseño varían de acuerdo a las distintas normas así como su designación la cual frecuentemente es basada en el caudal permanente o su diámetro.

2.4. Normativa

Como es de esperar en cualquier normativa, éstas cambian con el tiempo por lo que no se debe tener en claro que se debe revisar las actualizaciones. En lo siguiente se presenta un resumen (Arregui et al. 2006b) de forma panorámica de la normativa aplicable.

2.4.1. ISO 4064:1993. Measurement of water flow in close conduits-meters for cold potable water.

Aunque hay una normativa más reciente (ISO 4064:2005), se la incluye aquí ya que se aplican a muchos contadores que se comercializan actualmente.

Especificada para contadores de agua fría ($T < 30^{\circ} \text{C}$), con caudales permanentes entre $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ y $4000 \text{ m}^3/\text{h}$, y presiones de trabajo máxima admisibles de mayores o iguales a 10 bar.

La norma consta de tres partes:

Especificaciones

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

Aspectos principales:

- Aplicable solo a contadores de agua, a dispositivos que registren de manera continua el volumen de agua que los atraviesa, aplicables para contadores con sensores mecánicos como la turbina de los contadores a chorro único, que dependen de la velocidad circulante, o que posea cámaras volumétricas de paredes móviles como los contadores de pistón rotativo.
- La designación del contador se la hace por su caudal permanente Q_p (m^3/h), y precedido por la letra "N", y debe restringirse por alguno de los siguientes valores:
 - Contadores con conexión roscada: 0.6, 1, 1.5, 2.5, 3.5, 6, 10.
 - Contadores con conexión bridada (volumétricos, chorro único y múltiple): 15, 20, 30, 50.

- Contadores con conexión bridada (Woltmann): 15, 25, 40, 60, 100, 150, 250, 400, 600, 1000, 1500, 2500, 4000.
- Se especifican las siguientes clases metroológicas: A, B, C y D (Tabla 1 y Tabla 2). En donde Q_m es el caudal mínimo, Q_t es el caudal de transición y Q_s es el caudal de sobrecarga, el doble de Q_p . En la tabla se muestran los valores para diferentes valores del caudal permanente Q_p .

Tabla 1 Clases metroológicas según ISO 4064-1993 en función de su caudal permanente

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

Tabla 2 Caudales característicos por clase metroológica.

Q_p m ³ /h	Q_s m ³ /h	CLASE A		CLASE B		CLASE C		CLASE D	
		Q_m (l/h)	Q_t (l/h)	Q_m (l/h)	Q_t (l/h)	Q_m (l/h)	Q_t (l/h)	Q_m (l/h)	Q_t (l/h)
0.6	1.2	24	60	12	48	6	9	4.5	6.9
1.5	3	60	150	30	120	15	22.5	11.25	17.25
2.5	5	100	250	50	200	25	37.5	18.75	28.75
3.5	7	140	350	70	280	35	52.5	26.25	40.25
6	12	240	600	120	480	60	90	45	69
10	20	400	1000	200	800	100	150	75	115
15	30	1200	4500	450	3000	90	225	-	-
20	40	1600	6000	600	4000	120	300	-	-
25	50	2000	7500	750	5000	150	375	-	-
30	60	2400	9000	900	6000	180	450	-	-
40	80	3200	12000	1200	8000	240	600	-	-
50	100	4000	15000	1500	10000	300	750	-	-
60	120	4800	18000	1800	12000	360	900	-	-
100	200	8000	30000	3000	20000	600	1500	-	-
150	300	12000	45000	4500	30000	900	2250	-	-
250	500	20000	75000	7500	50000	1500	3750	-	-
400	800	32000	120000	12000	80000	2400	6000	-	-
600	1200	48000	180000	18000	120000	3600	9000	-	-
1000	2000	80000	300000	30000	200000	6000	15000	-	-

1500	3000	120000	450000	45000	300000	9000	22500	-	-
2500	5000	200000	750000	75000	500000	15000	37500	-	-
4000	8000	320000	1200000	120000	800000	24000	60000	-	-

- Los errores máximos permitidos para cada rango de caudal son $\varepsilon_1=\pm 5\%$ y $\varepsilon_2=\pm 2\%$. En ningún caso varían las tolerancias de error para las diferentes clases tecnológicas (Figura 8)

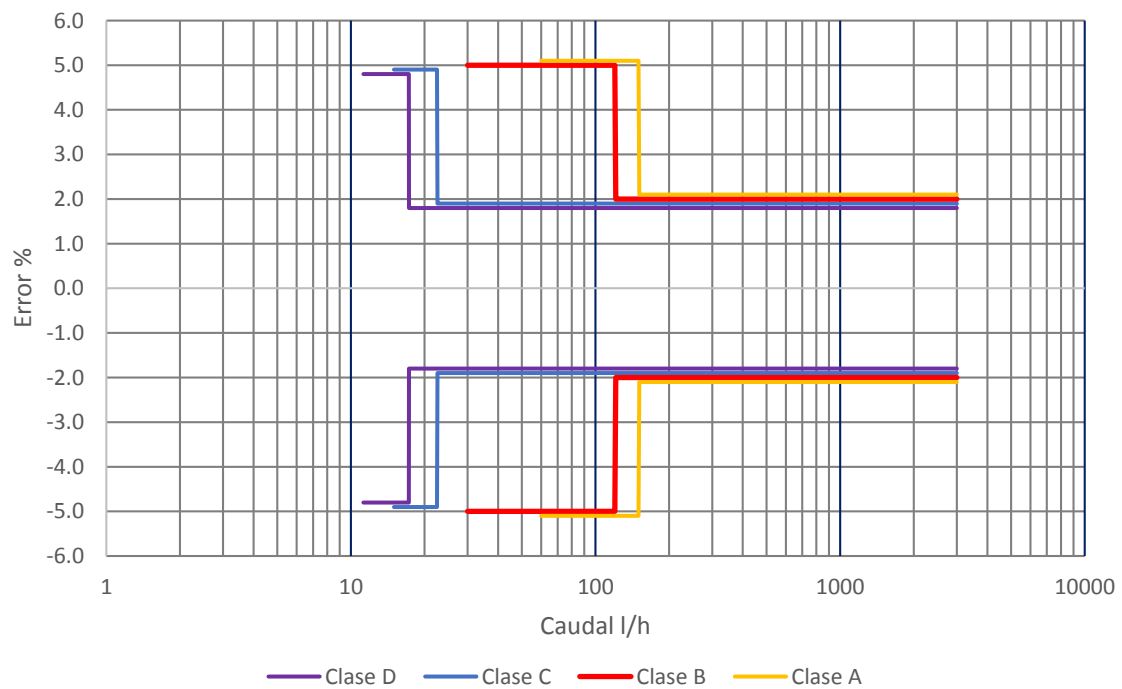


Figura 8 Clases metrológicas para contadores con $Q_p=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ISO 4064:1993

- La presión de trabajo mínima admisible es de 10 bar para todos los contadores, independientemente de su tipo, diámetro y clase metrológica.
- La temperatura máxima para todos los contadores es de 30°C.
- La pérdida de presión máxima en el contador, debe restringirse a alguno de los siguientes valores: 0.1, 0.3, 0.6 y 1 bar.

2.4.2. ISO 4064:2005. Measurement of water flow in close conduits – Meters for cold and hot potable water.

De aplicación para contadores de agua fría y caliente, con presiones de trabajo máximas admisibles iguales o superiores a 1 MPa. o 0.6 MPa., para contadores de diámetro igual o mayor a 500 mm y temperaturas máximas de 30°C para agua fría y 180°C para agua caliente, dependiendo la clase.

Esta normativa, se compone de tres partes:

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

Diferencias con la normativa de 1993:

- Esta nueva normativa es de aplicación a contadores de agua basados en cualquier principio eléctrico o electrónico, y a contadores de agua mecánicos con algún componente electrónico. De aplicación a cualquier dispositivo de medida que determine de manera continua el volumen de agua que lo atraviesa.
- Los contadores se caracterizan por su diámetro nominal de las conexiones o de las bridas.
- Los caudales se definen de la siguiente forma:
 - Caudal mínimo: Q_1
 - Caudal de transición: Q_2
 - Caudal permanente: Q_3
 - Caudal de sobrecarga: Q_4
- La designación del contador se determina mediante el valor de Q_3 (m^3/h) y el ratio Q_3/Q_1 . Q_3 debe restringirse a alguno de los valores de la Tabla 3 así como a otros múltiplos y submúltiplos de 10.

Tabla 3 Valores admisibles para caudal permanente

Q_3 (m ³ /h)				
1	1.6	2.5	4	6.3
10	16	25	40	63
100	160	250	400	630
1000	1600	2500	4000	6300

Durante un período transitorio de 5 años desde la publicación, se admiten los valores de 1.5, 3.5, 6, 15 y 20 m³/h.

- El caudal mínimo Q_1 y la calidad metrológica del contador quedan definidos a partir del ratio Q_3/Q_1 . Los valores se muestran en la Tabla 4 y también se admiten otros múltiplos y submúltiplos de 10. A más de eso, durante un período transitorio de 5 años desde su publicación, se admitían valores de 15, 35, 60 y 212.

Tabla 4 Valores admisibles para el ratio Q_3/Q_1

Q_3/Q_1								
10	12.5	16	20	25	31.5	50	63	80
100	125	160	200	250	315	500	630	800

- El valor del ratio Q_3/Q_1 , podrá ir precedido en la marcación del contador con la letra R. Las clases metrológicas vienen dadas por el valor de R (Q_3/Q_1), ya que Q_2 y Q_4 quedan definidos a partir de Q_1 y Q_3 respectivamente.
- El caudal de transición Q_2 se establece a partir del ratio Q_2/Q_1 , para el que se define un único valor de 1.6. Durante un período de transición de 5 años se admitían los valores de: 1.5, 2.5, 4 y 6.3.
- El caudal de sobrecarga Q_4 se define a partir del ratio Q_4/Q_3 , para el que se establece un único valor de 1.25.
- Los rangos de error máximos permitidos delimitados por el caudal de transición, quedan fijados por los siguientes valores:

$$\varepsilon_1 = \pm 5\%$$

$$\varepsilon_2 = \pm 2\% \text{ para } T \leq 30^\circ\text{C}.$$

$$\varepsilon_2 = \pm 3\% \text{ para } T > 30^\circ\text{C}.$$

Como ejemplo, en la Figura 9 se representan los rangos de error permitidos para un contador con $Q_3= 1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ y tres valores de R: 200, 80 y 20.

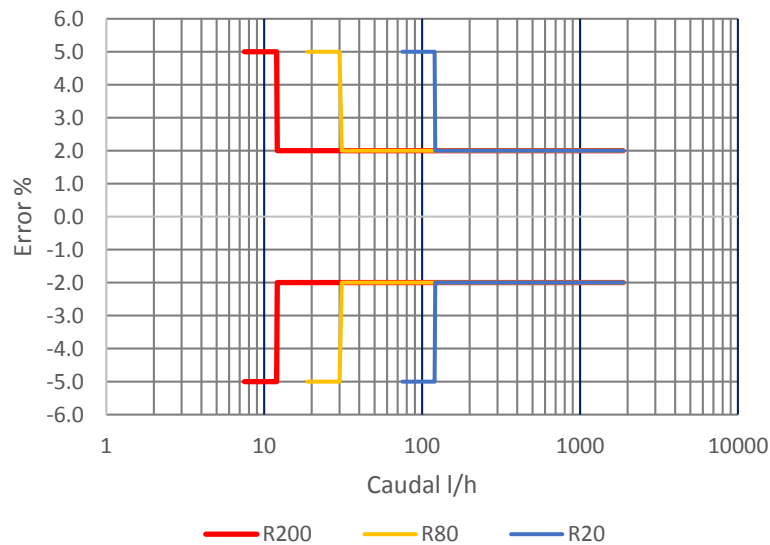


Figura 9 Clases metrológicas para contadores con $Q_3=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$. ISO 4064:2005

- La presión de trabajo mínima admisible es fija e igual a 0.3 bar para todos los contadores. Según la presión máxima de trabajo los contadores son clasificados como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5 Clases de contador según la presión máxima de trabajo ISO 4064:2005

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

- La normativa también presenta una clasificación según la temperatura de trabajo

Tabla 6 Clases de contador según la temperatura de trabajo ISO 4064:2005

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

- La pérdida de presión máxima admitida en condiciones normales a caudal permanente Q_3 , es de 0.63 bar. Por debajo de este valor, los contadores se clasifican según la Tabla 7.

Tabla 7 Clases de contador según la pérdida de presión máxima

Clase	Pérdida de presión máxima (bar)
ΔP 63	0.63
ΔP 40	0.4
ΔP 25	0.25
ΔP 16	0.16
ΔP 10	0.1

La norma clasifica según una posible perturbación aguas arriba (Tabla 8) o aguas abajo (Tabla 9) del contador, que podría causar incidencia en el error de medición. Indica tramos rectos de cada lado, expresado en múltiplos de su diámetro nominal y la posible exigencia de un estabilizador del flujo, de manera que los errores se encuentren dentro de lo permitido.

Tabla 8 Clases de contador según la sensibilidad a distorsiones producidas aguas arriba ISO 4064:2005

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

Tabla 9 Clases de contador según la sensibilidad a distorsiones producidas aguas abajo ISO 4064:2005

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

- El dispositivo indicador, dispondrá de un rango mínimo de lectura, en m³, en función de Q₃.

Tabla 10 Rangos mínimos de lectura para el dispositivo indicador ISO 4064:2005

Q ₃ (m ³ /h)	Rango mínimo de lectura (m ³)
Q ₃ ≤ 6.3	9999
6.3 < Q ₃ ≤ 63	99999
63 < Q ₃ ≤ 630	999999
630 < Q ₃ ≤ 6300	9999999

2.4.3. Recomendaciones de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML)

Esta recomendación, la OIML R-49:2003, es muy similar a la norma ISO 4064:2005. Aplicable a contadores de agua con dispositivo indicador del volumen contabilizado, para agua fría en conducción a presión. La versión de 2006, amplía a contadores de agua caliente.

Aspectos significativos:

- No pone ningún tipo de restricción al tipo de elemento sensor, que puede ser mecánico, eléctrico o electrónico.
- Las clases metrológicas se definen como en la ISO 4064:2005 a través de los valores de Q_1 , Q_2 , Q_3 y Q_4 . Los valores admisibles de Q_3 y los ratios Q_3/Q_1 , Q_2/Q_1 y Q_4/Q_3 , son los iguales a la norma ISO 4064:2005.
- Los errores máximos permitidos, quedan definidos por el valor de Q_3 y de la temperatura del agua (Tabla 11).

Tabla 11 Clases de exactitud según la OIML R-49:2003

		$Q_3 < 100 \text{ m}^3/\text{h}$		$Q_3 \geq 100 \text{ m}^3/\text{h}$	
		$0.3 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \leq 30^\circ\text{C}$	$T > 30^\circ\text{C}$	$0.3 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \leq 30^\circ\text{C}$	$T > 30^\circ\text{C}$
Clase 1	ε_1	-	-	3%	3%
	ε_2	-	-	1%	3%
Clase 2	ε_1	5%	5%	5%	5%
	ε_2	2%	3%	2%	3%

- La pérdida de presión, incluyendo el filtro (si lo tiene el contador), no debe exceder de 0.1 MPa (1 bar) entre Q_1 y Q_4 .
- El contador deberá contar con las siguientes inscripciones:
 - Unidad de medida (m^3).
 - Clase metrológica en caso de ser diferente a la 2.
 - Valor de Q_3 .
 - Ratio “R” Q_3/Q_1 .
 - Símbolo de aprobación del modelo.

- Nombre del fabricante.
 - Año de fabricación.
 - Flecha indicadora del sentido de flujo del caudal.
 - Presión de trabajo máxima si es superior a 1 MPa. (10 bar).
 - Letra “V” o “H”, si el contador debe instalarse vertical u horizontal.
 - Máxima temperatura del agua.
 - Pérdida de presión máxima.
- Los rangos deben cumplirse, según la Tabla 12.

Tabla 12 Rango mínimo de lectura para el dispositivo de indicación

Q_3 (m ³ /h)	Rango mínimo de lectura (m ³)
$Q_3 \leq 6.3$	9999
$6.3 < Q_3 \leq 63$	99999
$63 < Q_3 \leq 630$	9999999
$630 < Q_3 \leq 6300$	99999999

- Los metros cúbicos y sus múltiplos se presentarán en negro, los submúltiplos en rojo.

Capítulo III

MATERIALES Y METODOS

3.1. Determinación del error ponderado de contadores

3.1.1. Características del modelo de contador analizado

En este apartado se dan las características particulares del modelo de contador ensayado que el fabricante proporciona (Tabla 13):

Tabla 13 Especificaciones técnicas del modelo de contador ensayado, según el fabricante

Referencia	Descripción	Diámetro Nominal (mm)	Q_N (m ³ /h)	Longitud (mm)	Temperatura máxima del agua
CO1513115	Agua fría	13	1.5	115	30°
CO1515115	Agua fría	15	1.5	115	30°

- Están certificados con certificación de acuerdo a la normativa 2004/22/CE y según la norma UNE-EN 1454.
- Aprobados como clase B en posición horizontal según directiva 75/33/CEE.
- Diseñado para que el contador no tenga que ser inclinado al momento de su instalación, puesto que el visor está girado 30°, de manera que la exactitud sea la misma a la que se obtendría ensayándolo en laboratorio.
- Totalizador extra seco, que se puede girar 360°. Lectura directa de 8 rodillos con 3 posiciones de mayor definición.
- Ningún engranaje en contacto con el agua.
- Fabricados de acero inoxidable y plásticos técnicos.

Según la Normativa ISO 4064:1993, que es la aplicable a este tipo de contador en particular por la información que brinda el fabricante, se tienen las siguientes características que deben cumplir en principio:

- Caudal mínimo: 30 l/h
- Caudal de transición Q_t : 120 l/h
- Caudal permanente (nominal) Q_p : 1500 l/h
- Caudal de sobrecarga: Q_s : 3000 l/h

A más de esto en el propio medidor se debe conocer la información que el fabricante deja conocer sobre el instrumento:

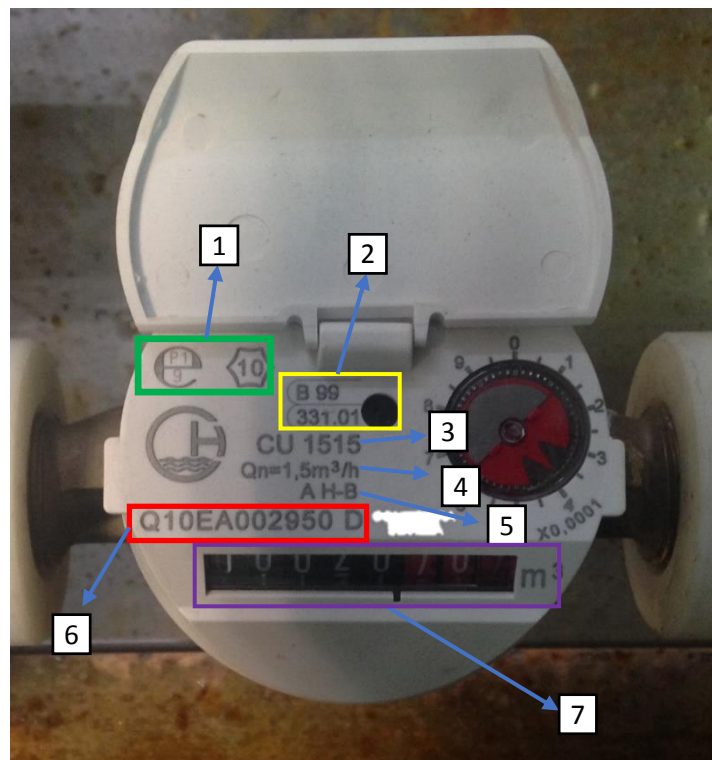


Figura 10 Marcación del contador ensayado

1. Símbolo de verificación primitiva. Los fabricantes llevan a cabo ensayos que certifican que cumple con la normativa para garantizar la calidad y exactitud de los contadores. Se puede observar el número 10, correspondiente al año de fabricación, en este caso 2010.
2. Aprobación del modelo, indicando la letra del país donde se realizó la aprobación del modelo, su año de aprobación y el número característico de la aprobación del modelo (en este contador 331.01).
3. Diámetros de las toberas de entrada y salida. En la muestra que se analizó había 10 contadores CU 1513 indicando que la tobera de entrada era de 15 mm mientras que la de salida es de 13 mm.
4. Caudal nominal del contador.
5. Indicador de la clase del contador, se puede interpretar en este caso como de clase B si se lo instala en posición horizontal, mientras que en otra posición degrada su clase a A.

6. Número de serie, donde se aprecia el año de fabricación (Q10).
7. Totalizador con el volumen acumulado, se encuentra la unidad de medida en metros cúbicos.

En la Figura 11 se muestra una versión anterior concretamente del año 2009, aunque con las mismas características, de los cuales había en la muestra analizada un total de 105 unidades.

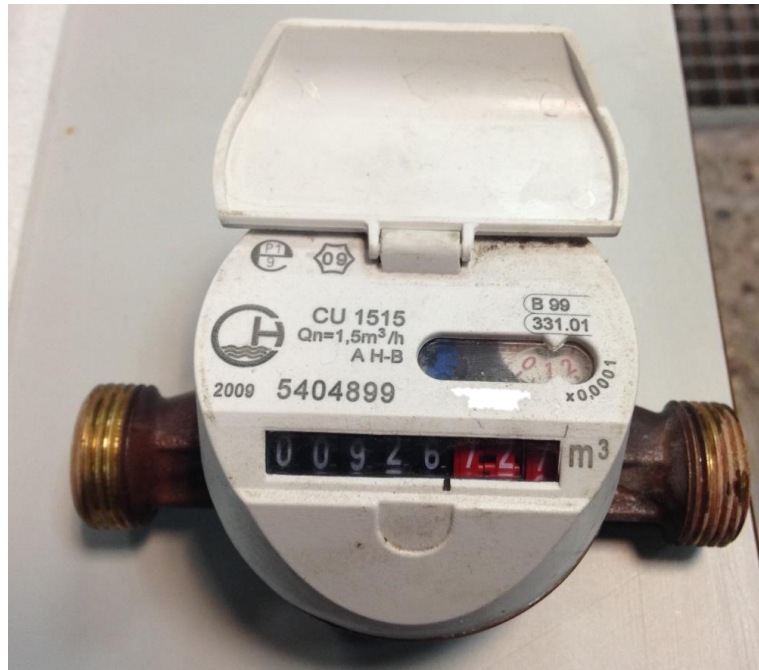


Figura 11 Marcación en una versión más antigua del modelo ensayado.

3.1.2. Descripción de los ensayos en laboratorio

Como se había indicado anteriormente, para la gestión del parque de contadores es muy importante conocer el comportamiento de los dispositivos, es decir el error que estos tienen de acuerdo al caudal que lo atraviesa.

Es por eso importante realizar los ensayos de manera que su curva de error sea lo más fiable posible ya que de estos resultados se obtendrán los parámetros necesarios para la determinación del estado del parque de contadores o simplemente conocer el comportamiento que por exceso o defecto tenga un dispositivo el registro del consumo de un abonado en particular.

Se describe a continuación el tipo de banco utilizado y el procedimiento llevado a cabo para determinar la curva de error de cada contador ensayado.

Descripción del tipo de banco de prueba utilizado

Para conocer el error de un contador a un determinado caudal se requiere comparar el volumen que marca dicho caudal con el volumen que registra un patrón de mayor exactitud. Para esto se puede utilizar como patrón caudalímetros más fiables como los electromagnéticos, el pesaje del volumen circulado o la comparación con el volumen que marque un recipiente de volumen conocido. Este último método es recomendable para contadores de pequeño y mediano calibre.

El banco de ensayo del laboratorio del Instituto Tecnológico del Agua (ITA), con el cual se realizaron las pruebas es del tipo comparación con volumen conocido. Consta de un depósito de aspiración, grupo de bombeo, calderines, un filtro, manómetros, válvulas de seccionamiento, válvulas reguladoras de caudal y la sección donde se ensayan los contadores.

En lo que sigue, se enumeran los principales componentes del banco de ensayos utilizado (Figura 12):

1. Tanque de recogida de volumen de 10 litros utilizado en los ensayos de 15, 30,60 y 120 l/h.
2. Tanque de recogida de volumen de 200 litros, utilizado en los ensayos de 750,1500 y 3000 l/h.
3. Línea de ensayo de los contadores, en el presente estudio se instalaban 5 en cada prueba.

4. Medidor electromagnético DN2 utilizado para ajustar los caudales de 15, 30, 60 y 120 l/h.
5. Medidor electromagnético DN10 utilizado para ajustar los caudales de 750, 1500 y 3000 l/h en los ensayos de este estudio.
6. Medidor de presión a la entrada y salida de la línea de contadores de ensayo.
7. Válvula neumática.
8. Filtro
9. Cronómetro.

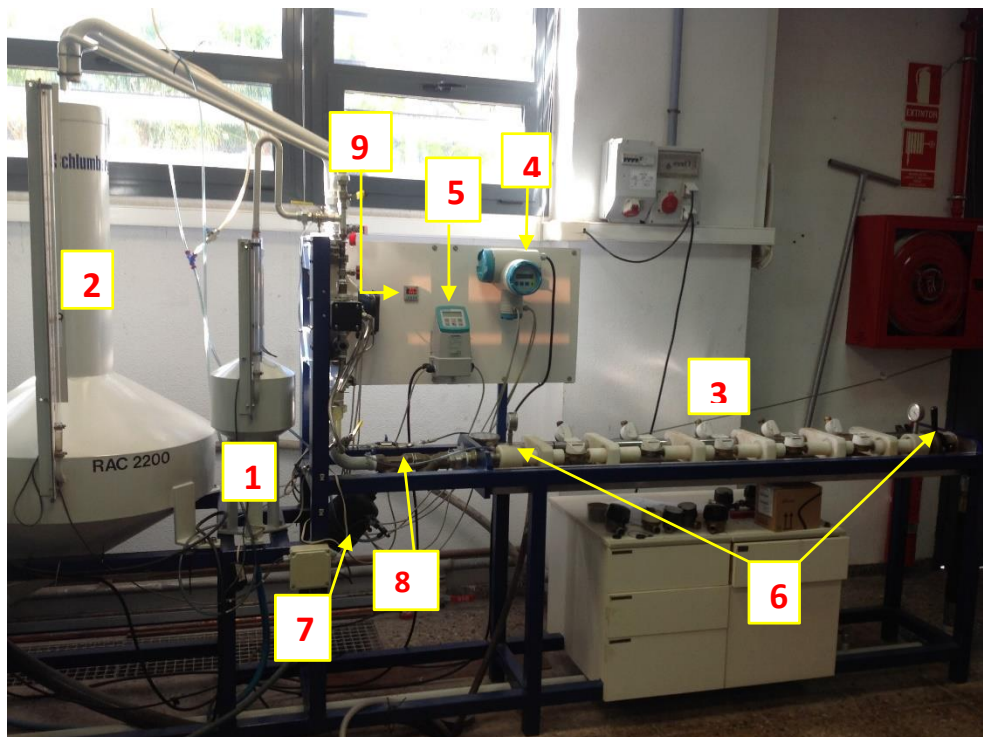


Figura 12 Componentes del banco de prueba del ITA utilizado

10. Grupo de bombeo.
11. Calderines de aire comprimido.
12. Tablero de mando.

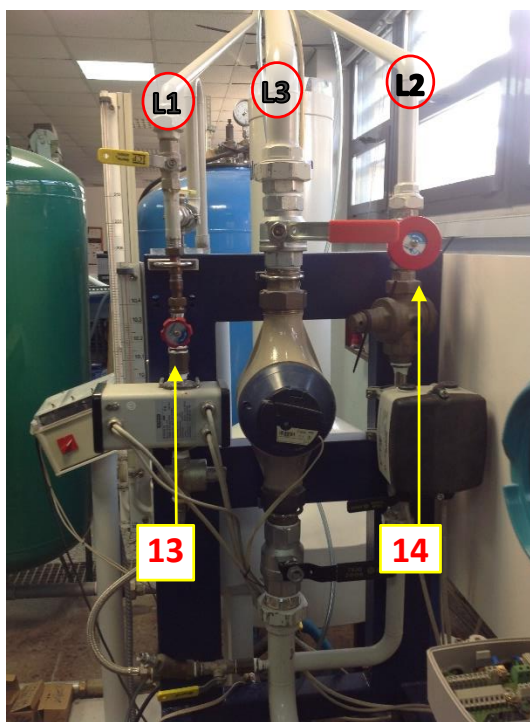
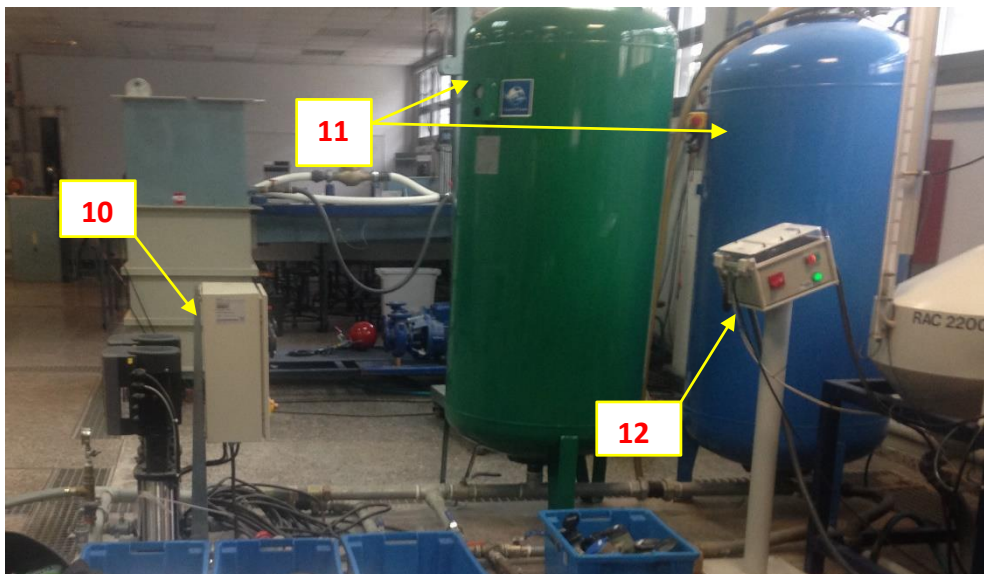


Figura 14 Líneas usadas para ensayos a caudales bajos, medios y altos

13. Válvula reguladora de caudal de alta precisión para los caudales de ensayo de 15, 30, 60 y 120 l/h.

14. Válvula reguladora de caudal de alta precisión para los caudales de ensayo de 750, 1500 y 3000 l/h.



Figura 15 Válvula de accionamiento principal

15. Válvula de seccionamiento. Controla todo el flujo que entra a la línea de prueba de caudales.

La línea L1 (Figura 14) se utiliza para ensayos en el rango de 15 a 120 l/h, la línea L2 se usa para los ensayos en el rango de caudales de 750 a 3000 l/h. La línea L3 no se usa en este estudio, puesto que es para caudales superiores a 3000 l/h que no han sido contemplados en este caso.

El banco de ensayos consta de dos tanques volumétricos de 10 y 200 litros (indicadores 1 y 2 de la Figura 12).

Hay dos factores que condicionan el volumen de los depósitos de un banco de ensayo en general: la resolución de lectura del contador que se ensaya y el tiempo requerido para la realización de la prueba. Mientras el primer factor guarda relación con la incertidumbre debida a la lectura del contador (requerido que sea menor al 0,2%), la segunda tiene que ver con el volumen que debe ser capaz de almacenar el tanque con el que se realiza la comparación para la determinación del error. (Arregui et al. 2006b).

Con el objetivo de reducir la incertidumbre en el volumen aforado debido a la lectura del nivel de agua, los fabricantes varían la geometría del tanque de la forma cilíndrica (Figura 16), de manera que se pueda reducir esta incertidumbre a valores dentro de los límites permisibles.



Figura 16 Tanques de almacenamiento para comparación del volumen aforado

La escala de división de las regletas de este banco de contadores son de 0.01 litros para el tanque de 10 litros y de 0.2 litros para el tanque de 200 litros de capacidad (Figura 17).



Figura 17 Reglas para medición de volumen aforado

Se puede apreciar en la Figura 17 los sensores de nivel en los 10 y 200 litros, los cuales hacen parar a la válvula neumática finalizando el ensayo para el caudal dado, deteniendo al mismo tiempo cronómetro una vez el nivel llegue a estos valores de volumen. El cálculo del caudal de ensayo viene dado por el volumen aforado (10 o 200 litros según el caudal objetivo ensayado en este caso), y el tiempo requerido para la realización del mismo.



Figura 18 Cronómetro utilizado. Se detiene al llegar el agua al nivel indicado en las reglas

Para el ajuste de los distintos caudales de ensayo se dispone de válvulas de precisión y de dos medidores electromagnéticos, un DN2 para los caudales de ensayo de 15, 30,60 y 120 l/h y un DN10 para el ensayo a caudales de 750, 1500 y 3000 l/h. Cada medidor electromagnético consta de un sensor y un transmisor (Figura 19).

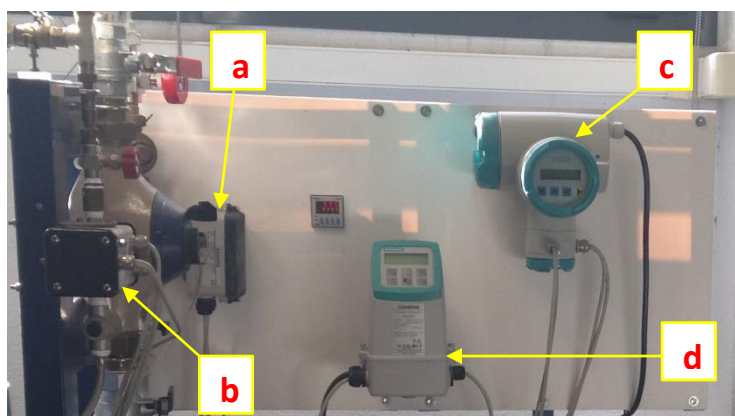


Figura 19 Caudalímetros y sensores usados según el caudal de prueba

- a. Sensor electromagnético SITRANS F M MAG 1100 F.
- b. Sensor electromagnético SITRANS F M 911/F5.

- c. Transmisor electrónico SITRANS F M MAG 6000 I.
- d. Transmisor electrónico SITRANS F M MAG 5000.

Los elementos a y d (Figura 19) son los que intervienen para caudales en el rango de 750 a 3000 l/h, mientras que los elementos b y c son los utilizados en el rango de caudales de ensayo de 15 a 120 l/h.

Este banco de prueba es capaz de realizar los ensayos en contadores desde 15 a 40 mm. En el presente estudio se probaron 5 contadores en línea de 13 mm de diámetro (ver indicador 3 de la Figura 12) los cuales se pueden probar en un intervalo de caudales de 1 l/h a 3125 l/h.

Con el objetivo de evitar que en los ensayos a caudales de 15, 30, 60 y 120 l/h se presenten vibraciones por el grupo de bombeo en funcionamiento, se disponen de calderines de aire comprimido que permiten el suministro de agua a una presión constante de 7 bar (Figura 20 y Figura 21).



Figura 20 Calderines para mantener un flujo estable



Figura 21 Manómetro

Los caudales de ensayo superiores, esto es: 750, 1500 y 3000 l/h, son suministrados por una bomba sumergida, en los que para como en el caso anterior, para evitar el efecto contraproducente que podría tener las vibraciones debidas al funcionamiento del grupo de bombeo (numero 10 de la Figura 13) en la determinación de la curva de error, se emplean los calderines de aire comprimido que eviten dichas vibraciones. Para estimar la altura mínima requerida por la bomba al caudal máximo de ensayo, Arregui recomienda la ecuación:

$$H_b \text{ (en bares)} = (\text{n}^\circ \text{ de contadores a ensayar}) * 1.2$$

Cuando se usen depósitos hidroneumáticos con el fin de reducir las vibraciones causadas por el grupo de bombeo, se debe tener presente el evitar que la presión dentro de los mismos no se reduzca demasiado y que los caudales de ensayo estén fuera de los límites permitidos por las normas (Arregui et al. 2006b).

Procedimiento de ensayo

1. Se instalaron los contadores desde aguas arriba hacia aguas abajo de manera horizontal, cuidando que el sentido del flujo sea el correcto. La distancia entre medidores es tal que se evitan las perturbaciones al perfil de velocidades. La colocación debe asegurarse (Figura 22) de modo que no se produzcan fugas, por medio del ajuste con la palanca que cierra el circuito y los empaques plásticos que se colocan en las toberas del contador.

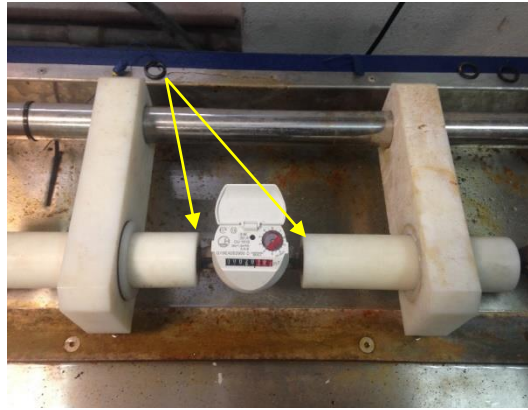


Figura 22 Colocación de un contador en el banco de ensayo

2. Se abre lentamente la válvula (#15 de la Figura 15) y se deja circular el caudal para llenar el conducto, las líneas L1, L2, y L3 (Figura 14). pueden estar abiertas o cerradas durante el llenado.
Para esto, se abre la válvula de control de forma que el caudal circulante no sobrepase el caudal nominal del contador ensayado (en este estudio es de $Q_n=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$) con el fin de que no se alteren las condiciones en las que se encontraba el contador cuando se encontraba en campo y se pueda determinar la curva de error de manera lo más fiable a dichas condiciones.
Esto es necesario ya que un caudal mayor para el cual el contador no estaba habituado a funcionar, puede afectar retirando por ejemplo depósitos calcáreos, gravas o cualquier elemento que haya hecho que el contador no esté registrando de manera aceptable o afectar a sus partes móviles y de esta manera se obtenga una curva de error distinta a la que tenía el dispositivo cuando estaba en funcionamiento.
3. Mientras pasa caudal, se debe observar que no exista goteo en la línea de contadores ensayados que afecte a los resultados. También se debe observar el manómetro que se mantenga en un valor constante, de otro modo, implica que hay una fuga.
4. Se purga los conductos L1, L2 y L3 un intervalo de 5 minutos de manera que no quede aire atrapado que pueda afectar al ensayo. Aquí también se debe tener la precaución indicada en el paso 2, respecto a no sobrepasar el caudal con el cual el contador estaba habituado a funcionar. En cualquier caso, en este paso no se debe superar el caudal nominal del dispositivo para evitar los efectos mencionados anteriormente.
5. Se ajusta la válvula de regulación (#13 o #14 de la Figura 14) en el caudal de ensayo requerido. Para el ajuste del caudal de ensayo, se deben tener en cuenta las incertidumbres debidas tanto a la incapacidad de mantener un caudal constante en el tiempo que dura el ensayo, como a la diferencia entre el caudal ensayado realmente (cociente entre el volumen aforado y el tiempo que marca el cronómetro) y el caudal objetivo. La discrepancia entre el caudal

real y el caudal objetivo según las normas, no debe ser superior al 10%. Esto es mucho más importante en caudales bajos donde la curva de error se deteriora bruscamente.

6. Una vez completada la purga, a través del panel de control, se detiene el flujo, y con los contadores totalmente parados se toman las lecturas de su identificador (número de medidor) y el volumen que registra inicialmente teniendo la precaución de leer el totalizador de la forma más precisa posible, así como de anotar correctamente el volumen leído.



Figura 23 Rodillos mal sincronizados

La Figura 23 muestra una común dificultad que se encuentra al leer el totalizador al no estar sincronizados los rodillos y las saetas. Otros factores que impedían una lectura rápida fueron el empañamiento del visor, así como rayaduras en la ventana que impedían apreciar el volumen registrado.

7. Una vez tomadas las lecturas del volumen inicial de los cinco contadores se da arranque al flujo, no sin antes percatarse de que el tanque de aforo no tenga ningún elemento extraño que impida medir el volumen correctamente, así también la válvula de fondo del tanque debe estar cerrada y de debe tener la precaución de poner el cronómetro en cero antes de iniciar el ensayo.
8. Una vez que el volumen llega al nivel que se indica en la regla (10 o 200 litros) correspondiente al aforo de un caudal dado, ésta activa el sensor que apaga la válvula neumática y se detiene el cronómetro. Cuando las saetas de los contadores se encuentren totalmente paradas, se toma la lectura del volumen final.

9. El error del contador para el caudal ensayado se obtiene de la diferencia entre el volumen registrado por el contador menos el volumen real medido por el tanque de aforo.

$$\text{error}(\%) = \frac{(\text{lectura final} - \text{lectura inicial}) - \text{volumen medido en el tanque}}{\text{volumen medido en el tanque}} \times 100$$

$$\text{caudal medio de ensayo} = \frac{\text{Volumen medido en el tanque de aforo}}{\text{tiempo indicado en el cronómetro}}$$

Como recomendaciones adicionales antes de la realización de los ensayos, es conveniente realizar un transporte adecuado (Figura 24) que evite golpes a los contadores, asimismo se debe asegurar que permanezcan en contacto con el agua, sin dejar que el interior se seque (Arregui et al. 2006a).



Figura 24 Empaque y mantenimiento previas al ensayo

Selección de los caudales de ensayo

Debido a que las limitaciones que los contadores tienen al registrar el paso de caudales muy bajos, el deterioro de su curva de error en este tramo es brusco. Esta dificultad es mayor concretamente para caudales por debajo del caudal de arranque y entre éste y el caudal mínimo, por lo que es precisamente en esta zona donde se requiere que la curva de error sea lo más detallada posible (Richards et al. 2010, Arregui et al. 1998), siendo necesario realizar ensayos que permitan graficar de manera precisa la relación entre el caudal circulante y el error de medición.

Ensayar a un elevado número de caudales requiere de tiempo y dinero que muchos abastecimientos no están en capacidad de asumir. En el presente estudio, se han seleccionado los siguientes caudales para la determinación de la curva de error: 750, 120, 60, 30, 15, 1500 y 3000 l/h los cuales en el banco ensayado disponible, toma alrededor de 1 hora 40 minutos (Tabla 14) realizar el ensayo de 5 contadores. Teniendo en cuenta que la determinación del error proviene de una muestra representativa de contadores, la inversión económica es elevada.

Se debe señalar que esto también es debido a que las incertidumbres asociadas deben mantenerse dentro de lo permitido por las normas.

Tabla 14 Caudales de prueba, orden en que fueron ensayados y su duración

Caudal de ensayo (l/h)	Volumen de la probeta de ensayo (l)	Tiempo de ensayo requerido aproximado (min)
750	200	16
120	10	5
60	10	10
30	10	20
15	10	40
1500	200	8
3000	200	4

Debido a las limitaciones económicas que supondría realizar ensayos a un número elevado de caudales, la AWWA (American Water Works Association. 1999) sugiere que se ensayen a tres caudales para contadores domésticos de los Estados Unidos siendo el caudal máximo en estos contadores de 20 gpm (4542 l/h) (ver curva de error Figura 25).

Los caudales recomendados son: 0.25 gpm (57 l/h) como representativo del intervalo de caudales entre 0 y 0.5 gpm (0 y 113,6 l/h), 2 gpm (454.2 l/h) como representativo del intervalo de caudales entre 0.5 y 2 gpm (113.6 y 454.2 l/h) y 15 gpm (3407 l/h) como representativo del intervalo de caudales mayores que 2 gpm (4542 l/h). Sin embargo, se demuestra que el error a 0,25 gpm (57 l/h) no es representativo del rango de caudales bajos (Arregui et al. 2006a).

Como caudales de ensayo equivalentes, análogos a los anteriores, se recomienda realizar los ensayos a los caudales de 30, 120 y 1500 l/h como correspondientes representativos del error a los caudales mínimo, transición y nominal respectivamente (ISO 4064-3 1993).

De la misma manera, Arregui demuestra que suponer el mismo error a 30 l/h para caudales menores, es incorrecto, debiendo determinarse el error a caudales más cercanos al caudal de arranque, puesto que la determinación de este último presenta el inconveniente en cuanto al tiempo excesivo que requiere determinarlo. Por ejemplo, si el caudal de arranque es de 6 l/h, el tiempo requerido para su determinación en el laboratorio utilizado sería de 1 hora 40 minutos. Es también deseable conocer el error a un caudal entre el mínimo y el de transición.

Los caudales consumidos en una residencia típica, se encuentran entre 200 l/h y 600 l/h (Beal & Stewart 2012, Blokker et al. 2009, DeOreo et al. 1996). En otros estudios del consumo residencial (Arregui et al. 2006b, Bowen. 1993), en los que se llegaron a similares resultados, se encontró que salvo para viviendas con jardín, los caudales de consumo no sobrepasaban los 1500 l/h.

Por último, teniendo en cuenta que a caudales altos la variación del error de medición en condiciones normales se mantiene prácticamente constante (de la curva de error), se escoge otro caudal de ensayo, el de 750 l/h, con lo que se tendría ya un rango considerable para la determinación de la curva de error de manera fiable. Sin embargo en este estudio también se ensaya a un caudal de 3000 l/h, es decir a caudal máximo, puesto que el caudal nominal de los contadores ensayados es de 1.5 m³/h.

Para usuarios domésticos, Arregui recomienda los siguientes caudales según la clase de contador y el tipo de vivienda (Tabla 15).

Tabla 15 Caudales recomendados de ensayo según la clase de contador y tipo de vivienda

	Viviendas en bloque de apartamentos	Casas con jardín
	(l/h)	(l/h)
Contador 1.5 m3/h Clase B	Caudal de arranque*	Caudal de arranque*
	30	30
	60	60
	120	120
	750	1500
	1500	3000
Contador 1.5 m3/h Clase C	Caudal de arranque*	Caudal de arranque*
	15	15
	30	30
	60	60
	120	120
	750	1500
	1500	3000

En el presente estudio, los caudales ensayados caudales de ensayo son 750, 120, 60, 30, 15, 1500 y 3000 l/h, en ese orden, puesto que como ya se ha mencionado, los caudales mayores al nominal, de ser ensayados en primer lugar, podrían afectar las condiciones para las cuales el contador estaba habituado a funcionar en campo como por ejemplo remover depósitos calcáreos debidos a la dureza del agua o dañando sus partes móviles, haciendo que la curva obtenida de esta manera no sea representativa de sus condiciones normales de funcionamiento.

3.1.3. Determinación de la curva de error

La curva de error construida con los caudales recomendados por la AWWA de 0.25, 2 y 15 gpm, pueden dar lugar a valoraciones equivocadas del error de medida de los contadores.

Como puede fácilmente observarse de la Figura 25, considerar el error a caudales bajos como un único valor representativo, causaría una subestimación en el cálculo del error de medición al no considerar los caudales por debajo del caudal de arranque que el contador es incapaz de registrar (Arregui et al. 2006b).

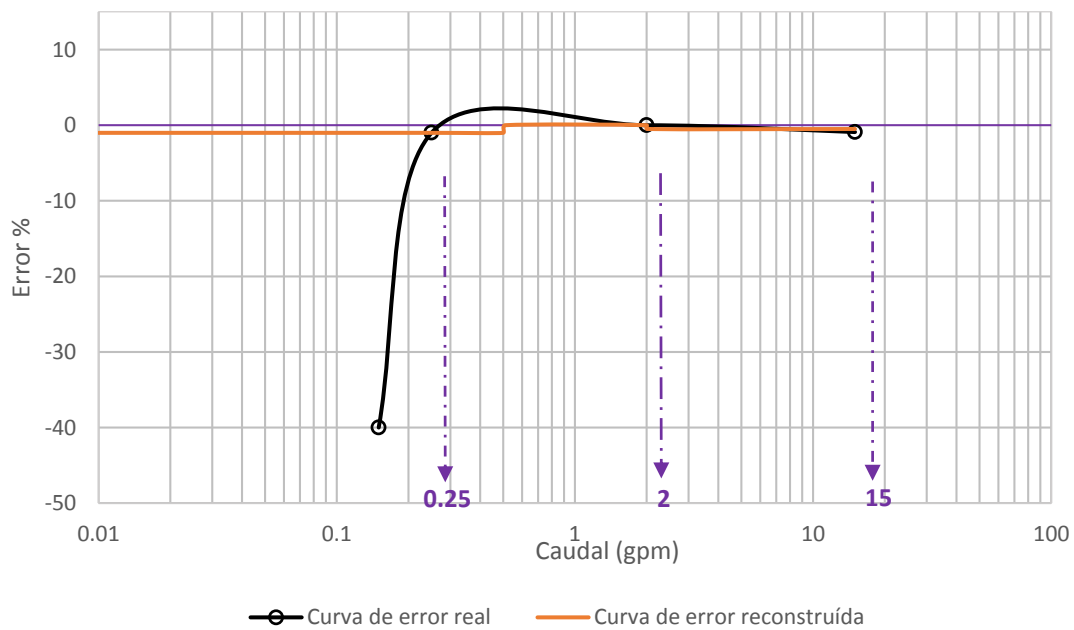


Figura 25 Comparación de la curva real vs la construida recomendada por la AWWA.

En unos estudios realizados en Estados Unidos (Allender H. 1996, Yee 1999b), al utilizar los caudales recomendados por la AWWA en la construcción de la curva de error, justifican su uso y aceptan como valor representativo a caudales bajos el correspondiente 0,25 gpm, argumentado que el consumo en este rango de caudales es despreciable en comparación con los que se dan a caudales mayores, por lo que se demuestra (Arregui et al. 2006b) que este criterio es erróneo puesto que el total del caudal por debajo del caudal de arranque que no registran los dispositivos, contrarresta el menor porcentaje de consumo en caudales bajos.

Además de esto, normalmente se esperaría que el caudal de arranque aumente con el tiempo (Figura 26) debido al desgaste de las piezas móviles el aumento de la fricción puede ralentizar o incluso parar por completo el registro de los consumos (Arregui et al. 2005), por lo que el error de medición a un único valor como representativo del rango de caudales bajos no debe emplearse.

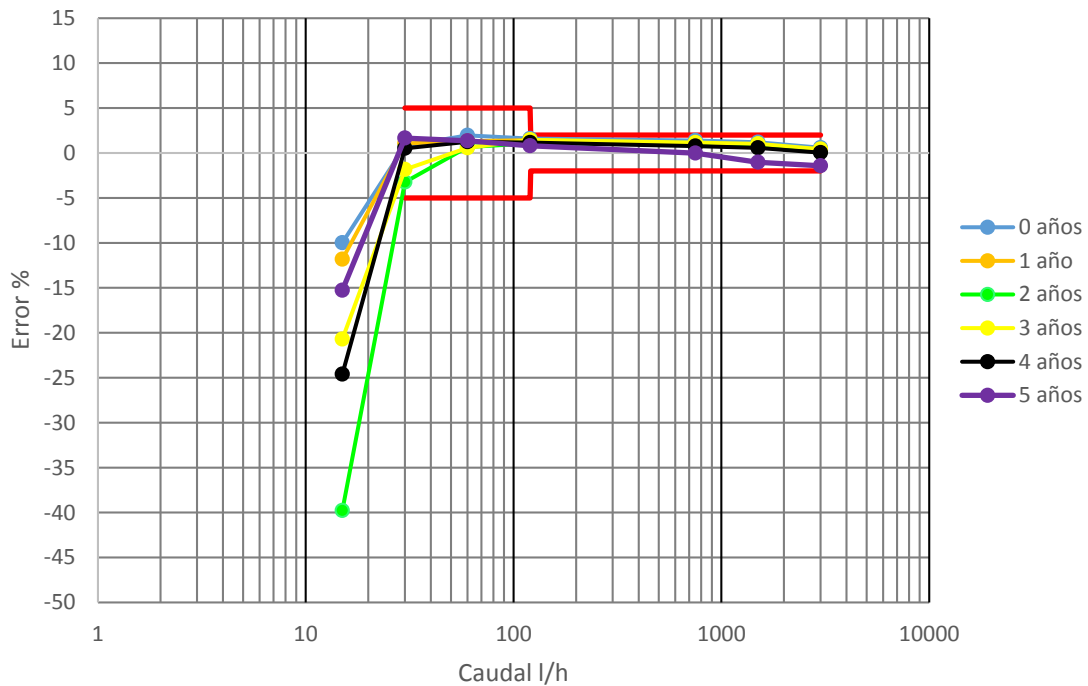


Figura 26 Evolución de la curva de error en función de la edad

En la Figura 26 se puede apreciar que el error al caudal de 15 l/h para contadores de 2 años de edad, es mayor que el error a 4 años de edad, esto puede deberse a diversos factores como la calidad de la construcción del contador o al tipo de usuario. Es por esto que se recomienda también hacer un análisis de acuerdo al volumen acumulado por ejemplo agrupando en rangos de 200 a 500 m³ equivalentes al consumo de 2 o 3 años (dependiendo del tipo de usuario) o intervalos mayores según el volumen acumulado (Arregui et al. 2006b). En la Figura 27 se puede apreciar la evolución del error conforme mayor uso tenga el contador.

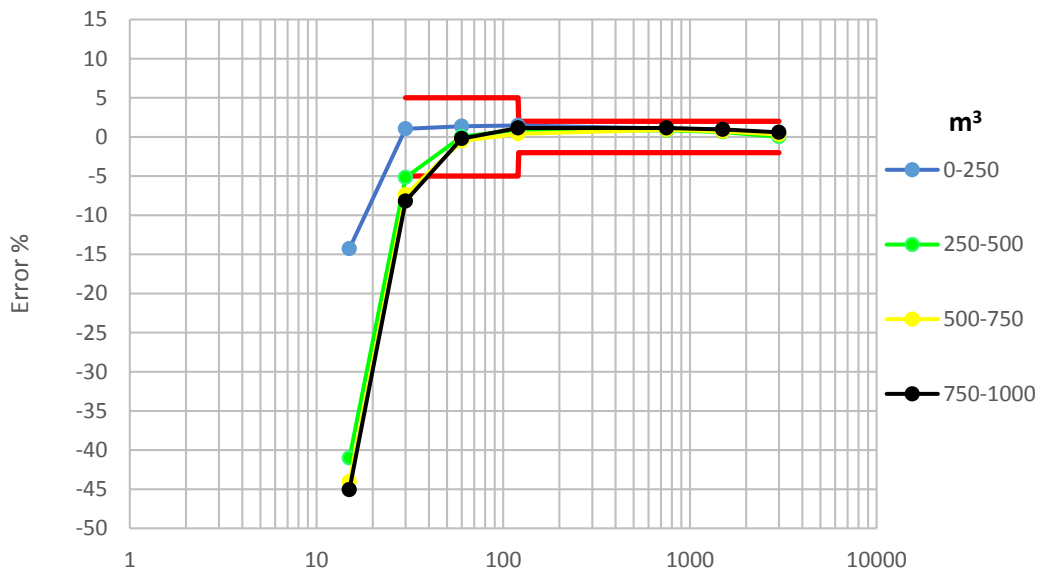


Figura 27 Curva de error en función del volumen acumulado

3.1.4. Construcción de la curva de error

Para evitar errores cometidos por la mala lectura de los totalizadores, los errores fueron determinados al mismo tiempo que se realizaban los ensayos, verificando las lecturas realizadas antes de iniciar el ensayo al caudal siguiente.

A manera de ejemplo, se presentan las lecturas obtenidas en el orden en el que fueron obtenidos en laboratorio para la construcción de las curvas de error de 5 contadores de la muestra de estudio del parque de contadores de la empresa FACSA y la curva de error obtenida de cada uno.

Los datos, son lecturas tomadas del volumen medido en el tanque, tiempo de ensayo leído en el cronómetro y las lecturas tomadas de los contadores antes y después de finalizar el ensayo a cada caudal teórico.

Como se puede observar el caudal real difiere del caudal teórico de ensayo. El caudal real es el resultado de dividir el volumen real aforado por el tiempo del ensayo.

Caudal de ensayo (l/h)	750	Número de identificación del contador					
		Lectura	C1	C2	C3	C4	C5
Tiempo (s)	922						
Volumen (l)	199.3	Inicial	260.1101	997.807925	946.917625	926.059	53.373075
Caudal real (l/h)	778.2	Final	260.31325	998.00485	947.11725	926.27125	53.5735

		Número de identificación del contador					
Caudal de ensayo (l/h)	120	Lectura	C1	C2	C3	C4	C5
Tiempo (s)	302						
Volumen (l)	10.03	Inicial	260.31325	998.00485	947.11725	926.27125	53.5735
Caudal real (l/h)	119.6	Final	260.32345	998.0149	947.127275	926.2823	53.5837

		Número de identificación del contador					
Caudal de ensayo (l/h)	60	Lectura	C1	C2	C3	C4	C5
Tiempo (s)	593						
Volumen (l)	9.96	Inicial	260.32345	998.0149	947.127275	926.2823	53.5837
Caudal real (l/h)	60.5	Final	260.333275	998.0249	947.13715	926.2928	53.59395

		Número de identificación del contador					
Caudal de ensayo (l/h)	30	Lectura	C1	C2	C3	C4	C5
Tiempo (s)	1178						
Volumen (l)	9.93	Inicial	260.333275	998.0249	947.13715	926.2928	53.59395
Caudal (l/h)	30.3	Final	260.3429	998.03485	947.146475	926.3031	53.604

		Número de identificación del contador					
Caudal de ensayo (l/h)	15	Lectura	C1	C2	C3	C4	C5
Tiempo (s)	2328						
Volumen (l)	9.91	Inicial	260.3429	998.03485	947.146475	926.3031	53.604
Caudal real (l/h)	15.3	Final	260.35085	998.04335	947.1535	926.3129	53.61285

		Número de identificación del contador					
Caudal de ensayo (l/h)	1500	Lectura	C1	C2	C3	C4	C5
Tiempo (s)	470						
Volumen (l)	199.8	Inicial	260.35085	998.04335	947.1535	926.3129	53.61285
Caudal real (l/h)	1530.4	Final	260.5536	998.2395	947.35075	926.51625	53.81335

		Número de identificación del contador					
Caudal de ensayo (l/h)	3000	Lectura	C1	C2	C3	C4	C5
Tiempo (s)	376						
Volumen (l)	200.4	Inicial	260.5536	998.2395	947.35075	926.51625	53.81335
Caudal real (l/h)	1918.7	Final	260.7563	998.43595	947.54855	926.72715	54.014175

Los respectivos errores a cada caudal se muestran en la Tabla 16 con su correspondiente error de medición, los errores fueron determinados con la ecuación explicada anteriormente:

Tabla 16 Resultados del ensayo de ejemplo

Caudal real (l/h)	Error de medición a cada caudal (%)				
	C1	C2	C3	C4	C5
15	-19.78	-14.23	-29.11	-1.11	-10.70
30.3	-3.07	0.20	-6.09	3.73	1.21
60	-1.36	0.40	-0.85	5.42	2.91
120	1.69	0.20	-0.05	10.17	1.69
778	1.93	-1.19	0.16	6.50	0.56
1530	1.48	-1.83	-1.28	1.78	0.35
1919	1.15	-1.97	-1.30	5.24	0.21

Como se puede observar en la Figura 28, en la curva de error correspondiente al contador C4 presenta una anomalía con respecto a las de los otros contadores, es decir no sigue un patrón normal.

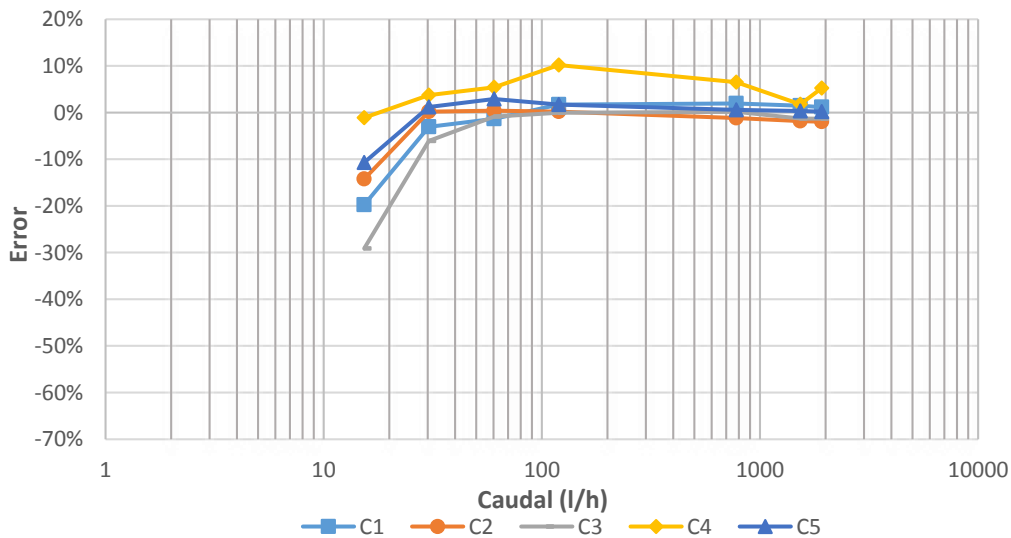


Figura 28 Curvas de error de un ensayo a diferentes caudales

Podría parecer, mientras se realiza el ensayo en los primeros caudales, que esto se debe a una mala toma de la lectura del totalizador, sin embargo al analizar luego de finalizar el ensayo se determinó que el sobre contaje, era debido a un taponamiento casi total del filtro (Figura 29) de este contador en particular una de las causas de los

factores que alteran el funcionamiento de los dispositivos ya mencionadas con anterioridad.



Figura 29 Taponamiento del filtro del contador identificado con C4

Comportamientos aislados como éste, se deben identificar de modo que un resultado aislado no influya en el cálculo del error global, de ahí la preferencia de construir las curvas de error al mismo tiempo que se realizan los ensayos. Asimismo, se debe tener especial cuidado en la determinación del error a caudales bajos de manera que los resultados sean correspondientes a los que el contador tenía antes de ser retirado del parque de contadores (Richards et al. 2010).

3.1.5. Muestreo del parque de contadores

El estudio del estado de un parque de contadores domésticos, proviene de análisis estadísticos, por lo que es conveniente elegir muestras representativas de manera que los resultados puedan extrapolarse a la población de contadores instalados en el abastecimiento. Para esto, es conveniente dividir el parque en sub poblaciones y elegir con anterioridad el modelo de contador, edad, volumen acumulado, y caudal nominal de la sub población a ser analizada, de manera que se obtenga una muestra homogénea para el estudio.

Una muestra homogénea, permite que se requiera ensayar menos contadores. Luego de realizar la estratificación, se debe seleccionar y retirar aleatoriamente los dispositivos del campo para su posterior ensayo en el banco de pruebas.

Debido a la ingente cantidad de recursos económicos y de tiempo necesarios para tal procedimiento, surge que se pregunte cuál es el número requerido de contadores a ser retirados de manera que sea representativo de la sub población.

El tamaño de la muestra depende de dos factores: la dispersión de las precisiones de la muestra de contadores a cada caudal y la tolerancia admitida en el intervalo de confianza (Arregui et al. 1998).

El intervalo de confianza para un valor medio de un caudal Q ensayado viene dado por:

$$\varepsilon_{Min}^Q = \varepsilon_{media}^Q - z_{1-\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$\varepsilon_{Max}^Q = \varepsilon_{media}^Q + z_{1-\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}}$$

En donde: s: desviación típica del error a caudal Q de los n contadores ensayados

n: número de contadores ensayados.

$z_{1-\frac{\alpha}{2}}$: factor de fiabilidad.

$1 - \frac{\alpha}{2}$: grado de confianza.

Nivel de confianza	$z_{1-\frac{\alpha}{2}}$
99%	2.57
95%	1.96
90%	1.64
80%	1.28

Tabla 17 Valor Z para distintos niveles de confianza

Se pueden seguir dos enfoques para la determinación de n (Arregui et al. 1998): el primero consiste en ensayar un número de muestra de contadores a cada caudal y determinar sus estadísticas en el cual se obtendrán diferentes intervalos de confianza para cada caudal ensayado.

Por ejemplo, en la Figura 30 se puede observar los intervalos de confianza al 95% a cada caudal. Si se analizan las ecuaciones del error máximo y mínimo, se deduce que una muestra mayor conducirá a intervalos de confianza más estrechos con lo cual se reducirá la incertidumbre del verdadero valor medio esperado.

También se puede observar de las ecuaciones de error, que mientras mayor es la desviación típica, mayores serán las incertidumbres, esto especialmente a caudales bajos, puesto que a caudales altos es de esperar menos variación.

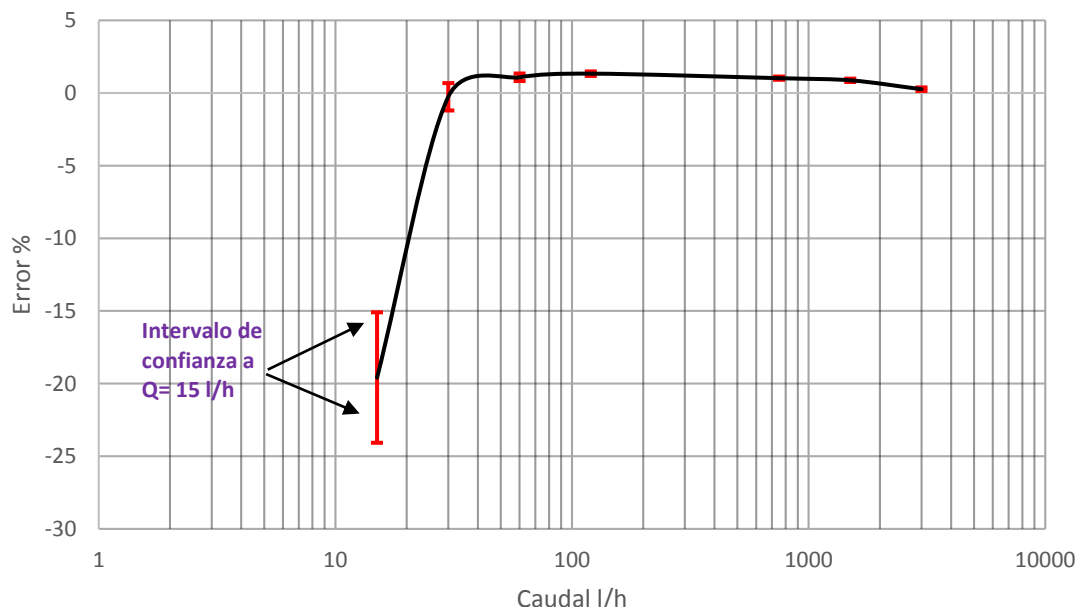


Figura 30 Intervalos de confianza en cada caudal de prueba

El segundo enfoque, consiste en definir una amplitud del intervalo de confianza para un nivel de confianza dado (Tabla 17) teniendo en cuenta la varianza a diferentes caudales, de lo cual se determina el número de contadores necesarios. El valor de la varianza se puede estimar como el que se haya obtenido de resultados de ensayos previos en contadores similares.

En cualquier caso las variables como calidad del agua, ubicación, características de la instalación deben quedar completamente determinadas y evitar análisis con unas características de una población particular (Arregui et al. 2006b).

3.1.6. Determinación del patrón de consumo

Como ya se ha dicho, los contadores según el caudal circulante son en mayor o menor grado capaces de registrar el consumo. Las dificultades mayores se dan a caudales bajos, por este motivo, si no se conocen los caudales que pasan por el contador, es imposible determinar el porcentaje de agua que se registrará por exceso o por defecto

Determinar el patrón de consumo doméstico implica seleccionar una muestra representativa de usuarios, mientras que el patrón de consumo no doméstico se debe estudiar de manera individual, debido a la dispersión que existe en esta clase de usuarios (Arregui et al. 2006b).

El consumo doméstico está más definido (Mayer et al. 1999) e incluyen los correspondientes a usos en duchas, retretes, máquinas de lavar, grifos, riego, fugas, etc. Las fugas son normalmente las más difíciles de medir y son pasadas por alto si para el usuario no son evidentes, o si no se refleja económicamente en la factura, pudiendo representar un porcentaje considerable del consumo (Arregui et al. 2006b, Beal et al. 2010).

Una fuga no es constante sino que depende de la presión de la red haciendo que pueda ser registrado en determinados períodos y que no sean registradas en absoluto incluso por los contadores. Así, una fuga puede darse a caudales bajos como elevados. En este mismo sentido, viviendas con depósitos suelen consumir caudales muy bajos en períodos muy extendidos que no son registrados, afectando la precisión total del contador.

Saber los caudales a los cuales se consume en una vivienda es difícil debido a los factores que intervienen en su determinación, como pueden ser: factores estacionales, ingresos económicos, composición familiar, edad, prácticas culturales, características de los accesorios utilizados, etc. (Beal et al. 2010).

Considerar todos estos factores harían sumamente costosa la determinación del patrón de consumo, por lo que es preferible considerar las variables de mayor peso (Arregui et al. 2006b) y centrarse por ejemplo en la tipología de vivienda y la forma en la que ésta es alimentada, es decir si proviene de directamente de la red, por depósito o bombeo.

La determinación del patrón de consumo doméstico fiable es fundamental para la determinación del error de los contadores, pero debido a limitaciones de índole técnico

y económico no siempre es posible obtenerlo de campo y se suele tomar de estudios realizados previamente en otras locaciones, que pueden tener un comportamiento muy diferente al de los usuarios de un abastecimiento en particular, haciendo que su uso cometa errores si no se tiene un comportamiento en cuanto al consumo al menos similar.

Estos estudios previos del patrón de consumo, han tenido limitaciones debidas por ejemplo al número de viviendas analizadas, a la duración de las medidas tomadas en las viviendas, al lugar donde fueron tomadas las muestras de estudio, o debido a la limitación de la tecnología con la que se tomaron los datos (Arregui et al. 1998).

Para una investigación realizada más recientemente en España (Arregui 2002), utilizaron tecnologías más modernas para el registro, clasificando en tres tipos de vivienda:

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

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

Tipo III: Unifamiliares con jardín. Se registró en verano en 54 viviendas más de cuatro semanas.

Tabla 18 Patrones de consumo en España por tipo de vivienda (Arregui, 2002)

Caudal (l/h)	Tipo I	Tipo II	Tipo III
0-12	4.7%	10.0%	2.7%
12-22	2.8%	3.1%	1.9%
24-36	1.9%	1.8%	1.6%
36-72	4.3%	4.2%	4.5%
72-180	8.5%	11.6%	5.7%
180-1500	75.7%	69.3%	63.6%
1500-3000	1.9%	0.0%	17.3%
>3000	0.2%	0.0%	2.7%
Consumo medio	Aprox. 500 l/día	Aprox. 500 l/día	Aprox: 1200 l/día

Aunque para una primera estimación se pueden utilizar los datos de estudios como éste, es recomendable determinarlo para las características de los usuarios del abastecimiento y de esta manera obtener resultados más fiables (Arregui et al. 2006b).

Para el presente trabajo, se ha utilizado el patrón de consumo de la empresa FACSA, correspondiente al abastecimiento del presente estudio y que es consumido directamente de la red.

PATRÓN DE CONSUMO FACSA	
Caudal l/h	
0-6	3.9 %
6-12	1.0 %
12-24	1.6 %
24-45	1.8 %
45-90	2.0 %
90-250	9.6 %
250-1000	78.0 %
1000-2000	2.1 %
2000-3000	0 %

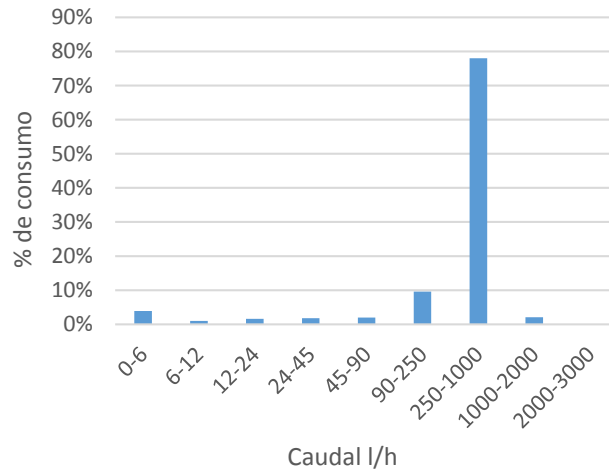


Figura 31 Patrón de consumo de la población de estudio proporcionado por la empresa FACSA

3.1.7. Procedimiento para la obtención del patrón de consumo

Previo a la instalación de los equipos en las viviendas cuyos usuarios consientan su instalación, se debe hacer una encuesta de ciertos aspectos como por ejemplo el grado de compromiso con el que se disponga de parte del usuario para la realización de las mediciones, así también es necesario conocer el tipo de vivienda de estudio, es decir, si es unifamiliar o no, puesto que se desea saber el comportamiento que tendría una vivienda representativa, haciendo posible descartar para el estudio si no lo fuera. Otro aspecto de interés es si cuenta o no la vivienda con depósito de almacenamiento por los comentarios ya mencionados, y además determinar el número de habitantes por vivienda (Beal et al. 2010).

Además de esto, una vez seleccionadas las viviendas para el estudio, se debe hacer una inspección visual de los medidores, y que éstos puedan ser rápidamente reemplazados por el medidor más preciso de prueba, causando los mínimos daños por el reemplazo, además de contar con el espacio suficiente para la instalación y teniendo presente que debe ser apto para la transmisión de datos (Beal et al. 2010).

Se debe obtener de la forma más precisa posible el patrón de consumo, por eso es deseable que los equipos sean lo suficientemente capaces de determinar el caudal circulante. Como mínimo se debe disponer de un contador, un emisor de pulsos y un equipo registrador (Arregui et al. 2006b). Para esto, por ejemplo, es preferible disponer de un contador volumétrico con un caudal de arranque lo más bajo posible de tal manera que no se pierda información a caudales bajos. También los emisores de pulsos deben tener una alta resolución. Recientemente, por ejemplo en estudios realizados de uso final del agua (Willis et al. 2011), se han podido usar emisores con una resolución de 0,014 l/pulso y un intervalo de registro de datos de 10 segundos.

Se debe tener cuidado que el emisor de pulsos no afecte la medición por el incremento de la inercia que implica la instalación de estos dispositivos, puesto que hace que aumente el caudal de arranque (Arregui et al. 2006b).

Del contador de prueba se debe conocer su curva de error, de manera que conociendo su comportamiento se pueda corregir la distribución de consumos obtenida directamente de los resultados, ponderándolos según la precisión que tenga el contador en cada rango (Arregui et al. 1998).

A manera de ejemplo, se presenta en la Tabla 19 la corrección del porcentaje consumido en cada rango debido al error del contador de prueba (Arregui et al. 1998).

Tabla 19 Ejemplo de corrección del consumo real en cada rango, considerando el error del contador de prueba

Rango de caudales (l/h)	% de volumen consumido (de la medición) AWWA 1993	Precisión media del contador de prueba en el rango %	Por cada 100 litros leídos, volumen real consumido	% de volumen real consumido en el rango de caudales (corregido con la precisión del contador)
0-4.56	2.5	50	5	4.88
4.56-14.25	2.3	70	3.29	3.21
14.25-28.5	2	91.45	2.19	2.13
28.5-57.0	2	96.6	2.07	2.02
57-114	1.2	100.95	1.19	1.16
114-171	1.4	100.95	1.39	1.35
171-228	1.7	100.95	1.68	1.64
228-456	14.2	101.65	13.97	13.63
456-684	13.4	101.65	13.18	12.86
684-912	14.8	101.65	14.56	14.21
912-1368	28	101.65	27.55	26.88
1368-1824	9.8	101.1	9.69	9.46
1824-2280	3.3	101.1	3.26	3.18

2280-3420	2.5	101.1	2.47	2.41
3420-4560	0.7	100.35	0.70	0.68
4560-5700	0.1	100.35	0.10	0.10
>5700	0.2	101.1	0.20	0.19
		Total	102.49	100.00

Los avances tecnológicos han hecho que se puedan obtener patrones de consumo, más reales, la captura y transferencia de datos mucho más eficiente, permitiendo conocer con más exactitud los consumos, pero a pesar de esto, es recomendable realizar encuestas o cuestionarios a los usuarios, puesto que pueden ser claves a la hora de determinar el uso del agua, independientemente de la tecnología usada (Beal et al. 2010).

En cuanto a la duración de las mediciones, inciden factores económicos y la cantidad de equipos disponibles para las mediciones. El comportamiento del consumo para usuarios sin fugas es estable por lo que con una semana de medición sería suficiente, mientras que, si las fugas son un componente importante del consumo de agua de un usuario, se debe medir un tiempo más amplio (Arregui et al. 2006b).

3.1.8. Cálculo del error de medición (error ponderado)

Una vez que se ha determinado el patrón de consumo y la curva de error de los medidores se está en capacidad de determinar el consumo que registran y por tanto el error en la medición.

Se había comentado que considerar un único valor como error representativo de caudales bajos no es correcto, por lo que recomienda las siguientes suposiciones para la ponderación del patrón de consumo y la curva de error (Arregui et al. 2006b):

Curva de error:

- El error de medición a caudal de arranque es del -70%.
- El error a un caudal intermedio entre errores de caudal conocido se lo obtiene de una interpolación lineal.

Patrón de consumo:

- En cada intervalo de caudales el error está repartido uniformemente.

Error de medición global:

- Caudales por debajo del caudal de arranque, tienen un error del -100%.
- El volumen consumido en cada intervalo del patrón de consumo, se registra como el error del caudal medio del intervalo.

Como ejemplo, Arregui reconstruye la curva de error con éstas suposiciones y las pondera con el patrón de consumo de la vivienda Tipo I:

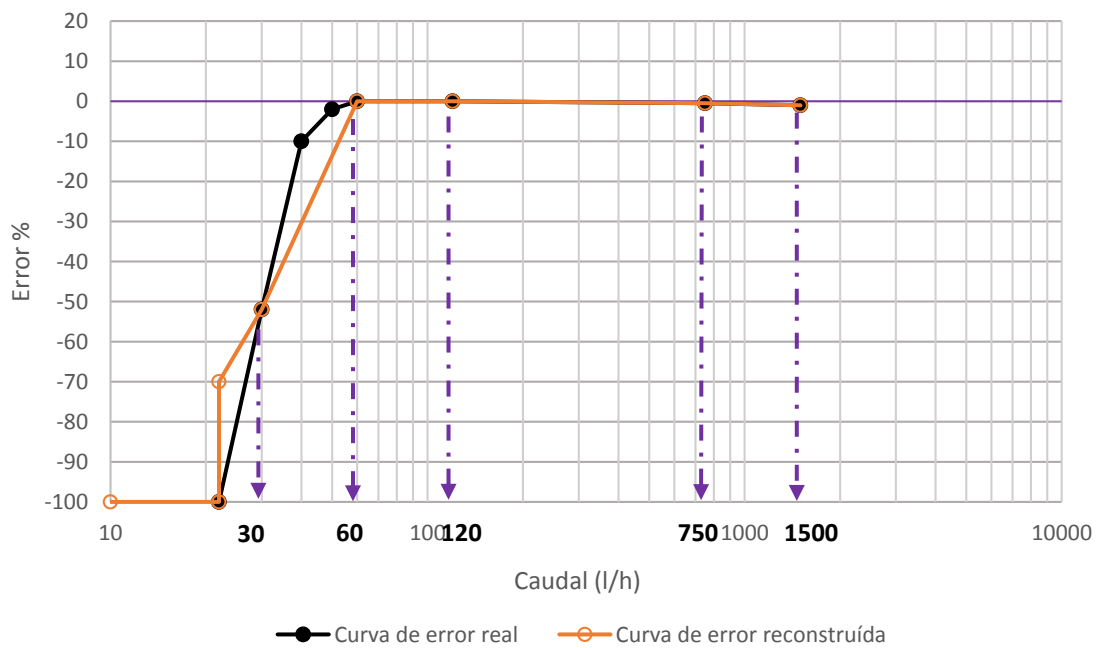


Figura 32 Curva de error reconstruida disponiendo del caudal de arranque y realizando una interpolación lineal.

El cálculo del error se muestra en la Tabla 20, el error del contador se obtiene de la Figura 32 (curva de error real) con el valor medio del rango considerado.

Tabla 20 Procedimiento de ejemplo para el cálculo del error ponderado

Rango de caudales (l/h)	Consumo vivienda Tipo I (%)	Error del contador (%)	Volumen registrado en el rango
0-12	4.7%	-100%	0.00%
12-22	2.3%	-100%	0.00%
22-24	0.5%	-68%	0.16%
24-36	1.9%	-52%	0.91%
36-72	4.3%	-11%	3.83%
72-180	8.5%	0%	8.50%
180-1500	75.7%	-0.8%	75.09%
1500-3000	1.9%	-0.8%	1.88%

>3000	0.2%	-0.8%	0.20%
		Total	90.58%
		Error	-9.42%

Como se puede ver, a diferencia de la curva de error propuesta por la AWWA, mediante este método se tiene en cuenta el caudal por debajo del de arranque que el contador no es capaz de registrar, de ahí la mejor estimación del error y la conveniencia del uso de estas recomendaciones.

3.1.9. Error global de medición de un parque de contadores

Una vez que se tiene el patrón de consumo y la curva de error media de un grupo clasificado de contadores, se está en capacidad de conocer su error global. Para esto se deben estimar los coeficientes de ponderación de cada grupo sobre el volumen total de agua consumida.

La forma más precisa de estimar esta ponderación, está basado en el cálculo del volumen registrado y el volumen real consumido (Arregui et al. 2006b).

$$Volumen\ consumido_i = \frac{Volúmen\ registrado_i}{1 - \varepsilon_i}$$

La ecuación anterior se debe aplicar para cada grupo previamente clasificado por edad, modelo y caudal permanente del contador, en dónde de ε_i es el error global del subgrupo de medidores y el $Volúmen\ registrado_i$ es el correspondiente al subgrupo en un tiempo determinado.

El volumen total consumido es:

$$Volúmen\ total\ consumido = \sum Volúmen\ consumido_i = \sum \frac{Volúmen\ registrado_i}{1 - \varepsilon_i}$$

El error global del parque es:

$$\varepsilon_{global} = \frac{\sum \frac{Volúmen\ registrado_i}{1 - \varepsilon_i} - \sum Volúmen\ registrado_i}{\sum \frac{Volúmen\ registrado_i}{1 - \varepsilon_i}} = 1 - \frac{\sum Volúmen\ registrado_i}{\sum \frac{Volúmen\ registrado_i}{1 - \varepsilon_i}}$$

3.1.10.El programa Woltmann

Hay muchas razones para la implementación y utilización de una herramienta informática en la gestión del parque de contadores. Como se ha visto, la obtención del error global de usuarios domésticos proviene de la determinación de la curva de error media, para la cual se analiza una muestra representativa de la población de contadores. Es de interés además, tener información relevante al tipo de vivienda, uso principal de la misma, número de personas que la habitan, identificación del usuario, tipo de equipo instalado, orientación del contador, marca, foto de la instalación etc.

De la misma manera, hay diversidad de patrones de consumo que pueden obtenerse según el tipo de usuario: doméstico, industrial, institucional, etc. y que para su determinación, gran cantidad de datos se deben tomar en un determinado lapso de tiempo representando un gran esfuerzo técnico y económico.

El análisis del comportamiento de un contador se realiza por diversas causas, por ejemplo para determinar la conveniencia de un modelo nuevo para un parque, de un modelo ya en uso para el estudio de la degradación con el tiempo, o por reclamación de un usuario que sospeche de un sobrecontaje de su medidor.

Toda esta información es útil, que debe ser clasificada y de no ser almacenada de manera adecuada, puede terminar en el olvido, como un archivo que sólo sería capaz de descifrar el responsable de turno, de no tener una herramienta que gestione toda esta ingente cantidad de datos. Por esto, deseable tener todos estos datos dentro de un mismo programa.

En las bases de datos tradicionales se presentan los siguientes problemas (Arregui et al. 2009):

1. Limitaciones en la cantidad de datos a almacenar con respecto al medidor a analizar, sus condiciones de prueba y otros factores que puedan incidir sobre su capacidad de medición.
2. El tipo de consultas que pueden ser generadas en los datos almacenados.
3. Consistencia de los datos introducidos en la base de datos.

Con respecto a la consistencia, es esencial validar los ensayos de manera que se cumplan los requisitos establecidos para dar por satisfactoria la prueba. Por ejemplo si el caudal real varía en más del 10% del caudal objetivo, se lo debería descartar.

El cálculo del error de medición, por otra parte, debe ser estandarizado, es decir que no dependa del técnico que realice el estudio y que la base de datos necesaria para su determinación la pueda manejar otra persona capacitada.

Para evitar estos problemas, se propone (Arregui et al. 2009) un mínimo de campos que deben tener las bases de datos:

- Con respecto al procedimiento de ensayo.
 - Caudales teóricos a ensayar
 - Volumen teórico que debería circular durante el ensayo.
 - Orden de los caudales de ensayo.
 - Límites de tolerancia para aceptar el ensayo como válido.
- Con respecto a los resultados:
 - Duración del ensayo.
 - Volumen real circulado y medido en las probetas.
 - Lecturas del totalizador antes y después del ensayo.
- Información del medidor:
 - Número de medidor / número de identificación.
 - Modelo, fabricante y año de fabricación.
 - Longitud, diámetro nominal, caudal nominal.
 - Motivo del ensayo.
 - Características del usuario (doméstico/ no doméstico).
 - Tipo de instalación: (de alimentación directa, de tanque, bombeo, etc.)
 - Fotos, comentarios de la instalación.
 - Orientación del medidor.

El beneficio de tener la mayor cantidad de datos, supera con creces el tiempo que requiere la construcción de la base con este detalle.

Woltmann, es un programa desarrollado por el Instituto Tecnológico del Agua, de la Universidad Politécnica de Valencia, para la ayuda a la gestión de un parque de

contadores, que gestiona la base de datos de los ensayos y patrones de consumo, permite realizar consultas para estratificar el parque de contadores según su edad, volumen acumulado, caudal nominal, calibre, clase, etc. y permite conocer el error ponderado de un determinado modelo de contador con sus características particulares.

También, estima el caudal de arranque del contador basándose en el error a un caudal bajo ensayado, hace interpolaciones lineales entre errores a caudales conocidos y tiene un módulo de análisis económico que permite comparar entre distintas opciones, estima su vida útil y el período de renovación óptimo. En este trabajo, Woltmann se ha utilizado para obtener el error ponderado de los medidores ensayados.

3.2. Estudio económico y periodo de renovación

3.2.1. Introducción

Uno de los principales problemas que tienen los abastecimientos es no tener un programa de renovación adecuado, con las consecuencias económicas que representa para la empresa el agua no cobrada y consumida por los usuarios.

Es usual en muchos abastecimientos realizar lecturas periódicas de los contadores para efectuar el cobro por el consumo. Dichos consumos se mantienen relativamente constantes si se compara con períodos similares en años anteriores ya que la demanda varía según la estación del año que se trate. Asimismo, el agua consumida por ejemplo de mes a mes se espera fluctúe dentro de cierto rango para usuarios domésticos. Siendo así, la empresa esperaría realizar cobros dentro de los cuales los clasificaría como “normales”.

Ahora bien, al pasar el tiempo los contadores degradan su calidad de medición y no son capaces de medir con la misma exactitud, lo que reporta menos volumen del real consumido por un usuario y por tanto menos ingresos económicos para la empresa, llegando en casos extremos de no contabilizar en absoluto y es solo en este punto, cuando la empresa se da cuenta que no realiza ningún cobro y procede al cambio del contador en mal estado.

Como se puede notar, hasta llegar a este punto la empresa ya ha perdido ingresos progresivamente y en definitiva ha regalado un bien escaso consecuencia de no tener un programa de renovación de contadores asociado a criterios técnicos.

Ya se ha hecho mención de la importancia de conocer el comportamiento de los contadores a lo largo de su vida útil y de mantener el parque de contadores en las mejores condiciones. Ahora se tratará a través de criterios técnico-económicos propuesto en bibliografía (Arregui et al. 2006b) encontrar el período de renovación óptimo, en la cual intervienen parámetros como la tasa de degradación del error ponderado, el precio del agua, el costo del contador, el costo de instalación, el volumen consumido y la tasa de actualización o descuento (Arregui et al. 2011).

Desde luego, se deben tomar en consideración las restricciones que podrían existir en cada caso en las normativas o leyes del municipio en cuestión, como puede ser por ejemplo la restricción de acuerdo a su clase metrológica. Hay que tener presente en este punto que muchos contadores con la misma clase metrológica se pueden comportar de manera muy distinta. Por otro lado, puede haber restricciones en cuanto a la frecuencia de renovación establecida o volumen máximo registrado por los contadores, restricciones sobre el error global conjunto máximo, etc.

Sin embargo (e independientemente de las restricciones), al gestor le interesaría conocer las condiciones que le permitan maximizar los ingresos o lo que es equivalente: minimizar los costos. Es recomendable incluso, modificar las normativas existentes en base a este tipo de estudios y reemplazar las en ocasiones muy simplistas normativas para el reemplazo de los contadores que pasan por alto factores fundamentales.

El contador es el único instrumento con el que cuenta la empresa para llevar el registro del consumo y por tanto del cobro a sus usuarios, de ahí la importancia que tiene para la sustentabilidad del abastecimiento. Desde este punto de vista, es un equipo de la empresa de agua que debe renovarse para que esta pueda continuar con su labor.

De entre los principales métodos usados por las empresas para determinar la idoneidad o no de un proyecto de terminado se pueden enumerar:

1. El Valor actual neto (VAN).
2. La tasa interna de retorno (TIR)

3. Mediante el método del período de recuperación de la inversión.

El método propuesto en la bibliografía consultada (Arregui et al. 2011) recomienda el primer método para la evaluación económica. Se debe decir que el valor actual neto es un método muy empleado por los analistas, aunque los otros dos métodos también son usados, y de hecho se recomienda en ocasiones evaluar por los tres métodos antes de decidir por cual proyecto emprender (Bierman Jr & Seymour Smidt. 2012).

3.2.2. Valor actual neto (VAN)

Se parte del concepto del valor temporal del dinero, una unidad monetaria hoy vale más que la misma unidad en el futuro, esto es debido a que una cantidad de dinero que se disponga en el presente es capaz de generar intereses a futuro. La tasa de actualización r' , es una manera de tomar en cuenta este hecho.

Para calcular el valor actual de una cantidad futura se emplea la siguiente ecuación:

$$P_{actual} = \frac{P_t}{(1 + r')^t}$$

En donde:

P_t = flujo de efectivo en el período t.

r' = tasa de actualización real.

t = número de períodos de descuento.

La tasa de actualización real se la calcula mediante:

$$r' = \frac{(1 + r)}{(1 + s)} - 1$$

En donde:

r = tasa de actualización nominal

s = inflación

Para establecer la tasa de actualización nominal, se puede usar la rentabilidad libre de riesgo de cada país (Arregui et al. 2006b). Por otro lado, la inflación toma en cuenta la pérdida del valor adquisitivo del dinero en el tiempo.

Exigir una tasa de actualización muy alta hace que se deban adquirir contadores más caros, en principio, esto querría decir de mayor calidad.

Para el cálculo del valor actual neto VAN se deben estimar los flujos de caja de cada año en el que se considere el proyecto, trasladarlos al año inicial, es decir calcular su valor actual y sumarlos. De esta suma se debe restar la inversión inicial, en donde, si el resultado es positivo quiere decir que el proyecto es factible, en caso contrario se debe buscar otra alternativa.

El flujo efectivo neto es la diferencia entre los ingresos y los egresos. En la Figura 33 se indican los traslados a valor actual dichos flujos repartidos en distintos períodos de tiempo

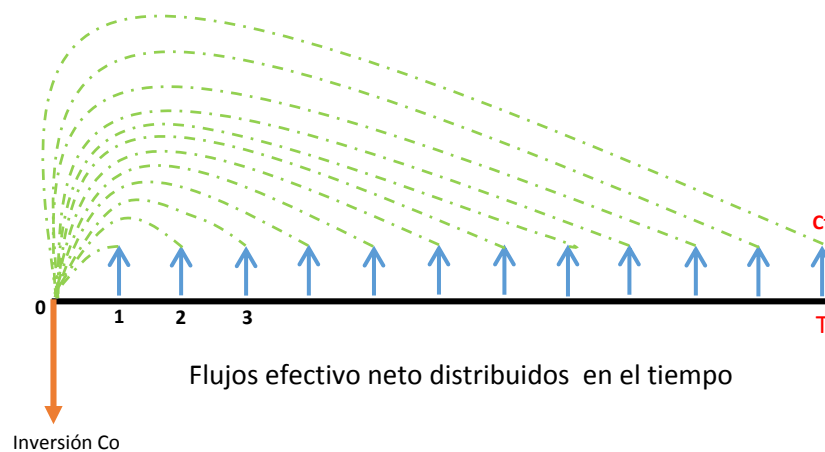


Figura 33 Representación de dinero futuro trasladado a valor actual mediante el VAN

. El VAN se calcula mediante:

$$VAN = \sum_{t=1}^T \frac{P_t}{(1 + r')^t} - C_0$$

En donde:

P_t = flujo efectivo neto dentro del período.

C_0 = inversión inicial.

r' = tasa de actualización real.

t = número de períodos de tiempo.

En el caso que nos ocupa, la sustitución de contadores no está en duda, puesto que es equipo que debe ser sustituido, sino la manera de llevarlo a cabo, y ésta consistiría en calcular el valor actual neto de los costes y seleccionar la opción de menor coste (Arregui et al. 2006b).

$$Coste = C_{compra} + C_{instalación} + C_{administrativos} + \sum_{t=1}^T V_t * \epsilon_t * \frac{C_{H2O}}{(1 + r')^t}$$

En donde:

C_{H2O} = Precio de venta del agua.

V_t = Volumen promedio por usuario típico en el año t

ϵ_t = Error de medición ponderado en el año t

r' = tasa de actualización real.

Otra forma equivalente de abordar el problema sería mediante la maximización de los ingresos que aporta cada contador para lo cual se cambia de signo los términos de la ecuación anterior y en lugar del volumen no registrado, se tomarían en cuenta los consumos registrados.

$$Ingresos = -C_{compra} - C_{instalación} - C_{administrativos} + \sum_{t=1}^T V_t * (1 - \epsilon_t) * \frac{C_{H2O}}{(1 + r')^t}$$

3.2.3. Parámetros que influyen en el período óptimo de renovación

Se había comentado que entre las principales se pueden enumerar (Arregui et al. 2011):

1. La tasa de degradación del error ponderado de los contadores.
2. El precio de venta del agua.
3. Costos iniciales.
4. El volumen consumido por un determinado tipo de usuario.

Tasa de degradación del error ponderado de los contadores

Como se puede notar, la ecuación de ingresos o gastos toma en cuenta el error de medición, es por eso que su determinación es de importancia. Estudios para su determinación consumen tiempo y dinero que no todos los abastecimientos están en condiciones de asumir.

Cuando se trata de elegir entre varios modelos de contadores nuevos de los cuales no se tienen estudios de degradación como el del presente trabajo, es preferible suponer una tasa de degradación para su evaluación económica, que asumir que su calidad de medición es la misma en todo el período de vida útil. Luego en un par de años se procedería a retirar de campo los contadores de estos modelos ya instalados y ensayarlos en laboratorio, lo cual corroboraría o descartaría la suposición hecha permitiendo realizar las correcciones correspondientes (Arregui et al. 2006b).

Como se indicó, el error ponderado depende de la curva de error del contador como del patrón de consumo de sus usuarios.

Precio de venta del agua

Lógicamente, mientras más sea el costo por metro cúbico del agua, mayor estarán valoradas las pérdidas por el agua no medida por lo que a mayor precio menor será el período de sustitución de los contadores.

Algunas empresas cuentan con tarifas escalonadas de cobro, siendo así, el agua no registrada se debe valorar con el bloque correspondiente al último metro cúbico registrado (Arregui et al. 2006b). Las tarifas del agua muchas veces incluyen el costo de la depuración y otros cánones, pero para el estudio se debe separar lo que corresponde únicamente del servicio de abastecimiento.

Para ilustrar esto, en la Figura 34 se muestra un estudio de la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento junto con la Asociación Española de Empresas Gestoras de los Servicios de Agua a Poblaciones (AEAS-AGA).

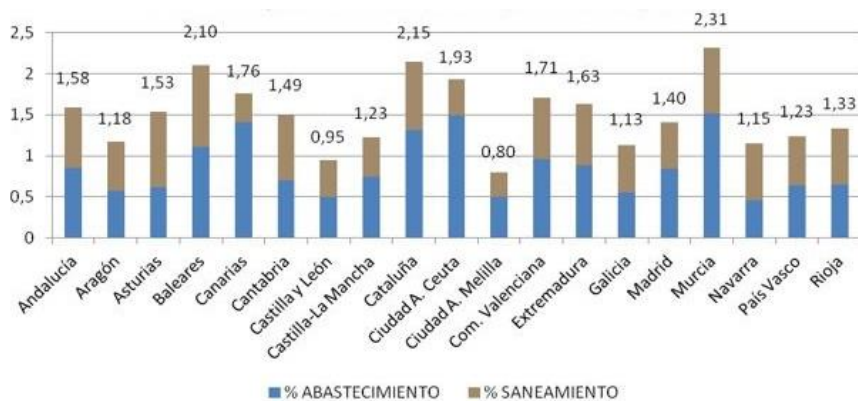


Figura 34 Porcentaje de precio (€/m³) para abastecimiento y saneamiento

El precio medio del agua en España es de 1.59 € de los cuales el 58% corresponden al servicio de abastecimiento, mientras que el 42% corresponde al saneamiento (AEAS-AGA).

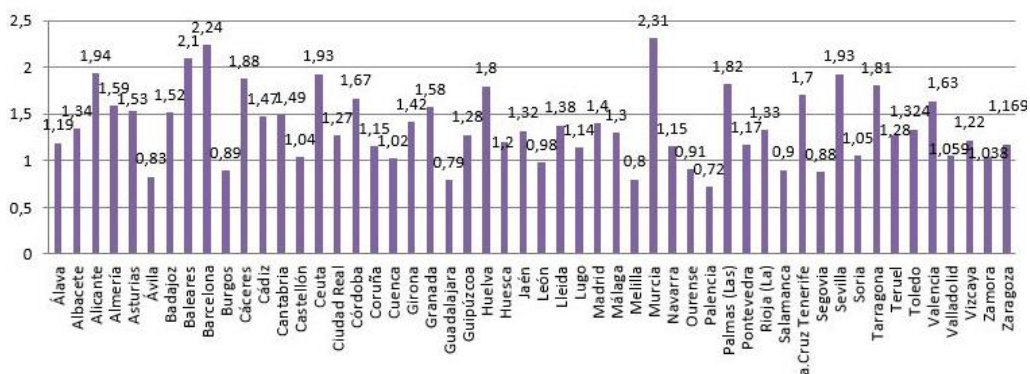


Figura 35 Precios de agua en ciudades españolas

Así también, en la misma fuente, se hace una comparación de los precios de agua en algunas ciudades del resto de Europa donde se puede ver la diferencia apreciable de los costos.

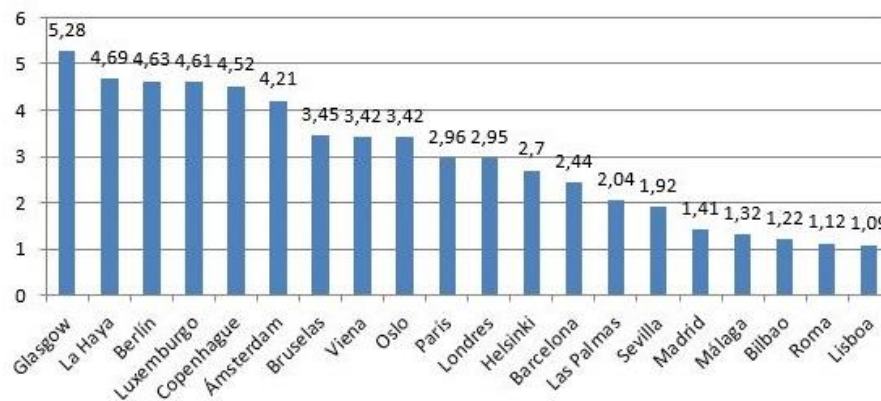


Figura 36 Precios de agua en ciudades europeas

Costos iniciales

Dentro de estos costos, no solo debe tomarse en cuenta el costo del contador, sino el costo de cualquier gasto administrativo y de instalación relacionados con la sustitución del contador (Arregui et al. 2011).

Es de esperar que un mayor costo del contador se asocie a su esperada mejor calidad. Un precio alto del agua hace que se deba instalar contadores de mejor calidad metrológica.

Volumen consumido por un determinado tipo de usuario

En cuanto al volumen promedio, las empresas llevan un registro periódico de los consumos de sus abonados con lo cual se puede estimar el consumo promedio anual para un determinado tipo de usuario, en este caso doméstico.

Debido a la degradación metrológica del contador, es de esperar que contabilice menos volumen el realmente consumido al avanzar la edad del mismo.

En base a este parámetro, se puede estimar cuanto volumen deja de registrar el contador conforme pasa el tiempo. De esta manera se puede evaluar económicamente las pérdidas por el agua no facturada pero consumida es decir haciendo un análisis de gastos.

Desde otro método equivalente, se puede usar directamente este dato para evaluar los ingresos que por el volumen registrado factura la empresa al usuario.

3.2.4. Casos de estudio

Si el período de renovación es establecido previamente

En el caso de que por restricciones de índole legal se tengan que reemplazar los contadores de acuerdo a un número fijado de años, el problema se limita a evaluar el proyecto que maximice los ingresos o minimice los costes.

Se ilustrará con un ejemplo el proceso de selección de entre tres contadores de los cuales no se conoce la tasa de degradación del error y se estima en principio el mismo valor para todos los modelos del estudio.

Debido a que en el momento de compra no se conoce la tasa de degradación, se recomienda (Arregui et al. 2006b) que se realice un análisis de sensibilidad con las variables que intervienen. Los datos se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21 Datos para el ejemplo de elección de un contador desde el punto de vista económico

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Precio de compra (€)	10	15	20
Coste de instalación (€)	12	12	12
Gastos Administrativos (€)	2	2	2
Clase metrológica	B	B	C
Error inicial (%):	-6.00%	-5.00%	-4.00%
Ritmo de deterioro (%/año)	-0.50%	-0.50%	-0.50%
ratio V	0.40	0.48	0.57

Consumo medio anual por usuario:	120 m ³
Tasa de actualización nominal:	5.00%
Inflación:	1.00%
Tasa de actualización real:	3.96%
Precio del agua:	0.3 €/m ³

Período de renovación por restricciones legales: 10 años

Se debe tomar en cuenta que en el presente ejemplo se toma una tarifa fija del agua y se ha supuesto una degradación lineal con el tiempo. Para un análisis riguroso se debe tomar en cuenta cualquier cambio en la tarifa puesto que los abastecimientos actualizan según las normativas que rijan por ley o dependen del volumen consumido.

Asimismo, es deseable que todos los parámetros que intervienen, sean estimaciones que se mantengan dentro de unos márgenes esperados de tolerancia.

Para el Modelo 1

Año	Costos iniciales (€)	Volumen registrado (m ³)	Valor actual de los ingresos por agua registrada (€)	Valor actual de los ingresos acumulados por agua registrada (€)	VAN total de los ingresos (€)
1	-24	112.2	32.38	32.38	8.38
2		111.6	30.98	63.36	39.36
3		111	29.64	92.99	68.99
4		110.4	28.35	121.35	97.35
5		109.8	27.13	148.47	124.47
6		109.2	25.95	174.42	150.42
7		108.6	24.82	199.25	175.25
8		108	23.75	222.99	198.99
9		107.4	22.72	245.71	221.71
10		106.8	21.73	267.44	243.44

Para el Modelo 2:

Año	Costos iniciales (€)	Volumen registrado (m ³)	Valor actual de los ingresos por agua registrada (€)	Valor actual de los ingresos acumulados por agua registrada (€)	VAN total de los ingresos (€)
1	-29	113.4	32.72	32.72	3.72
2		112.8	31.31	64.03	35.03
3		112.2	29.96	93.99	64.99
4		111.6	28.66	122.66	93.66
5		111	27.42	150.08	121.08
6		110.4	26.24	176.31	147.31
7		109.8	25.10	201.41	172.41
8		109.2	24.01	225.42	196.42
9		108.6	22.97	248.39	219.39
10		108	21.97	270.36	241.36

Para el Modelo 3:

Año	Costos iniciales (€)	Volumen registrado (m ³)	Valor actual de los ingresos por agua registrada (€)	Valor actual de los ingresos acumulados por agua registrada (€)	VAN total de los ingresos (€)
1	-34	114.6	33.07	33.07	-0.93
2		114	31.64	64.71	30.71
3		113.4	30.28	94.99	60.99
4		112.8	28.97	123.96	89.96
5		112.2	27.72	151.68	117.68
6		111.6	26.52	178.20	144.20
7		111	25.37	203.58	169.58
8		110.4	24.27	227.85	193.85
9		109.8	23.22	251.07	217.07
10		109.2	22.22	273.29	239.29

Comparando resultados, desde un punto de vista económico se optaría por el modelo 1 dado su mayor VAN.

	VAN (€)
Modelo 1	243.44
Modelo 2	241.36
Modelo 3	239.29

Una mala calidad de agua puede dañar más rápidamente un contador de mayor clase que uno de menor clase metrológica (Arregui et al. 2006b) por lo que es importante determinar el que mejor se ajuste a las condiciones particulares del abastecimiento.

Desde el punto de vista técnico en el ejemplo presentado, si suponemos por ejemplo que la red sufre frecuentes roturas que arrastren material sólido, podría justificarse la elección del modelo 1 desde este punto de vista, ya que el modelo 3 a pesar de ser de mayor clase metrológica (clase C) y la diferencia entre VAN entre los tres modelos analizados no es considerable, el modelo clase C puede no ser adecuado debido a que la calidad del agua haría que la degradación con el paso del tiempo sea mayor que si se instalara el modelo 1 (clase B).

Se podría construir gráficas para diferentes tasas de deterioro (Figura 37). En el ejemplo se ha supuesto que se degradan a la misma tasa los tres modelos. Con este tipo de gráfica se puede ver lo que pasaría (aumentando el error linealmente) si esta tasa sería diferente.

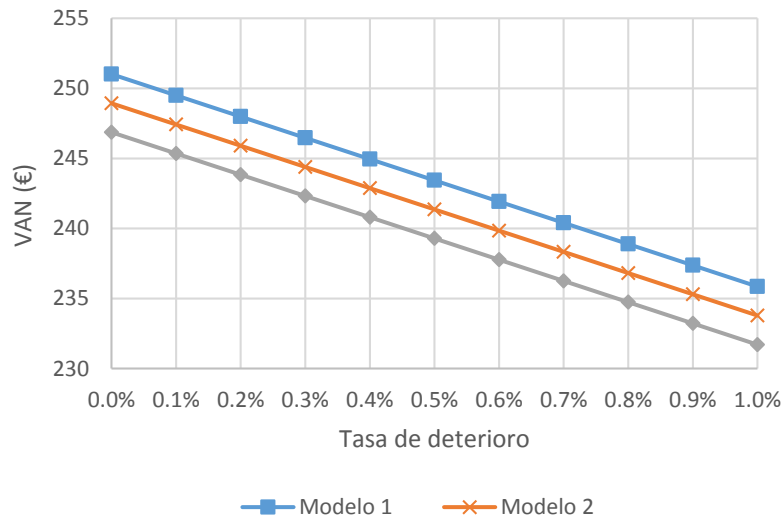


Figura 37 Variación del VAN con la tasa de deterioro

Si se cambia el precio del metro cúbico a 1€ se puede observar que las diferencias son prácticamente nulas. Debido a esto, el precio del agua es condicionante en el análisis económico y el parámetro más influyente al realizar este tipo de estudios.

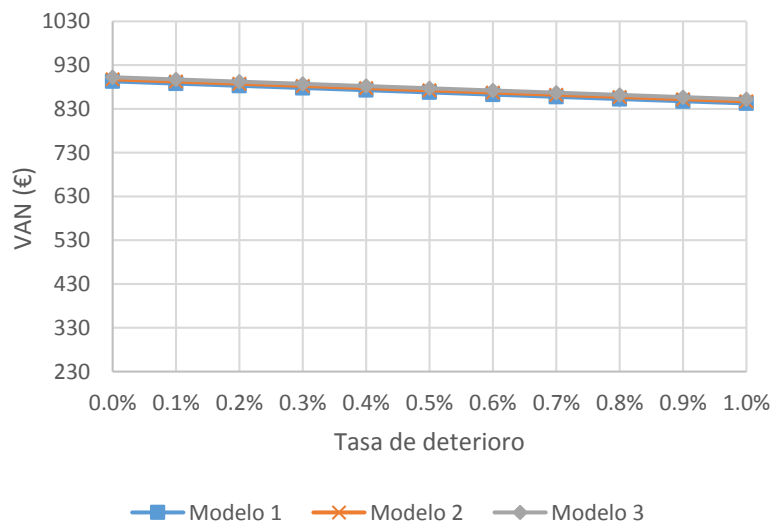


Figura 38 Variación del VAN con la tasa de deterioro precio del agua 1€

Caso general para la selección del contador más económico

En el caso general, se debe seleccionar el contador más adecuado y calcular la vida útil del contador que permita obtener los mayores beneficios.

El método propuesto por Arregui, tiene en consideración el valor del dinero en el tiempo mediante la aproximación del VAN de la cadena de renovaciones (VANC) y se puede usar para comparar opciones con diferentes períodos de vida útil (Arregui et al. 2006b).

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

$$VANC = VAN * \frac{(1+r')^n}{(1+r')^n - 1}$$

$$VANC = \left(C_{compra} + C_{instalación} + C_{administrativos} + \sum_{t=1}^T V_t * \epsilon_t * \frac{C_{H2O}}{(1+r')^t} \right) * m \quad (3.1)$$

En donde n es el período de renovación de los contadores.

La ecuación anterior, se hace enfocándose en los gastos, por lo que el período de vida útil sería el valor mínimo del VANC obtenido. Análogamente, se puede calcular el VANC de los ingresos, en donde el período de vida útil correspondería en ese caso, al valor máximo obtenido (Arregui et al. 2006b).

Debido a la variabilidad de los parámetros que intervienen (costos de los contadores, tasas de actualización, precio del agua, consumos), el cálculo puede tornarse pesado, incluso si se lo hace utilizando una hoja de cálculo. Es por esto que Arregui propone un método gráfico para su determinación.

Para esto, se define la variable V, que representa cuan mayores son los costos iniciales que los ingresos anuales esperados de los consumos medidos facturados (Arregui et al. 2011).

$$V(\text{años}) = \frac{\text{Costo del contador } (\text{€}) + \text{Costos de instalación } (\text{€})}{\text{Consumo } (m^3/\text{año}) * \text{Precio del agua } (\text{€}/m^3)} \quad (3.2)$$

Utilizando las ecuaciones 3.1 y 3.2, se pueden construir tales gráficas, en donde el valor V se dibuja en el eje de las equis, versus la vida útil estimada del VANC que maximice los ingresos o minimice los costos según se realice el análisis.

De cualquier manera, los métodos son equivalentes y se debe llegar a los mismos resultados independientemente de si el enfoque se hace en los ingresos o los gastos.

Lo expuesto anteriormente se analizará mediante un ejemplo:

Considérese que se disponen de las siguientes alternativas de contador y condiciones iniciales de costos, cuyos datos de consumo, tasa de degradación, precio del contador, precio del metro cúbico del agua son los que se indican a continuación:

		Alternativa #1	Alternativa #2	Alternativa #3
Condición A	Precio de compra (€)	10	18	23
	Coste de instalación (€)	12	12	12
	Gastos Administrativos (€)	2	2	2
	Ratio V (años)	0.67	0.88	1.01
Condición B	Precio de compra (€)	15	20	25
	Coste de instalación (€)	12	12	12
	Gastos Administrativos (€)	2	2	2
	Ratio V (años)	0.81	0.94	1.08
Condición C	Precio de compra (€)	8	12	24
	Coste de instalación (€)	12	12	12
	Gastos Administrativos (€)	2	2	2
	Ratio V (años)	0.61	0.72	1.06
Condición D	Precio de compra (€)	9	13	14
	Coste de instalación (€)	0	0	0
	Gastos Administrativos (€)	0	0	0
	Ratio V (años)	0.25	0.36	0.39
Clase metrológica		B	B	C
Error inicial (%) :		-6.00%	-5.00%	-3.00%
Ritmo de deterioro (%/año)		-0.30%	-0.30%	-0.30%

Consumo medio anual por usuario:	120 m ³
Tasa de actualización nominal:	5.00%
Inflación:	2.00%
Tasa de actualización real:	2.94%
Precio del agua:	0.30 €/m ³

En la Tabla 22 se indica el cálculo del VANC para la condición A y contador alternativa #1.

Para el cálculo del VANC sólo se ha multiplicado por el factor m de la ecuación del VAN, en donde se encuentra un VANC para esta situación de 1061.84 €.

Tabla 22 Cálculo del VANC de ejemplo para la construcción del método gráfico de determinación del período óptimo de renovación

Año	Costos iniciales (€)	Volumen registrado (m ³)	Valor actual de los ingresos por agua registrada (€)	Valor actual de los ingresos acumulados por agua registrada (€)	VAN total de los ingresos (€)	VANC (€)
1	-24	112.44	32.77	32.77	8.77	306.89
2		112.08	31.73	64.50	40.50	718.99
3		111.72	30.72	95.22	71.22	855.13
4		111.36	29.75	124.97	100.97	922.30
5		111	28.81	153.78	129.78	961.88
6		110.64	27.89	181.67	157.67	987.68
7		110.28	27.01	208.68	184.68	1005.61
8		109.92	26.15	234.83	210.83	1018.64
9		109.56	25.32	260.15	236.15	1028.39
10		109.2	24.52	284.67	260.67	1035.87
11		108.84	23.74	308.41	284.41	1041.69
12		108.48	22.98	331.39	307.39	1046.27
13		108.12	22.25	353.64	329.64	1049.90
14		107.76	21.54	375.19	351.19	1052.80
15		107.4	20.86	396.04	372.04	1055.10
16		107.04	20.19	416.24	392.24	1056.93
17		106.68	19.55	435.79	411.79	1058.37
18		106.32	18.93	454.72	430.72	1059.49
19		105.96	18.33	473.05	449.05	1060.35
20		105.6	17.74	490.79	466.79	1060.97
21		105.24	17.18	507.96	483.96	1061.41
22		104.88	16.63	524.59	500.59	1061.69
23		104.52	16.10	540.69	516.69	1061.82
24		104.16	15.58	556.27	532.27	1061.84
25		103.8	15.09	571.36	547.36	1061.76
26		103.44	14.60	585.97	561.97	1061.58
27		103.08	14.14	600.10	576.10	1061.33
28		102.72	13.69	613.79	589.79	1061.01
29		102.36	13.25	627.04	603.04	1060.63
30		102	12.82	639.86	615.86	1060.20

Análogamente, para las demás alternativas y costos iniciales se puede hacer este cálculo. Los resultados para el presente ejemplo se indican en la Tabla 23.

Tabla 23 Período de renovación óptimo del ejemplo, variando diferentes parámetros para la explicación del método gráfico.

r' (%)	Precio del contador (€)	ratio V (años)	Vida útil (años)	VAN (€)
2.94	9	0.25	14	1097.76
	13	0.36	17	1098.88
	14	0.39	18	1120.81
	8	0.61	23	1065.93
	10	0.67	24	1061.84
	12	0.72	25	1070.12
	15	0.81	26	1052.14
	17.5	0.88	28	1059.76
	20	0.94	29	1055.28
	22.5	1.01	30	1075.41
	24	1.06	31	1072.84
	25	1.08	31	1071.15

Si por ejemplo, se tuviera que elegir solo para la condición A entre las tres alternativas de contadores, de la Tabla 23 se resumen los resultados que se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24 Comparación de resultados para la condición A del ejemplo de explicación del método gráfico del tiempo óptimo de renovación

	Alternativa #1	Alternativa #2	Alternativa #3
VANC (€)	1061.84	1059.76	1075.41
frecuencia de renovación (años)	24	28	30

Desde el punto de vista económico, se elegiría la alternativa #3 debido a que tiene el mayor VANC de los ingresos. Sin embargo no se recomienda desde el punto de vista de la gestión que se encuentren contadores instalados tantos años puesto que un apreciable número de contadores se encontrarían parados e hipótesis consideradas en este caso como la degradación lineal del error dejaría de ser válida.

En ocasiones, la empresa puede tener como objetivo limitar a que el error global conjunto se encuentre dentro de un intervalo de valores de manera que se puedan recuperar los costos asociados al suministro (Arregui et al. 2006b).

Graficando los valores de V como se indicó anteriormente en el eje horizontal versus el período de vida útil de la Tabla 23, obtenido con la maximización de los ingresos (en este caso) se obtiene la Figura 39.

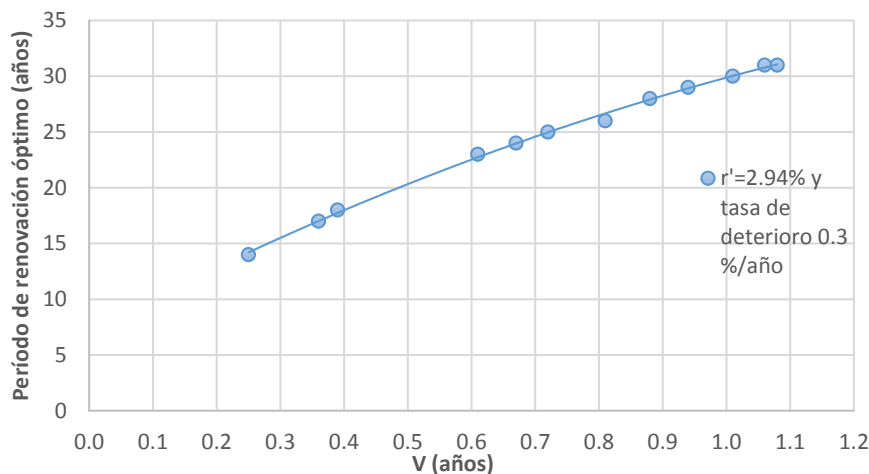


Figura 39 Estimación del período de renovación óptimo de un contador en función de V. Construcción del método gráfico.

Se pueden obtener este tipo de gráficas para diferentes condiciones iniciales, tasas de degradación del error de medición, tasas de actualización real, consumo de los usuarios, precios de agua etc. obteniendo con esto, distintos valores de la variable V y períodos de renovación de los contadores.

Estas gráficas propuestas por Arregui, permiten determinar de manera simple pero precisa, el período de tiempo óptimo de reemplazo de los contadores. La Figura 40 se puede encontrar en la publicación *Graphical Method to Calculate the Optimum Replacement Period for Water Meters* (Arregui et al. 2011)

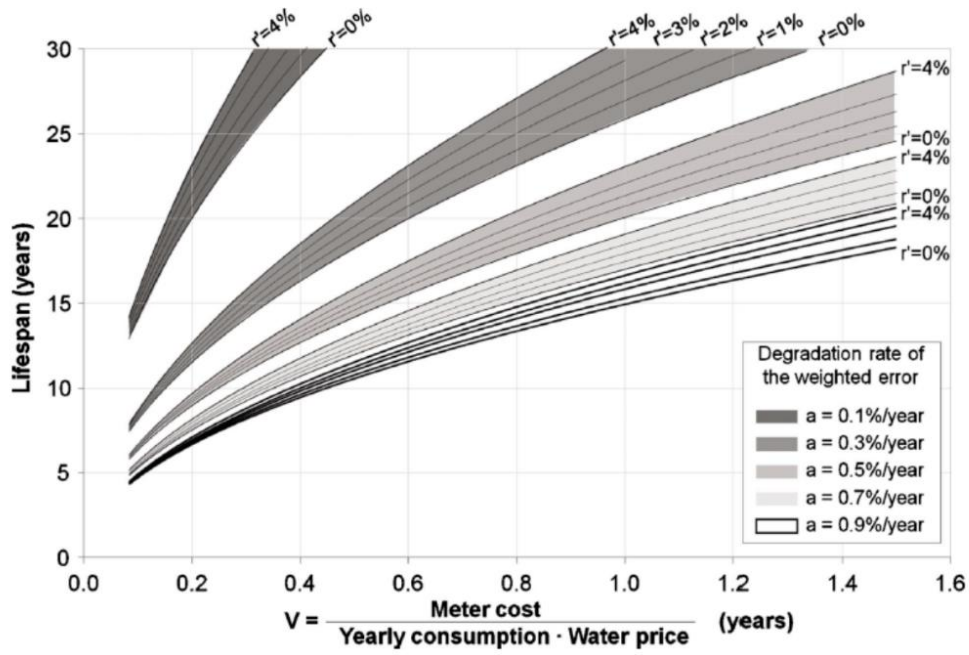


Figura 40 Tiempo óptimo de renovación. Método gráfico (Arregui, 2006)

Capítulo IV

ANALISIS Y RESULTADOS

4.1. Introducción

Al ser el agua un recurso tan importante y escaso, factores medioambientales y económicos obligan a las empresas a realizar un control sobre el volumen que inyecta a la red, lo cual significa llevar la contabilidad de la cantidad que ingresa a la red.

Para tener una idea de la parte correspondiente al error de medición de los contadores que se va a calcular, se muestra en la Figura 41 el balance propuesto por la IWA (IWA. 2006).

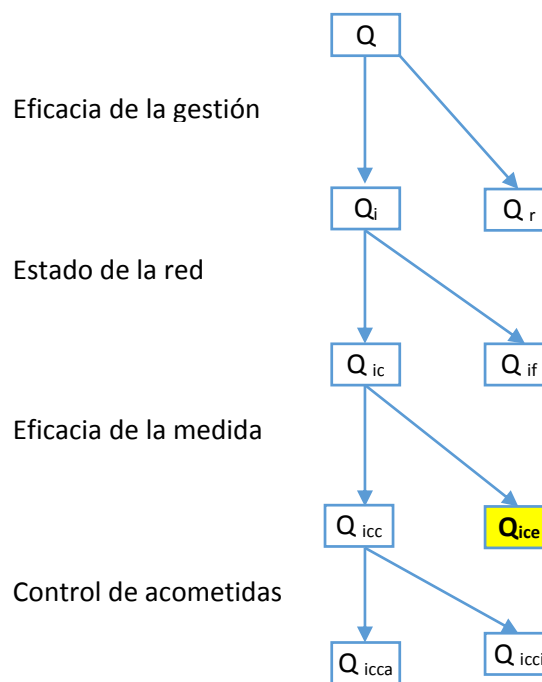


Figura 41 Balance de agua propuesto por la IWA

En donde (Cabrera & Cabrera 2009):

Q : caudal inyectado que ingresa a la red.

Q_r : caudal registrado, es el que es medido por los contadores de los abonados.

Q_i : caudal incontrolado, es la parte que ingresa al sistema y cuyo destino final se ignora, se obtiene de la resta de los caudales precedentes.

Q_{ic} : caudal aun cuando incontrolado, consumido por los abonados del sistema.

Q_{if} : caudal incontrolado y perdido en fugas del sistema. (Pérdidas físicas)

Q_{icc} : caudal incontrolado, consumido y no medido por carencia de contador.

Q_{ice} : caudal incontrolado, consumido y no registrado debido a un error de medida del contador.

Q_{icca} : caudal incontrolado, consumido pero no medido debido a la carencia de contador en una acometida autorizada.

Q_{icci} : caudal incontrolado, consumido y no medido debido a la carencia de contador a través de una acometida ilegal.

Un parque de contadores en buen estado, presenta un error de medida conjunto menor o igual al 5% (Cabrera & Cabrera 2009). Como se había comentado, generalmente existe un subcontaje de los contadores favoreciendo al consumidor en detrimento de los intereses de la empresa, aunque en ocasiones ocurre lo contrario, contabilizando más volumen de lo que el usuario consume quien en este caso sería el que paga más.

De la diversidad de modelos existentes de contadores en el mercado, a la empresa suministradora le interesa seleccionar para su abastecimiento los que maximicen su beneficio económico. Para esto, es deseable conocer el comportamiento de los contadores para las condiciones particulares a las que estarán sometidos en su tiempo de vida útil. De una buena elección inicial, depende del éxito en los objetivos que la empresa se plantee para mantener el parque de contadores en buen estado.

Características deseables a saber y que no se pueden determinar en el año cero (el de la compra del medidor) como la tasa de degradación del error, sólo se pueden conocer luego de retirar del parque de contadores real una muestra representativa con el fin de realizar un análisis de la degradación del error de medición y determinar así si el modelo elegido es satisfactorio para los objetivos de optimización de la empresa o en caso contrario se busquen otras tecnologías o modelos.

Es por esto, que no es recomendable elegir un solo fabricante y modelo de contador para la totalidad de los usuarios, puesto que se corre el riesgo de que no se ajuste a los requerimientos de un abastecimiento con particularidades que pueden ser por ejemplo: la calidad del agua, características de las instalaciones en los edificios, posición de instalación del contador (vertical u horizontal), etc.

Encontrar un contador que tenga cualidades óptimas en cuanto a la exactitud, que es el máximo error del instrumento dentro del rango de medición, así como la capacidad del instrumento para reproducir una lectura en las mismas condiciones (repetitividad)

y su capacidad de mantener estas cualidades a medida que envejecen es fundamental. A más de ser deseable esto, la variable costo y la durabilidad es determinante, es por eso que el estudio de su desempeño en función de variables como el volumen acumulado o la edad de los contadores es importante.

En el presente trabajo, se ha estudiado una muestra de 406 contadores del mismo modelo y fabricante, de chorro único cuyo diámetro es de 13 mm y caudal nominal de 1.5 m³/h, retirados aleatoriamente de un abastecimiento real. Esta muestra proviene de usuarios domésticos por lo que se hace un análisis estadístico.

Cabe mencionar aquí, que a mayor muestra de estudio, más confiables son los resultados, sin embargo condicionantes de tipo económico son las que generalmente restringen este aspecto debido al costo que significan la toma de la muestra y el ensayo de los mismos. Asimismo, se debe tener presente que los resultados obtenidos se extrapolan a la subpoblación de la cual proviene la muestra, por lo que es de importancia realizar un buen muestreo.

Se han realizado los ensayos en el laboratorio del Instituto Tecnológico del Agua, en la Universidad Politécnica de Valencia, España, donde se determinó la curva de error para toda la muestra de contadores, los cuales sirvieron de base para el estudio cuyos resultados se van explicando en las siguientes secciones.

Se hace un estudio económico como lo propone Arregui (Arregui et al. 2006b) en el cual se considerarán las variables como el costo de agua y la tasa de degradación del error del modelo de contador analizado. Además de esto se estudia el período de renovación óptimo.

Las principales herramientas informáticas utilizadas son el programa Woltmann para la determinación del error ponderado, el programa Statgraphics para los análisis estadísticos y ajustes de los modelos matemáticos.

4.2. Análisis de la muestra tomada del parque de contadores

Es importante que la muestra sea homogénea y que variables como la localización, tipo de consumidor, características de la instalación queden representadas por esta muestra. La estratificación de volumen se puede hacer en rangos entre 300 y 500 m³, lo que equivaldría a 2 o 3 años de consumo, dependiendo del tipo de usuario (Arregui et al. 2006b).

Intentando esto, la empresa ha seleccionado una muestra de 406 contadores de su parque de contadores en los que la edad y el volumen acumulado estén dentro de un rango significativo.

Es importante hacer una clasificación tanto por edad, como por volumen acumulado que tengan los instrumentos, puesto que como se puede pensar en principio, un contador de menor edad no siempre es indicativo de menos volumen acumulado ya que esto depende del tipo de consumidor. Así, este análisis se hace en intervalos de un año de edad y volumen acumulado de 100 y 250 m³.

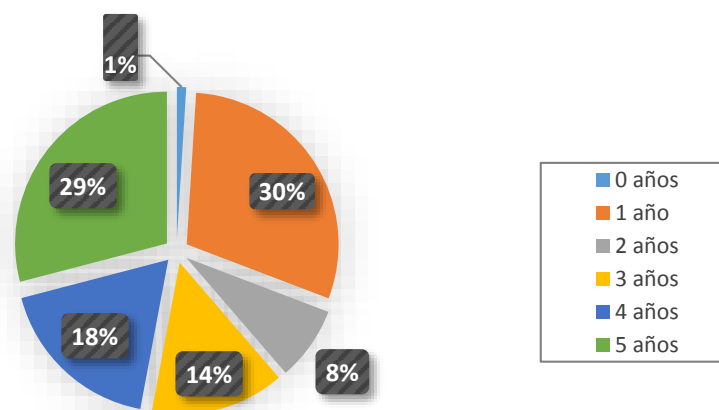


Figura 42 Distribución de la muestra por edad

Como se puede ver en la Figura 42 y la Figura 43, la edad varía desde 0 a 5 años, pero con solo 4 medidores no pueden establecerse conclusiones para cero años. La mayor cantidad de contadores son de 1 y 5 años de edad.

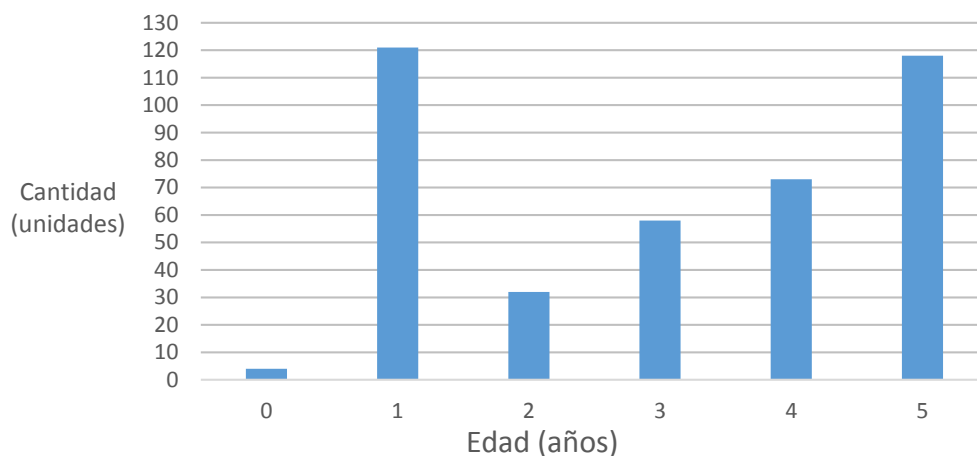


Figura 43 Número de contadores de la muestra por edad

Tabla 25 Clasificación de la muestra por edad

Número de contadores de cada edad	Edad (años)	Promedio del error ponderado (%)	Promedio de volumen acumulado (m ³)
4	0	-3.73	22.83
121	1	-3.50	157.74
32	2	-4.17	330.74
58	3	-6.38	1518.73
73	4	-5.74	1169.94
118	5	-5.71	1224.30

En cuanto a la estratificación por volumen acumulado, se hace en intervalos de 100 y 250 m³, para determinar que distribución se tiene.

Como se puede observar en la Figura 44 y Figura 45 la mayor parte de contadores tienen volúmenes acumulados por debajo de los 300 m³. Sólo un 6.4 % de contadores tienen volúmenes acumulados por encima de los 2500 m³.

Idealmente sería conveniente aumentar el tamaño de la muestra para obtener resultados más fiables por encima de este valor.

Como se puede observar en la Tabla 26, hay contadores de los que solo se dispone de una unidad para su ensayo y la diferencia de volumen con el inmediato inferior también es importante. Así en la misma tabla, se observa el último contador de volumen acumulado de 9172 m³ y 3 años de edad mientras que con el inmediato anterior tiene una diferencia de 2000 m³ aproximadamente. Además, viendo en la tabla la edad de éste, es de 3 años, mientras que el inmediato anterior de menor volumen tiene 4 años.

Sería interesante determinar también en los datos de abonados de la empresa si este es un usuario doméstico o no, puesto que en principio se trataría de un usuario no doméstico por el volumen acumulado, en cuyo caso no correspondería este análisis sino un estudio para sus condiciones particulares de consumo.

Más adelante se analizan las curvas de error de los ensayos realizados en laboratorio y se detectan anomalías en el comportamiento de los instrumentos que permiten distinguir contadores defectuosos.

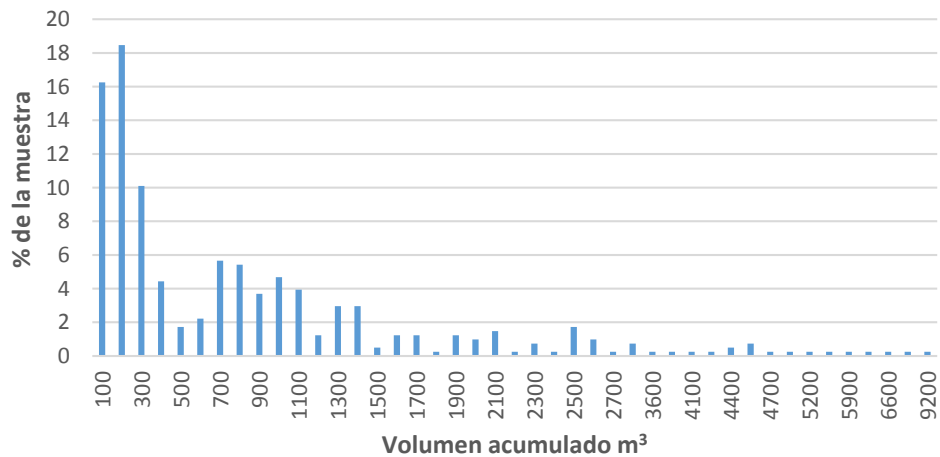


Figura 44 Estratificación de la muestra por volumen acumulado en intervalos de 100 m³

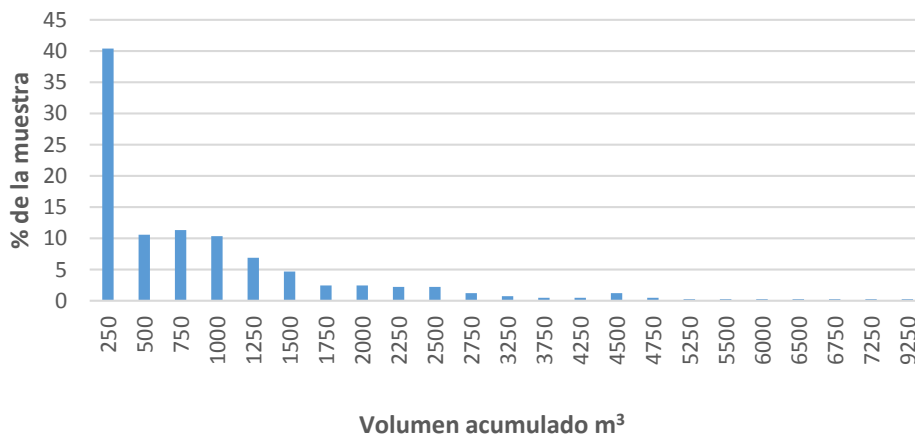


Figura 45 Estratificación de la muestra por volumen acumulado en intervalos de 250 m³

Tabla 26 Clasificación de la muestra de contadores por volumen acumulado en intervalos de 100 m³

Número de contadores	Volumen acumulado	% de la muestra	Promedio de volumen acumulado (m ³)	Promedio de error ponderado (%)	Promedio de Edad (años)
66	100	16.26	51.60	-3.31	1.61
75	200	18.47	150.61	-3.68	1.57
41	300	10.10	247.95	-4.13	2.10
18	400	4.43	348.40	-4.91	2.83
7	500	1.72	439.72	-4.58	3.57
9	600	2.22	570.06	-5.30	4.11
23	700	5.67	647.52	-4.71	4.48
22	800	5.42	739.93	-4.52	4.27
15	900	3.69	844.28	-5.62	4.40
19	1000	4.68	957.83	-4.14	4.58
16	1100	3.94	1031.90	-5.53	4.44
5	1200	1.23	1148.09	-5.72	4.00
12	1300	2.96	1234.00	-6.61	4.83
12	1400	2.96	1339.72	-5.06	4.67
2	1500	0.49	1456.40	-6.07	4.50
5	1600	1.23	1552.45	-6.90	4.60
5	1700	1.23	1640.76	-3.96	4.20
1	1800	0.25	1791.32	-5.22	5.00
5	1900	1.23	1851.92	-4.24	4.40
4	2000	0.99	1935.49	-6.60	3.25
6	2100	1.48	2048.88	-6.61	3.67
1	2200	0.25	2127.91	-9.13	4.00
3	2300	0.74	2241.62	-6.27	3.67
1	2400	0.25	2326.34	-6.33	3.00
7	2500	1.72	2444.14	-6.38	3.86
4	2600	0.99	2562.07	-6.73	4.25
1	2700	0.25	2638.24	-6.74	5.00
3	3200	0.74	3155.17	-5.94	5.00
1	3600	0.25	3583.20	-97.93	3.00
1	3700	0.25	3691.79	-6.42	5.00
1	4100	0.25	4078.81	-13.53	3.00
1	4200	0.25	4171.20	-6.96	4.00
2	4400	0.49	4338.33	-3.13	3.00
3	4500	0.74	4438.64	-24.03	3.67
1	4700	0.25	4650.82	-8.37	3.00
1	4800	0.25	4745.32	-6.38	3.00
1	5200	0.25	5152.09	-6.03	3.00
1	5500	0.25	5444.08	-9.65	4.00
1	5900	0.25	5853.01	-7.72	5.00
1	6400	0.25	6364.97	-8.70	5.00
1	6600	0.25	6562.11	-9.60	4.00
1	7200	0.25	7136.06	-17.19	4.00
1	9200	0.25	9172.64	-8.98	3.00

4.3. Análisis de las curvas de error de la muestra de contadores

Conforme se realizaron los ensayos de los contadores en el laboratorio a cada caudal, se calculaban sus respectivos errores simultáneamente, con el fin de minimizar los errores debidos a la mala lectura del totalizador.

El banco de contadores permite ensayar 5 contadores en línea, los que aleatoriamente se los instaló en el banco para la realización de cada prueba.

En la Figura 46 se puede ver los resultados obtenidos de un ensayo, en donde claramente se nota que una de las curvas de error, no se corresponde con la del resto de contadores, es decir tiene un comportamiento atípico.

Las curvas de error que presentaban diferencias significativas en comparación con el resto, se los clasificó como contadores defectuosos de modo que sus resultados no ejerzan pesos significativos en los promedios e influyan en los resultados.

En la Figura 47 se muestran algunas curvas de error atípicas por sobrecontaje de los contadores ensayados, que principalmente se debía al taponamiento casi total del filtro (ver Figura 48).

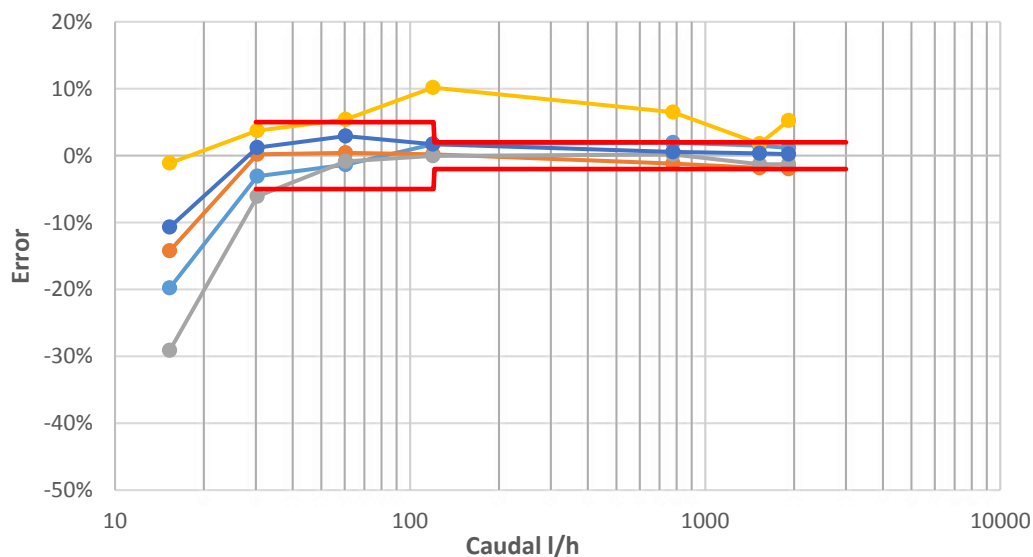


Figura 46 Curvas de error de un ensayo aleatorio

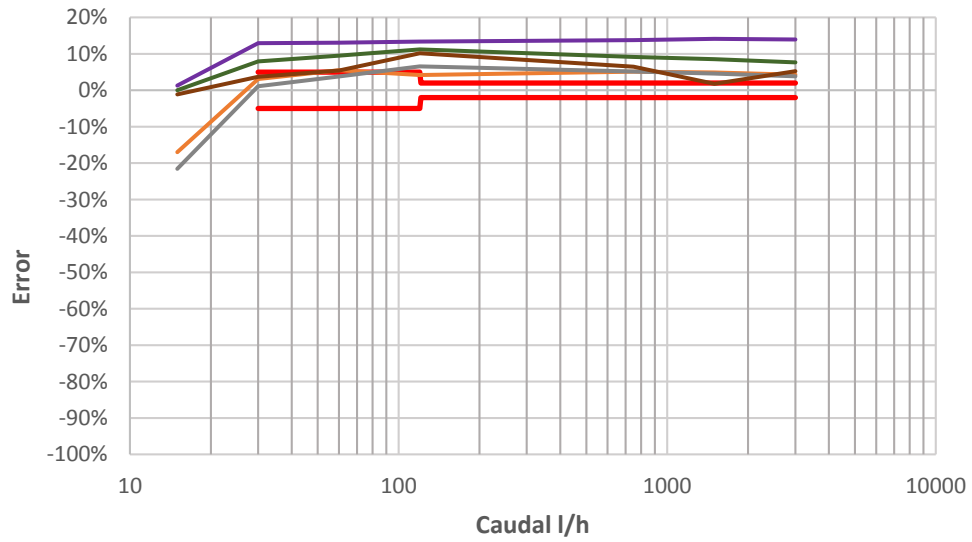


Figura 47 Curvas de error por sobrecontaje en contadores anómalos



Figura 48 Taponamiento en el filtro que daba lugar a sobrecontaje

En otros contadores, las curvas de error presentaban errores negativos muy por debajo del promedio de los demás contadores, por lo que se consideran como atípicos y se las separa también, de forma que no afecten en los resultados.

De los 406 contadores que fue el total de la muestra, 24 contadores se los clasificó como defectuosos por presentar las características descritas. En resumen, se eliminó del análisis contadores con sobrecontajes o subcontajes en todos los caudales ensayados, y también los que sólo mantienen errores aceptables en uno o dos caudales de ensayo, generalmente en los rangos altos de caudal.

En la Figura 49 se muestran las curvas de todos los contadores eliminados del estudio y considerados defectuosos. Se puede apreciar un contador que prácticamente registra caudales a partir de los 1500 l/h.

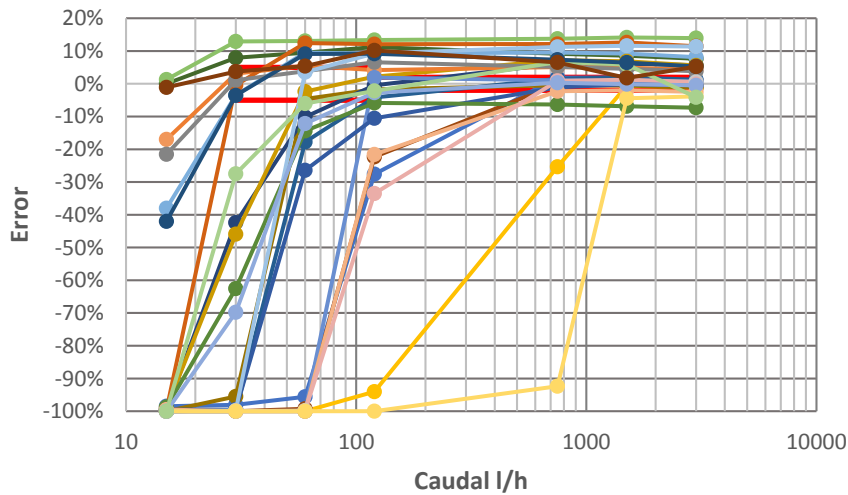


Figura 49 Curvas de error de contadores anómalos encontrados en la muestra

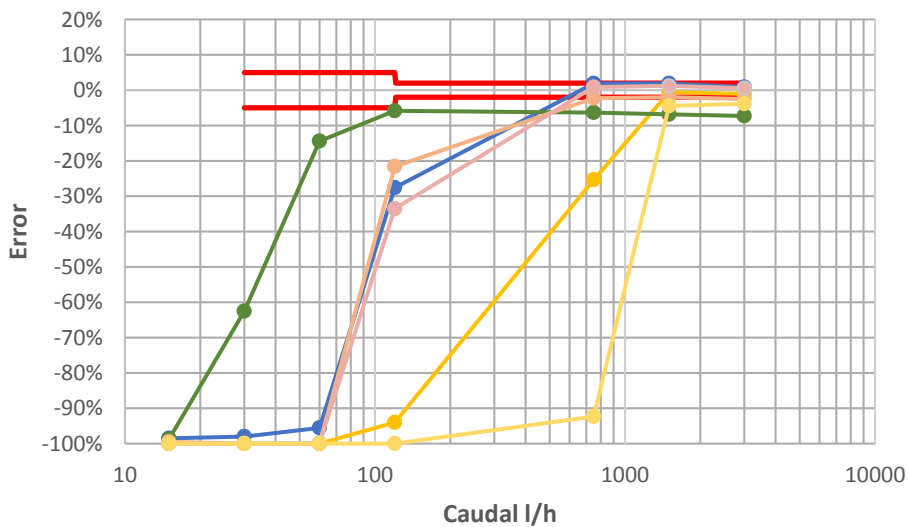


Figura 50 Curvas de error de contadores anómalos. Identificación para exclusión en el análisis.

En la se indican los resultados para cada uno de los caudales ensayados en los contadores defectuosos. La última columna es el error ponderado de cada contador, el cual se lo calculó con el programa Woltmann para el patrón de consumo de FACSA.

Tabla 27 Resultados en contadores defectuosos

Número de serie	Error de medición en % para cada caudal (l/h)							Volumen (m ³)	Edad (años)	Error ponderado (%)
	15	30	60	120	750	1500	3000			
5433407	-100	-100	-100	-94	-25.4	-0.6	-1.0	4470	5	-54.75
Q10EA0 16145D	-98.5	-98	-95.6	-27.6	1.9	1.9	0.9	880	4	-17.52
Q11EA0 00291S	-100	-99.8	-17.8	-4.2	1.5	2.0	1.2	9172.6	3	-8.98
Q10EA0 10895K	-100	-100	-99.3	-22.3	-0.1	-0.1	-0.5	7136.1	4	-17.19
Q11EA0 04737R	-100	-95.5	-4.6	-1.7	-0.5	-0.5	-1.3	4417.8	3	-9.10
Q11EA0 04903N	-99.5	-42.4	-10.1	-0.5	6.1	6.2	5.7	4323.3	3	-3.89
5405267	0.0	7.9	9.5	11.2	9.2	8.6	7.7	1020.8	5	5.30
5405382	-38.	-3.5	9.5	9.2	9.6	9.2	8.1	992.6	5	3.30
Q11EA0 04900K	-99	-45.9	-2.4	2.2	7.2	6.9	5.6	4353.3	3	-2.38
Q10EA0 16962C	-17	3.1	5.5	4.2	5.1	4.9	4.3	1619.5	4	-0.25
Q11EA0 000376	-100	-100	-100	1.9	1.1	0.8	0.7	277.4	3	-9.37
Q11EA0 04714K	1.3	12.9	13.1	13.4	13.8	14.1	13.9	751.8	3	9.04
5404939	-99.5	-0.4	12.5	12.1	12.1	12.7	11.5	1879.4	5	4.83
5405169	-21.5	1.1	3.8	6.6	5.2	4.6	3.8	811.7	5	0.25
5433429	-99.5	-99.5	-26.4	-10.6	-1.1	-0.2	-0.5	1556.7	5	-12.60
Q11EA0 07032D	-98.7	-62.5	-14.4	-5.9	-6.4	-6.9	-7.3	4078.8	3	-13.53
5405164	-100	-99.8	3.6	9.3	11.2	11.6	11.4	940.7	5	1.34
5405461	-99.5	-100	-100	-21.6	-2.3	-2.0	-2.5	1035.2	5	-18.28
5405336	-100	-100	-99.8	-33.5	0.9	1.2	0.6	1220.5	5	-19.90
Q11EA0 02280X	-100	-100	-100	-100	-92.3	-4.4	-3.8	3583.2	3	-97.93
5433459	-100	-69.8	-12.2	-2.7	0.3	-0.1	-0.5	6365	5	-8.70
5433348	-100	-27.5	-6.0	-2.2	6.6	5.9	-4.1	3140.9	5	-3.73
5404912	-42.	-3.5	9.1	9.2	7.4	6.5	5.3	1343.8	5	1.81
5404899	-1.1	3.7	5.4	10.2	6.5	1.8	5.2	926.7	5	2.88

4.4. Análisis de los contadores defectuosos

Con los criterios descritos anteriormente, se analizan los contadores defectuosos de la por edad y volumen con el objetivo de saber si sigue un comportamiento de manera que se ajuste a algún modelo matemático.

En total, 24 contadores fueron separados como defectuosos que son incluidos en este apartado y constituyen el 5.911 % del total de la muestra.

4.4.1. Análisis por edad de contadores defectuosos

No se encontraron contadores defectuosos para edades de entre 0, 1 y 2 años. La Figura 51 muestra la distribución de defectuosos en donde el 54% corresponden a la edad de 5 años.

Tabla 28 Contadores defectuosos por edad de la muestra

Cuenta de contadores defectuosos	Edad (años)	% del total de defectuosos según edad	Promedio de volumen acumulado	Promedio del error ponderado (%)
8	3	33.33%	3869.77	-17.02
3	4	12.50%	3211.86	-11.66
13	5	54.17%	1977.22	-7.56

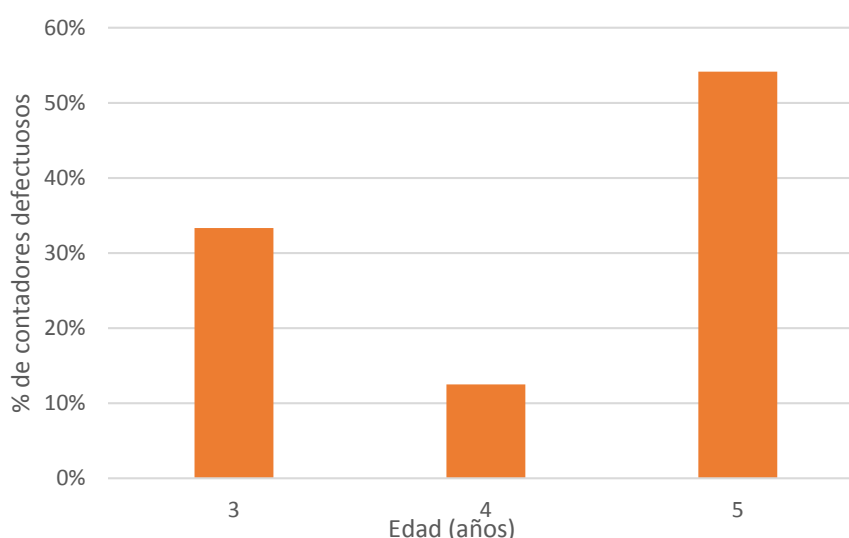


Figura 51 Distribución de contadores defectuosos, según edad

4.4.2. Análisis por volumen acumulado de contadores defectuosos

En la Tabla 29 se ha estratificado por intervalos de 250 m³ para determinar en cuál de estos se encuentran con más frecuencia contadores defectuosos.

En el intervalo de volumen desde 750 a 1750 m³ se encuentra el 50 % de contadores anómalos con una edad promedio de los instrumentos en este rango de 4.75 años.

Tabla 29 Contadores defectuosos. Estratificación por volumen acumulado

Intervalos de volumen m ³	Cuenta de defectuosos en el intervalo	Promedio de volumen acumulado en el rango m ³	Edad promedio (años)	% defectuosos en el rango de volumen acumulado
250-500	1	277.35	3	4.17
750-1000	6	883.90	4.5	25.00
1000-1250	3	1092.17	5	12.50
1250-1500	1	1343.80	5	4.17
1500-1750	2	1588.08	4.5	8.33
1750-2000	1	1879.41	5	4.17
3000-3250	1	3140.86	5	4.17
3500-3750	1	3583.20	3	4.17
4000-4250	1	4078.81	3	4.17
4250-4500	4	4391.09	3.5	16.67
6250-6500	1	6364.97	5	4.17
7000-7250	1	7136.06	4	4.17
9000-9250	1	9172.64	3	4.17

En la Figura 52 se pueden observar los resultados de la tabla anterior.

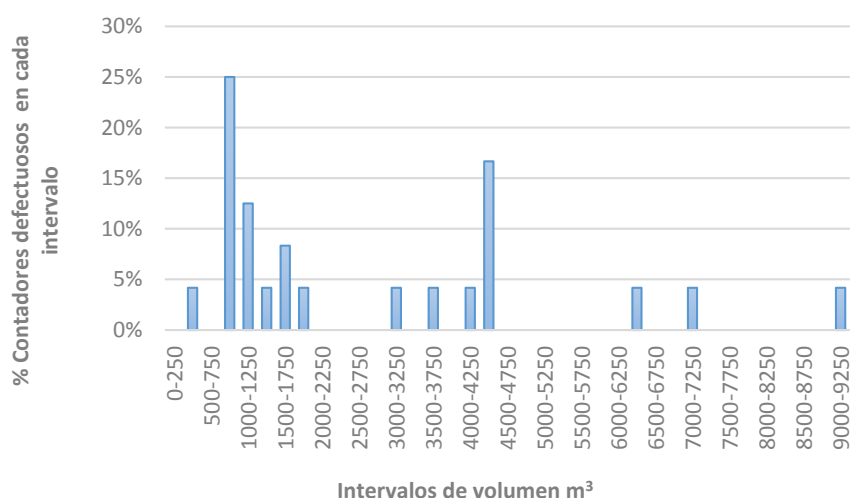


Figura 52 Porcentaje de contadores defectuosos según el volumen acumulado

4.5. Análisis del error ponderado de la muestra de contadores

Los errores ponderados para cada contador se calcularon con la herramienta informática Woltmann, en esta parte queremos determinar cual era el efecto de éstos 24 valores de no haber procedido con la criba de eliminación. Para realizar esto, se usa el software Statgraphics, para la identificación de valores aberrantes..

En la Figura 53 se observan los elementos para la interpretación. En el eje de las X está la posición del valor del error ponderado en la hoja de cálculo del programa, en el eje vertical izquierdo se encuentra el valor del error ponderado arrojado por el programa Woltmann mientras que en el eje vertical derecho se encuentra el número de desviaciones estandar que un valor en particular está por encima o por debajo de la media de la muestra.

Se mostrarán los resultados obtenidos con toda la muestra y después de la eliminación de los contadores anómalos de la .

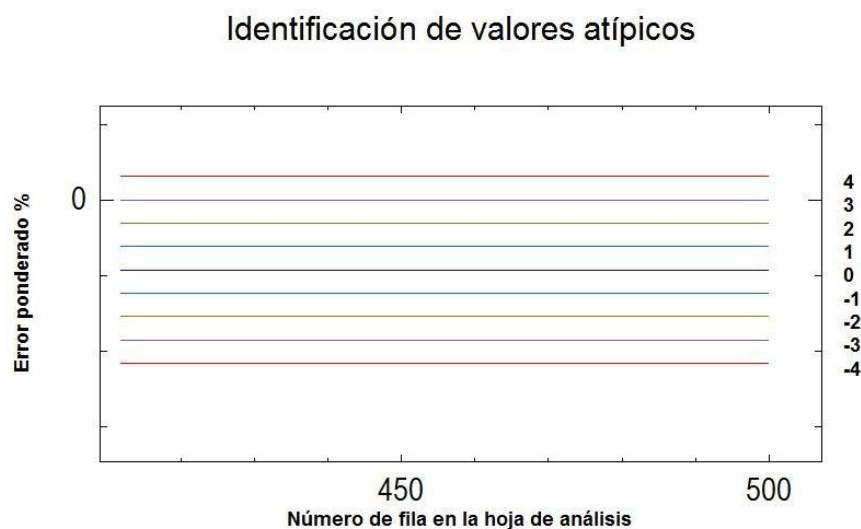


Figura 53 Identificación de valores atípicos en el programa Statgraphics

En la Figura 54 se muestran los resultados para los 406 contadores que comprenden la muestra, es decir antes de la identificación de posibles contadores defectuosos. Como se puede ver, existen valores que deben ser removidos del análisis por considerarlos aberrantes y estudiarse a qué se debe la anomalía.

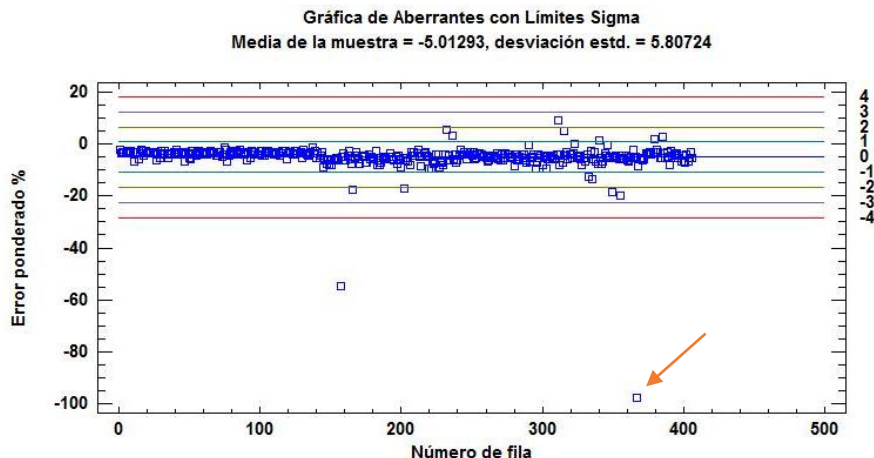


Figura 54 Valores aberrantes del error ponderado. La flecha indica el caso de análisis particular considerado

A manera de ejemplo considérese el punto señalado con una flecha en la Figura 54. Se trata de un contador con un error de medición, ponderado con la curva de consumos de FACSA de -97.93, obtenido de la , la curva de error de medición para este contador se muestra en la Figura 55.

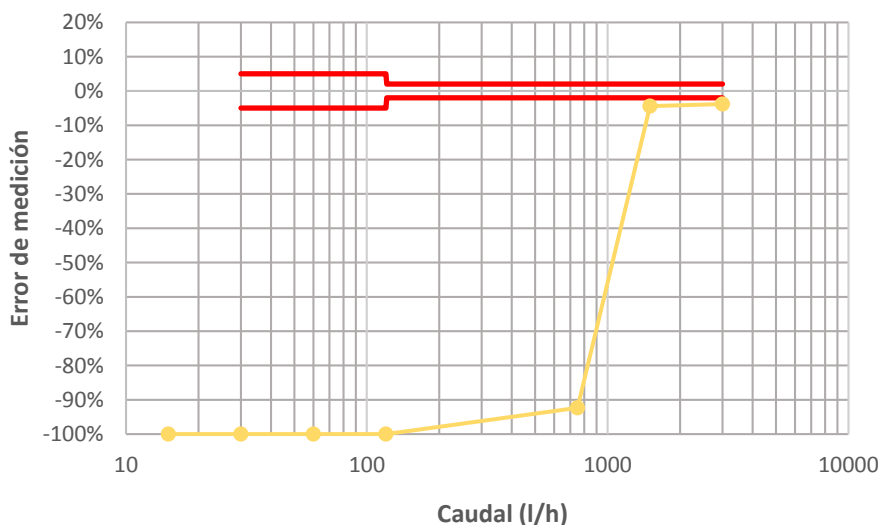


Figura 55 Curva de error de medición anómala, para explicación de eliminación de aberrantes

Claramente se puede ver que se trata de un contador defectuoso, puesto que se encuentra parado para prácticamente todos los caudales de ensayo.

Es importante recordar que en la identificación de valores atípicos que aquí se explica, los errores ponderados en la Figura 54 son los obtenidos luego de combinar la curva de error del contador con el patrón de consumo de estudio. Es decir, para otros patrones de consumo el error ponderado puede ser significativamente distinto.

En resumen no se debe confundir la curva de error con el error ponderado, puesto que este último se determina en función de los consumos del usuario.

De esta manera, se eliminaron los valores correspondientes al error ponderado de los 24 contadores del grupo de defectuosos. Las marcas rojas con un símbolo “x” de la Figura 56 indican los contadores eliminados. Los puntos azules corresponden a los contadores no defectuosos.

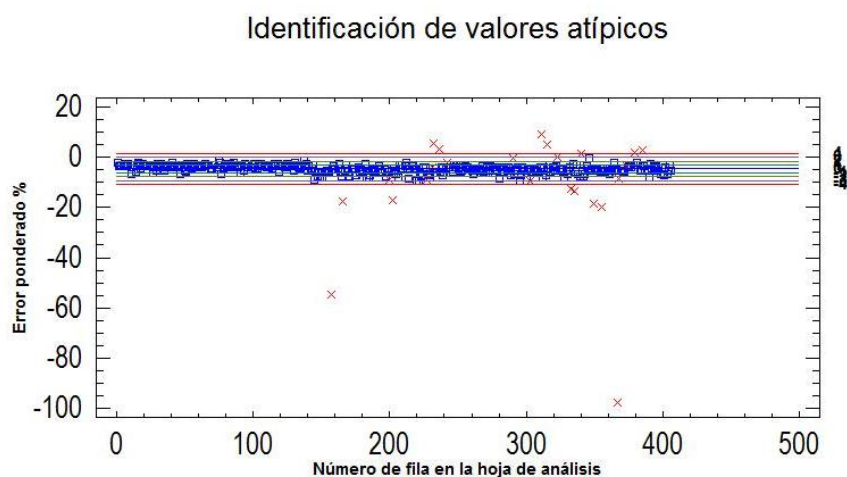


Figura 56 Eliminación de valores atípicos

Los resultados correspondientes a los contadores eliminados que arroja el programa se muestran en el siguiente resumen.

Tabla 30 Resumen estadístico de los contadores defectuosos

	Defectuosos
Recuento	24
Promedio de error ponderado	-11.2229
Desviación estándar	22.6107
Coef. de variación	-201.469%
Mínimo	-97.93
Máximo	9.04
Rango	106.97
Sesgo estandarizado	-5.78065
Curtosis estandarizada	9.65984

4.6. Análisis de los contadores no defectuosos

De los resultados obtenidos de las pruebas en laboratorio a diferentes caudales, se obtienen valores estimativos del verdadero error, que con una determinada probabilidad se encuentra dentro de unos límites de confianza (Arregui et al. 2006b).

En la Tabla 31 se muestran los valores estadísticos a cada caudal. Los intervalos de confianza fueron construidos con un factor de fiabilidad correspondiente a un 95% de nivel confianza.

Tabla 31 Estadísticos para determinación de la curva de error promedio de la muestra de contadores

Caudal de ensayo l/h	Promedio de error %	Desviación Estándar	Varianza	Mínimo %	Máximo %
15	-28.82	29.85	890.97	-100.00	1.87
30	-3.30	9.47	89.62	-77.11	5.99
60	0.29	2.34	5.48	-12.83	5.50
120	0.63	1.35	1.82	-3.84	5.29
750	0.31	1.12	1.26	-3.29	3.74
1500	0.12	1.17	1.36	-3.34	3.49
3000	-0.46	1.21	1.47	-4.83	2.67

En la Figura 57 se muestran estos resultados junto a los límites de confianza. Como se puede observar, se mantiene dentro de los límites de tolerancia que dan las normas a pesar de que el rango de edad es de 5 años, indicativo de una buena calidad en general de los dispositivos.

Además, para una misma muestra (382 contadores no defectuosos), se puede notar la mayor incertidumbre que se tiene a caudales bajos que a caudales medios y altos donde los mismos se mantienen en intervalos de más pequeños. Un mayor tamaño de muestra estrecharía los resultados pero a un costo de estudio mayor.

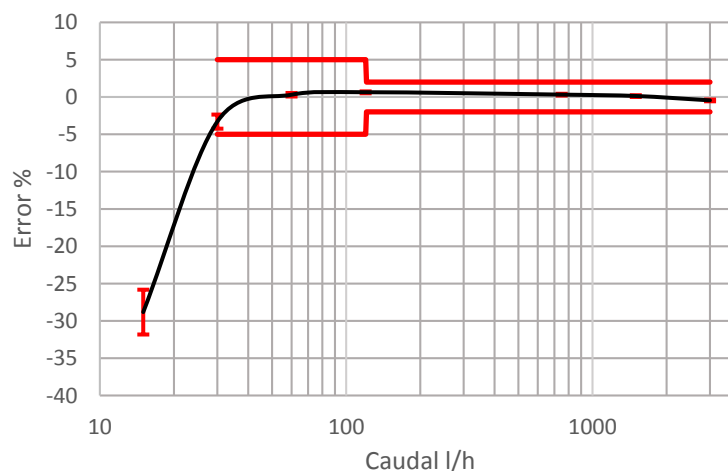


Figura 57 Curva de error promedio con sus límites de confianza de la muestra de contadores

Se observa un decaimiento en la curva de error al caudal de 3000 l/h que puede deberse a un posible desacoplamiento de la turbina a caudales altos.

La degradación conforme a la edad se muestra en la Tabla 32 y Figura 58. Podemos notar un decaimiento gradual en las curvas de edades 1, 2, 3 y 4 años, sin embargo la curva correspondiente a los contadores de 5 años de edad parece comportarse más favorablemente. La razón de esto puede explicarse en un mejor control de calidad en la fabricación del instrumento, o la mejor calidad de los materiales usados en su construcción.

Tabla 32 Promedios para determinación de la curva de error en función de la edad

Caudal l/h	Edad (años)					
	0	1	2	3	4	5
15	-19.70	-11.89	-38.01	-36.91	-45.74	-30.75
30	-1.84	1.06	-2.98	-7.48	-8.01	-3.35
60	1.12	1.52	0.79	-0.82	-0.82	-0.04
120	1.01	1.33	1.11	0.61	-0.05	0.11
750	1.21	0.90	0.99	0.74	0.05	-0.67
1500	1.00	0.81	0.78	0.64	-0.11	-0.99
3000	0.45	0.17	0.18	0.22	-0.70	-1.59
unidades ensayadas	4	121	32	50	70	105

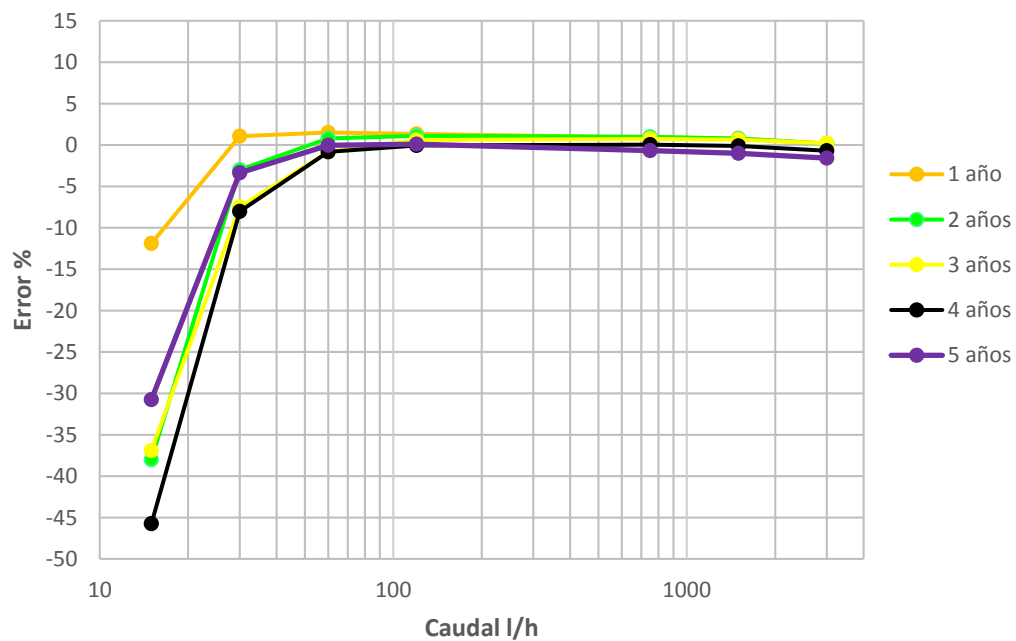


Figura 58 Curva de error en función de la edad

Representando las curvas de error con el volumen acumulado en los contadores se puede apreciar de mejor manera la degradación de las mismas conforme al uso (Tabla 33). Estos resultados se aprecian intuitivamente más, al observar la Figura 59.

Tabla 33 Degradación del error ponderado con el volumen acumulado

Caudal de ensayo (l/h)	Intervalo de volumen acumulado m ³						
	0-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	2000-2500	2500-5000	5000-7000
	Error (%)						
15	-18.91	-29.71	-33.91	-48.17	-73.68	-67.62	-65.59
30	-0.028	-3.52	-3.79	-13.34	-16.68	-15.81	-21.70
60	0.83	-0.02	-0.08	-1.75	-2.46	-3.60	-4.06
120	1.08	0.31	0.03	-0.15	-0.85	-1.37	-2.65
750	0.74	-0.15	-0.59	-0.09	-0.16	-0.68	-2.01
1500	0.56	-0.39	-0.86	-0.31	-0.17	-0.81	-2.05
3000	-0.07	-1.01	-1.43	-0.62	-0.56	-1.29	-1.88
Unidades ensayadas	206	82	43	17	18	12	4

Aunque no se representa en la Figura 59 los caudales de arranque (el programa Woltmann lo determina en función del error a un caudal bajo), claramente se puede ver la influencia que la mayor fricción en las partes móviles del contador ejerce especialmente a caudales bajos. Debido a que la transferencia de energía del agua a la turbina del contador es pequeña, este incremento ralentiza o es capaz de parar por completo el registro del instrumento (Arregui et al. 2005).

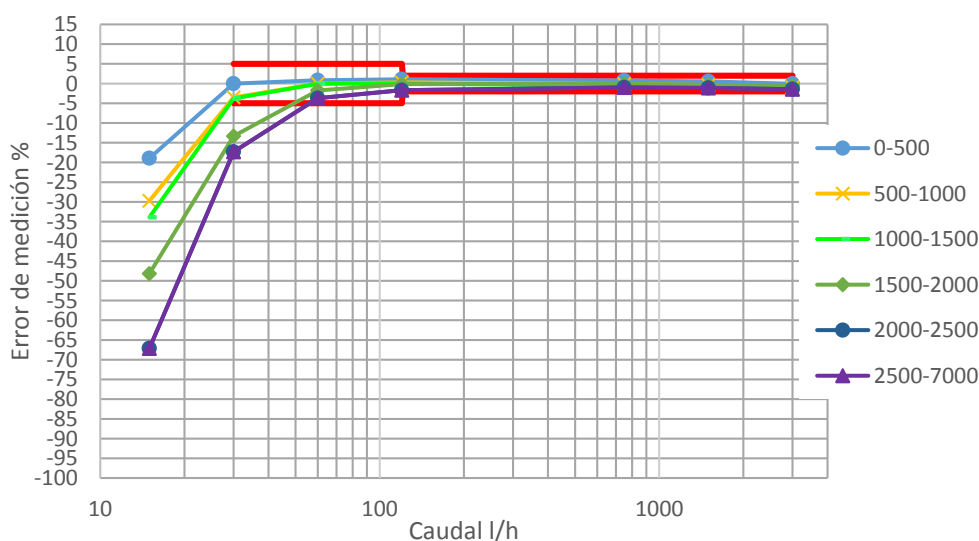


Figura 59 Curva de error en función del volumen acumulado

Representando la degradación del error de medición a cada caudal en función de la edad y volumen acumulado en la Figura 60 y Figura 61, se aprecia la mayor dificultad en el registro de caudales bajos, mientras que en los rangos medios y altos de caudal prácticamente se mantienen constantes.

También se puede observar una mejor medición al caudal de 15 l/h y 30 l/h del contador de edad 5 años afirmando la hipótesis de que pese a que la muestra es de estudio es de un mismo modelo, la versión más antigua pudo haber tenido un mejor control de calidad o mejores materiales en su construcción.

En las figuras se muestran la versión del año 2009 y la versión del año 2010 al 2014.

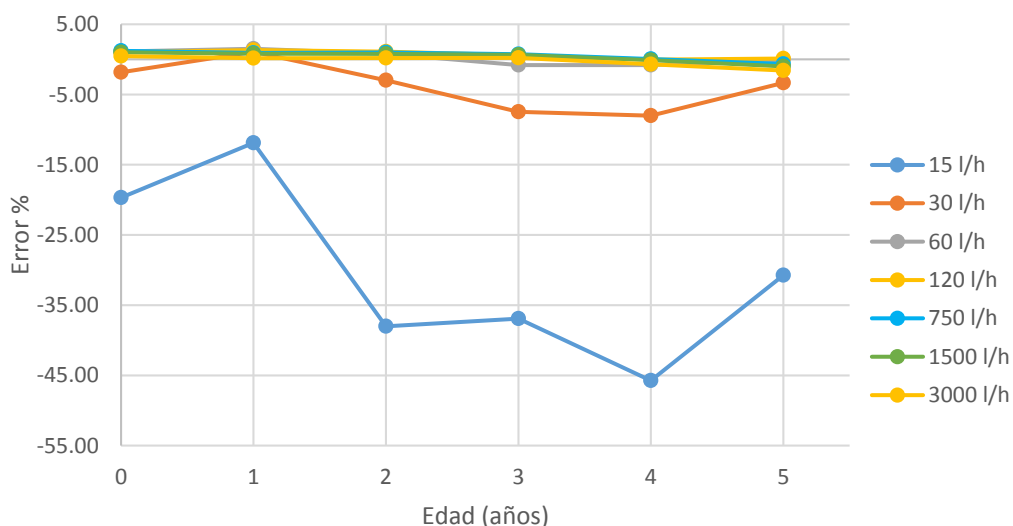


Figura 60 Degradación del error de medición a cada caudal de ensayo con la edad

En la Figura 61 se puede ver más claramente que la degradación del error de medición está más vinculada al mayor uso del contador. De la misma manera, a caudales bajos se degrada más rápidamente, mientras que a caudales medios y altos el error no es tan variable pudiendo decirse que se mantiene constante en estos rangos.

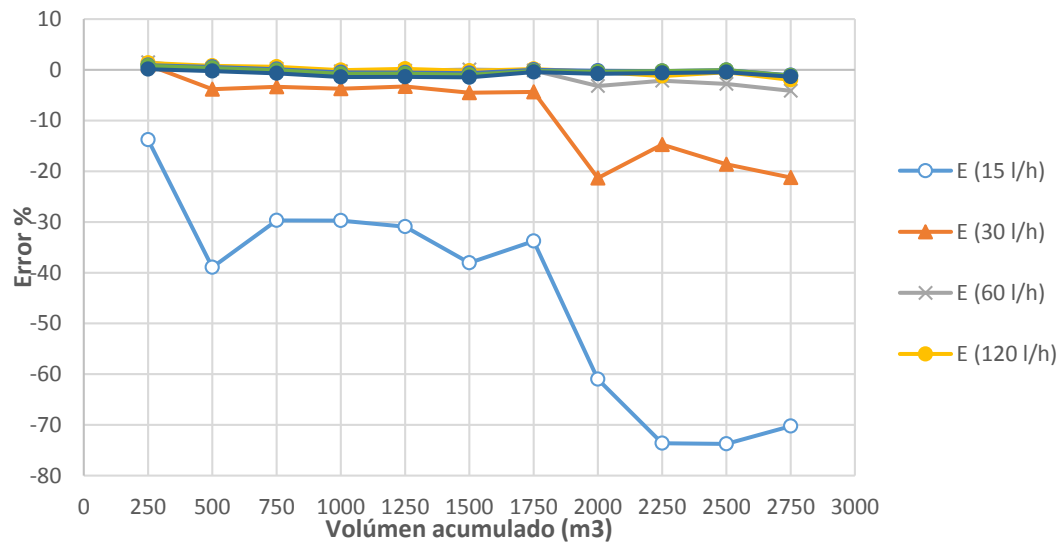


Figura 61 Evolución del error a diferentes caudales con el volumen acumulado

4.7. Error global del parque de contadores

Para calcular el error global de un abastecimiento, el método más preciso consiste en calcular el coeficiente de ponderación o peso para cada grupo de contadores basado en el porcentaje del volumen real consumido de cada grupo con relación al volumen total real consumido (Arregui et al. 2006b). Esto se explicó en apartados anteriores.

Sin embargo, en el presente caso, si la muestra es aleatoria y se considera representativa de la población de la que proviene, se asume que los porcentajes de contadores válidos como de los defectuosos del parque de contadores son los que se obtienen de la muestra y que el error de medición de la población es el que estima como los promedios de error de ambos grupos de contadores: válidos y defectuosos.

Así el error global del parque de contadores se puede estimar según:

$$\epsilon_{\text{global del parque}} = \epsilon_{\text{válidos}} * \%_{\text{válidos}} + \epsilon_{\text{defectuosos}} * \%_{\text{defectuosos}}$$

La Tabla 34 muestra el resumen estadístico de ambos grupos obtenidos con la herramienta informática Statgraphics.

Tabla 34 Estadísticos de los contadores defectuosos y no defectuosos

Resumen Estadístico	Válidos	Defectuosos
Recuento	382	24
Promedio de error ponderado	-4.62276	-11.2232
Desviación Estándar	1.54972	22.6115
Coefficiente de Variación	-33.5238%	-201.472%
Mínimo	-9.6472	-97.9305
Máximo	-0.5365	9.0392
Rango	9.1107	106.97
Sesgo Estandarizado	-5.37067	-5.78021
Curtosis Estandarizada	0.84447	9.65833

$$\epsilon_{global\ del\ parque} = -4.62276 * \frac{382}{406} - 11.2232 * \frac{24}{406} = -5.01 \%$$

4.8. Análisis del error ponderado

El parámetro error ponderado es una medida del comportamiento real de un contador de agua al registrar el consumo de un determinado tipo de usuario (Arregui et al. 2014). Para el presente estudio fue calculado con el software Woltmann desarrollado en el Instituto Tecnológico del Agua, en Valencia España.

Conocer la tasa de variación a la cual se degrada este error es fundamental para calcular el período óptimo de renovación de los contadores (Arregui et al. 2011), así como para valorar el nivel económico del error de medición de contadores domésticos el cual es un componente en la determinación del objetivo económico de pérdidas aparentes (Figura 62) (Rizzo & Cilia 2005, Arregui et al. 2014).

Con el objetivo de encontrar esta rapidez de variación del error ponderado se hace aquí un estudio en cuanto a la edad-error ponderado y volumen acumulado- error ponderado, de la muestra de 382 contadores es decir excluyendo los anómalos. Luego, se estudian estas dos variables en conjunto para ajustarla a un modelo matemático que tenga en cuenta las dos variables edad y volumen acumulado.

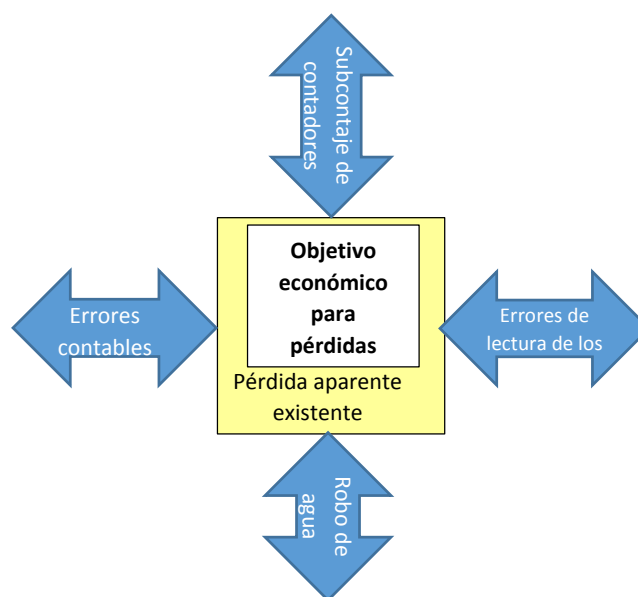


Figura 62 Componentes de las pérdidas aparentes

Estudios de este tipo, consideran una variación lineal del error ponderado con la edad o el volumen acumulado (Male et al. 1985, Allender H. 1996, Yee 1999a, Hill & Davis 2005, Arregui et al. 2006b, Mukheibir et al. 2012), sin embargo este tipo de relación puede no ser siempre cierta (Arregui et al. 2014).

4.8.1. Error ponderado con la edad

Analizando los datos obtenidos del error ponderado y agrupándolos en intervalos de un año de edad se tienen resultados que se muestran en la Tabla 35.

Para el ajuste, se utiliza el programa Statgraphics, y se compara de las diferentes posibilidades, el que mejor se ajuste.

Tabla 35 Error ponderado con la edad del contador

Edad (años)	Número de contadores ensayados	Promedio de error ponderado (%)	Promedio de volumen acumulado (m ³)
0	4	-3.73	22.83
1	121	-3.50	157.74
2	32	-4.17	330.74
3	50	-4.68	1142.57
4	70	-5.49	1082.43
5	105	-5.48	1131.08

La siguiente tabla muestra el resumen de los modelos ajustados por el programa.

Tabla 36 Comparación de Modelos Alternos

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Lineal	-0.9499	90.23%
Cuadrado de X	-0.9385	88.08%
Raíz Cuadrada de X	-0.8477	71.87%

Se observa que en este caso el mejor ajuste es lineal y la ecuación obtenida es:

$$\text{Error ponderado (\%)} = -3.42425 - 0.434008 * \text{Edad (años)}$$

Del análisis de los de los resultados arrojados por el programa, no se encontraron residuos atípicos ni puntos influyentes que deban ser removidos de los datos.

Se muestra el resumen estadístico para el mejor ajuste encontrado.

Regresión Simple - PromedioDeError(%) vs. Edad (años)

Variable dependiente: PromedioDeError(%)

Variable independiente: Edad (años)

Lineal: $Y = a + b * X$

Coefficientes

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P
Intercepto	-3.42425	0.2162	-15.8383	0.0001
Pendiente	-0.434008	0.0714086	-6.07781	0.0037

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	3.29635	1	3.29635	36.94	0.0037
Residuo	0.356943	4	0.0892358		
Total (Corr.)	3.65329	5			

Coefficiente de Correlación = **-0.949892**

R-cuadrada = **90.2296** por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 87.7869 por ciento

Error estándar del est. = 0.298724

Error absoluto medio = 0.211878

Estadístico Durbin-Watson = 2.34243 (P=0.4283)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.32271

La Figura 63 muestra la curva ajustada y sus límites de predicción para nuevas observaciones que describen que tan exacta sería la predicción de un nuevo valor.

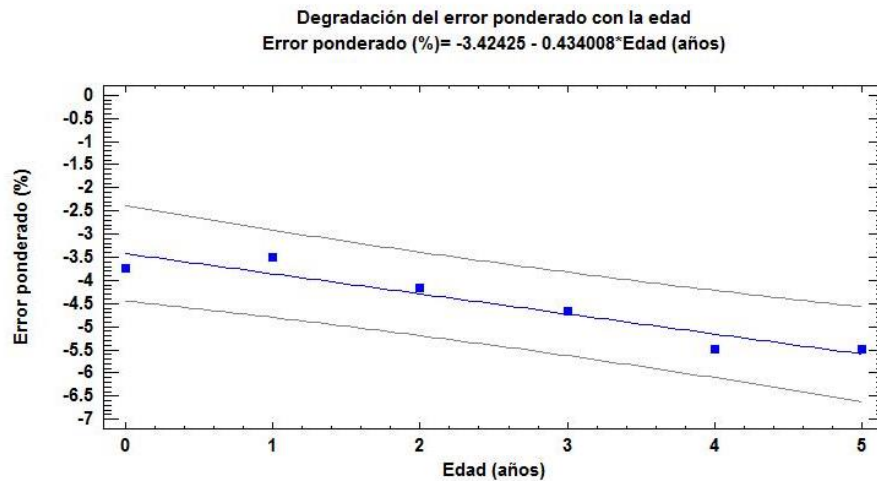


Figura 63 Degradación del error ponderado con la edad. Límites de predicción

En la se muestra el anterior ajuste con el promedio de volumen acumulado para cada edad.

Como se puede observar, debido a que el promedio para edad 0 es bajo, este valor se puede considerar como el error ponderado para este modelo contador y patrón de consumo en particular en condiciones nuevas, es decir un error ponderado de -3.4%.

En la Figura 65 se representan lo intervalos de confianza obtenidos con una fiabilidad del 95%.

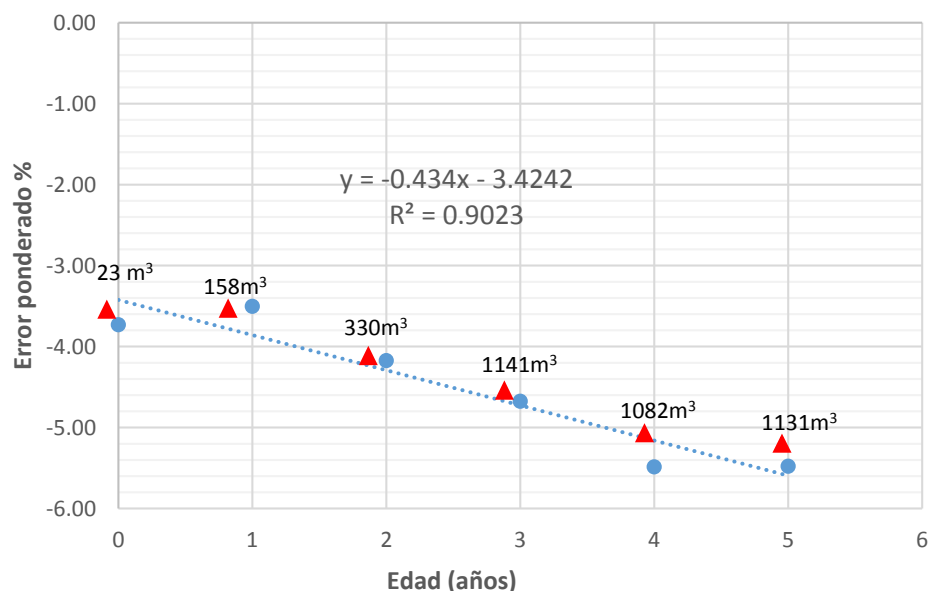


Figura 64 Degradación del error ponderado con la edad. Volumen acumulado promedio

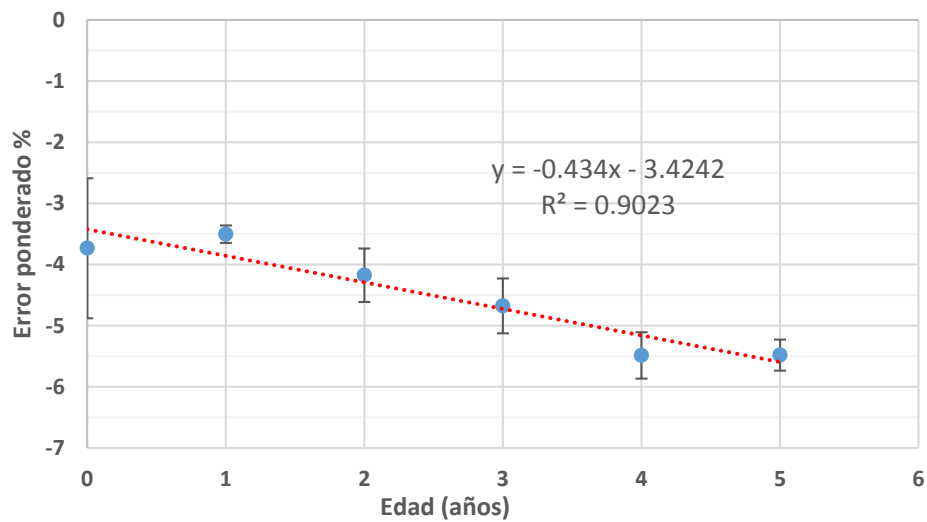


Figura 65 Degradación del error ponderado con la edad. Intervalos de confianza para cada edad.

4.8.2. Error ponderado con el volumen acumulado

Siguiendo con el estudio, se agrupan los contadores en intervalos de volumen acumulado como se muestra en la Tabla 37.

Tabla 37 Error ponderado con el volumen acumulado

Volumen acumulado (m ³)	Número de contadores ensayados	Promedio Error ponderado (%)	Promedio de volumen acumulado (m ³)
250	164	-3.54	121.31
500	42	-4.64	334.39
750	46	-4.83	654.83
1000	36	-5.43	881.65
1250	25	-5.40	1097.59
1500	18	-5.72	1332.69
1750	8	-5.18	1598.73
2000	9	-6.41	1879.28
2250	9	-6.71	2098.17
2500	9	-6.46	2410.86
3500	7	-6.82	2744.45
5500	7	-7.43	4611.93
7000	2	-8.66	6207.56

Observando la tabla, un 54% de muestra tienen volúmenes acumulados por debajo de los 500 m³, un 42 % entre los 750 y 2500 m³, mientras que por encima de este valor tan solo el 4%.

En la Figura 65 se puede ver en dispersión el volumen acumulado con el error ponderado. En algunos trabajos llevados a cabo, se encuentra una relación logarítmica (Valera 2014), lineal (Arregui et al. 2006b) o polinómica (Martinez Cobo 2014, Arregui et al. 2014) en el ajuste a modelos matemáticos. Esto indica que el comportamiento y la degradación del error de medida dependen tanto de las características de los contadores como de las condiciones particulares de cada abastecimiento y no se puede asumir directamente una degradación lineal del error.

No se debe olvidar que el error ponderado en este estudio se ha calculado para un solo patrón de consumo, para otros patrones, las variaciones pueden ser significativas aunque los contadores sean del mismo modelo y características.

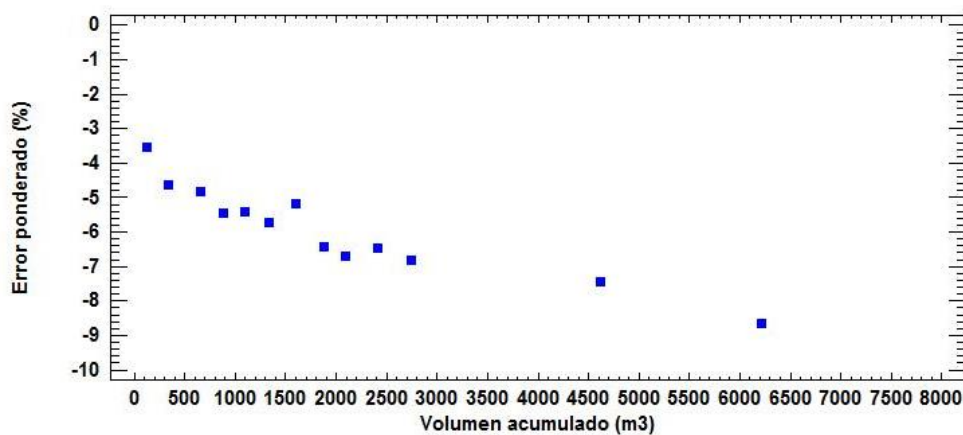


Figura 66 Dispersión del error ponderado con el volumen acumulado.

En la gráfica se muestran los intervalos de confianza para cada punto promedio con un nivel del 95%.

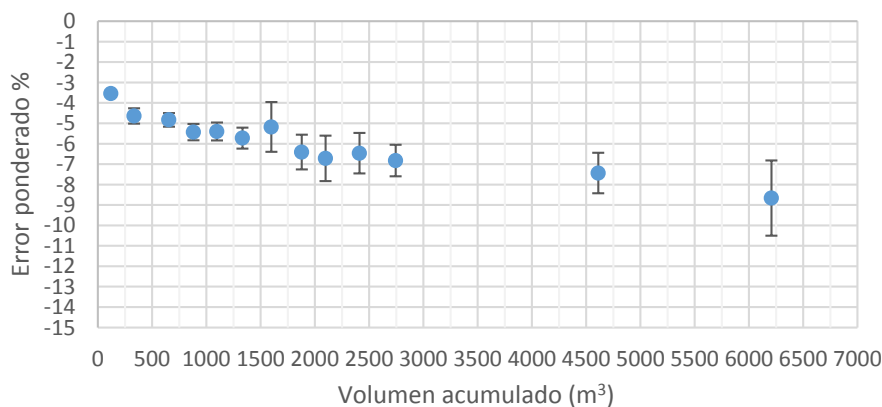


Figura 67 Degradación del error ponderado con el volumen acumulado. Intervalos de confianza

Ajustando los datos de promedio de error ponderado, con los de promedio de volumen acumulado de la Tabla 37, se encuentra que el mejor ajuste corresponde a un modelo de raíz cuadrada de x.

En los resultados del análisis, no se encontraron puntos influyentes significativos como para excluirlos en la determinación del modelo, todos los puntos caen dentro de los límites de predicción a un nivel del 95%. En la Figura 68 las líneas de predicción corresponden las bandas externas sobre la gráfica del modelo ajustado.

Comparación de Modelos Alternos

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Raíz Cuadrada de X	-0.9719	94.45%
Logaritmo de X	-0.9428	88.88%
Lineal	-0.9338	87.20%
Cuadrado de X	-0.8288	68.68%
Inversa de X	0.7201	51.86%

Degradación del error ponderado con el volumen acumulado
 Error ponderado(%)= -3.12166-0689467*sqrt(Vol acumulado (m3))

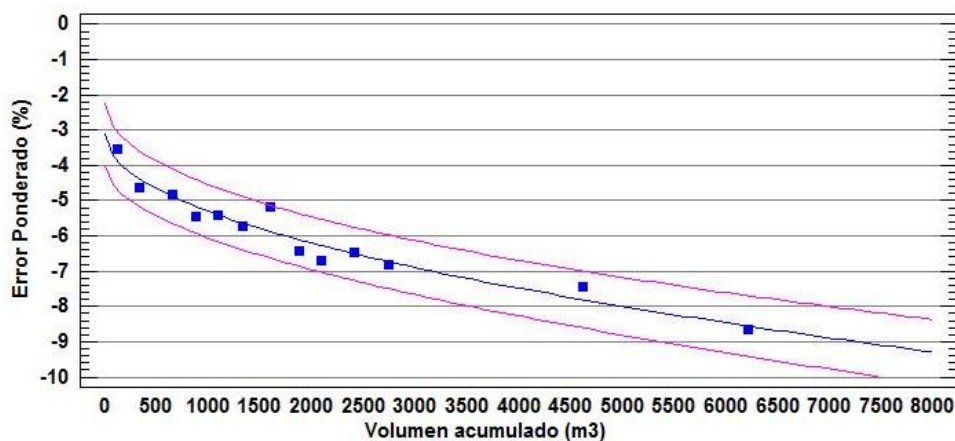


Figura 68 Modelo ajustado de degradación con el volumen acumulado. Intervalos de predicción

La ecuación de ajuste es:

$$\epsilon_{ponderado}(\%) = -3.122 - 0.0689 * \sqrt{Volumen\ acumulado\ (m^3)}$$

Para un contador nuevo, es decir volumen acumulado 0 m³, se esperaría un error de medición (según este ajuste) de -3.122 %, muy cercano al que se obtuvo cuando se analizó por edad, en donde se estimó un error inicial de -3.42 %.

Para explicar las líneas de predicción tomamos como referencia un volumen acumulado de 4000 m³. Los valores calculados con la ecuación de ajuste, así como sus límites de predicción se muestran en la Tabla 38.

Tabla 38 Intervalo de predicción para un volumen acumulado de 4000 m³

Nivel de confianza 95.00%			
Vol. acumulado	Predicciones Error ponderado	Límite Inferior	Predicción Superior
4000	-7.48	-8.27	-6.69

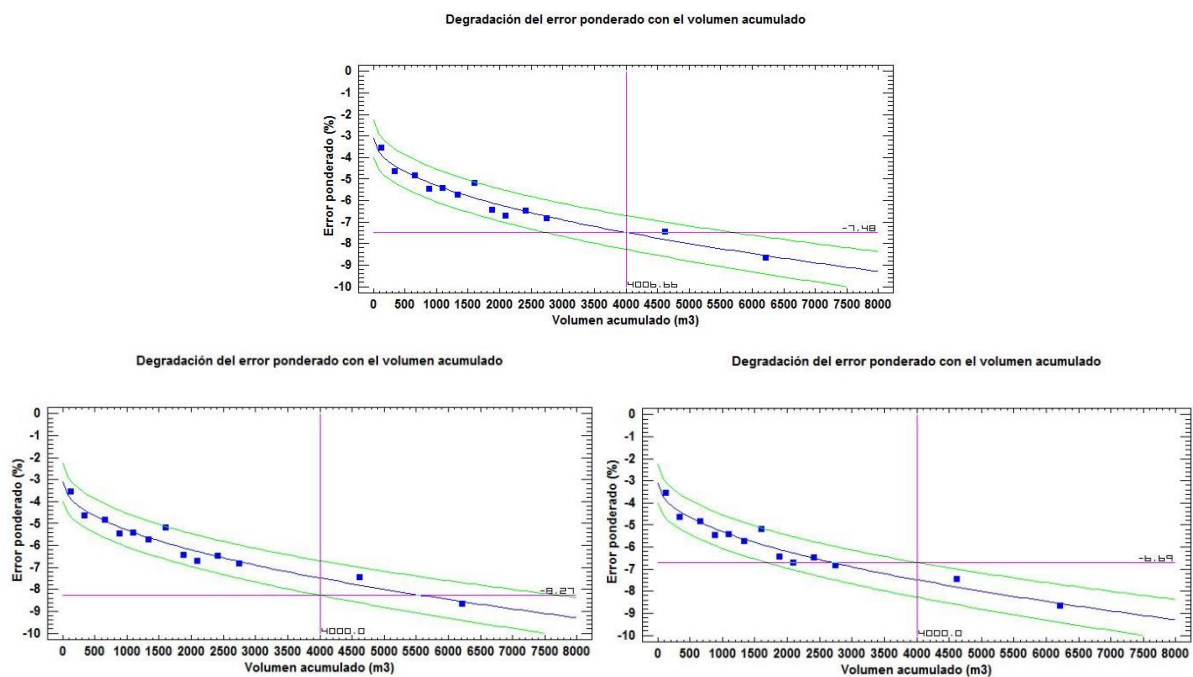


Figura 69 Intervalo de predicción para un volumen acumulado de 4000m³

En las gráficas se representan los valores de la tabla con un nivel del 95% un valor de error puede estar dentro del intervalo entre -8.67% y -6.69 % para un volumen acumulado de 4000 m³.

En la estimación del error ponderado llevado a cabo hasta este punto, se han considerado dos variables independientes como son la edad y el volumen acumulado. Hay que destacar que en muchas ocasiones los abastecimientos no llevan un control adecuado de las fechas de instalación de los medidores, por lo que no se cuenta con la información de edad o simplemente los datos no son fiables, disponiendo tan solo de datos aproximados en el mejor de los casos.

Contrariamente, el volumen acumulado de los contadores es un dato del cual las empresas periódicamente llevan lecturas para realizar los cobros y reflejan el tipo de consumidor de un abastecimiento, con lo cual, podría ser preferible utilizar esta variable en la determinación del error ponderado.

4.8.3. Error ponderado considerando el volumen acumulado y la edad

En la Figura 70 se muestra la representación del error conforme aumenta la edad y el volumen acumulado. Se puede observar una tendencia a aumentar el error al aumentar estas dos variables.

La dispersión del error es menor para contadores de edades de 1 y 2 años que para estas edades tienen volúmenes acumulados menores a 2500 m³ y 1250 m³ respectivamente, mientras para los de edades 3, 4 y 5 años se observa una mayor dispersión del error donde se tienen volúmenes acumulados de hasta 6750 m³.

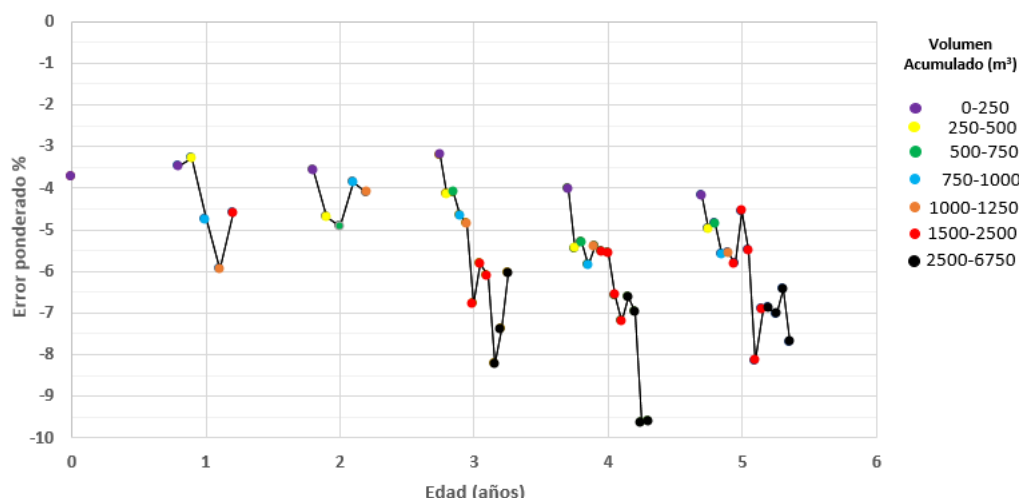


Figura 70 Degradación del error ponderado con la edad y el volumen acumulado

En cuanto al grupo de contadores de edad 5 años, el rango de error para este grupo es menor que el de los de edades de 3 y 4 años. En la gráfica se aprecia esto, donde se ve que para contadores de edad 3 años y diferentes volúmenes acumulados, el error ponderado varía desde -3% a -8%. Para contadores de 4 años de edad hay una variación de entre -4% y -10%, mientras que el grupo de contadores de 5 años de edad el error varía de -4% a -8%. En la gráfica se representa la edad con los promedios de cada rango (columna 3 de la Tabla 39) en donde también se muestran solo unos cuantos valores de la tabla como leyenda.

No olvidar que este grupo (5 años de edad) a pesar de ser de corresponder al mismo modelo de contador con similares características de caudal nominal, diámetro, etc es una versión distinta. Entre las variaciones entre modelos se distingue, de los catálogos del fabricante, los siguientes de carácter constructivo:

- Versión 2009
 - Cuerpo de latón estampado con el pivote de apoyo en la turbina en bronce.
- Versión 2010 hasta 2014
 - Componentes fabricados con materiales plásticos y acero inoxidable.
 - La turbina con un sistema de doble pivotaje sobre varios zafiros y construida de un material termoplástico.

En este grupo (edad 5 años) también se cuenta con volúmenes acumulados en un rango de 0 a 6750 m³ por lo que la menor amplitud en el rango de error puede corroborar la hipótesis de mejor calidad en general de esta versión, considerando también que un 29 % de la muestra corresponde a esta versión más antigua mientras que el grupo de edad de entre 3 y 4 años representan el 32% del total ensayado.

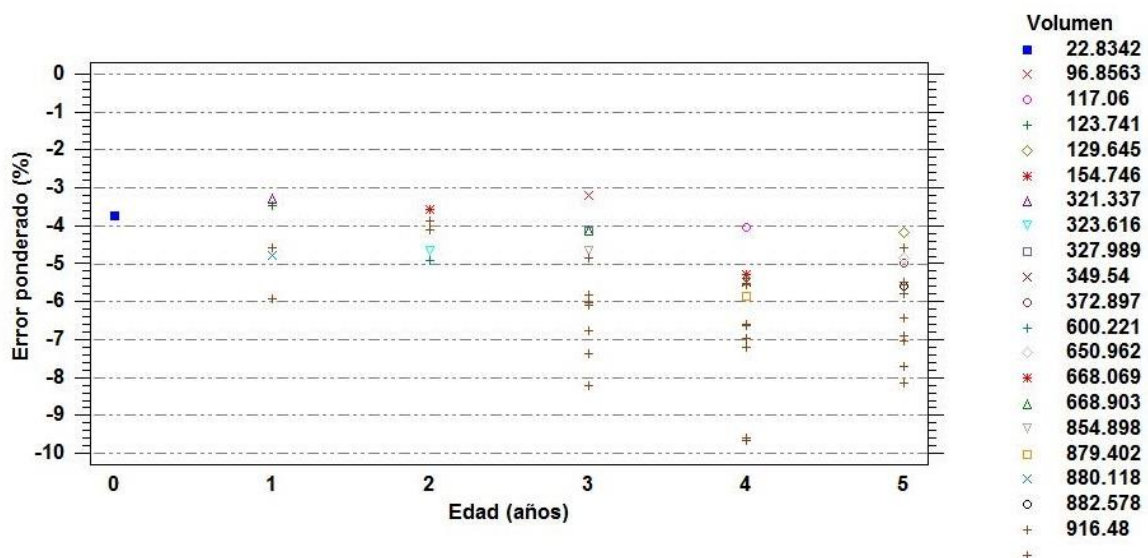


Figura 71 Clasificación de los contadores por edad y volumen acumulado

Por otra parte podemos distinguir esta relación en las gráficas si agrupamos los datos como se indica en la Tabla 39 en la cual se clasifica por edad y volumen acumulado.

Tabla 39 Clasificación de contadores por edad y volumen acumulado

Edad (años)	Rango de volumen (m ³)	Promedio de volumen en cada rango (m ³)	Error ponderado promedio (%)	Número de contadores ensayados de cada rango
0	0-250	22.83	-3.73	4
1	0-250	123.74	-3.47	115
1	250-500	321.34	-3.28	3
1	750-1000	880.12	-4.77	1
1	1000-1250	1006.03	-5.93	1
1	2000-2250	2006.13	-4.58	1
2	0-250	154.75	-3.56	13
2	250-500	323.62	-4.69	14
2	500-750	600.22	-4.92	2
2	750-1000	916.48	-3.87	2
2	1000-1250	1008.08	-4.11	1
3	0-250	96.86	-3.21	11
3	250-500	327.99	-4.15	12
3	500-750	668.90	-4.11	7
3	750-1000	854.90	-4.67	3
3	1000-1250	1165.07	-4.84	3
3	1750-2000	1945.64	-6.77	3
3	2500-2250	2231.19	-5.82	2
3	2250-2500	2421.83	-6.10	5
3	4250-4500	4428.19	-8.23	1
3	4500-4750	4698.07	-7.37	2
3	5000-5250	5152.09	-6.03	1
4	0-250	117.06	-4.03	18
4	250-500	349.54	-5.47	10
4	500-750	668.07	-5.29	9
4	750-1000	879.40	-5.84	5
4	1000-1250	1074.39	-5.39	3
4	1250-1500	1372.21	-5.51	5
4	1500-1750	1599.40	-5.55	5
4	1750-2000	1857.85	-6.60	4
4	2000-2250	2081.57	-7.21	5
4	2500-2750	2553.46	-6.63	3
4	4000-4250	4171.20	-6.96	1
4	5250-5500	5444.08	-9.65	1
4	6500-6750	6562.11	-9.60	1
5	0-250	129.64	-4.17	3
5	250-500	372.90	-4.98	3
5	500-750	650.96	-4.86	28
5	750-1000	882.58	-5.59	25
5	1000-1250	1100.43	-5.55	17
5	1250-1500	1317.49	-5.81	13
5	1500-1750	1597.63	-4.56	3

5	1750-2000	1822.58	-5.49	2
5	2000-2250	2007.18	-8.15	1
5	2250-2500	2397.16	-6.91	4
5	2500-2750	2613.07	-6.89	2
5	3000-3250	3162.32	-7.05	2
5	3500-3750	3691.79	-6.42	1
5	5750-6000	5853.01	-7.72	1

En la Figura 72, se muestran los resultados anteriores clasificados por edad y volumen. Como puede observarse, existe una tendencia más marcada al aumento del error ponderado conforme crece el volumen acumulado de los contadores.

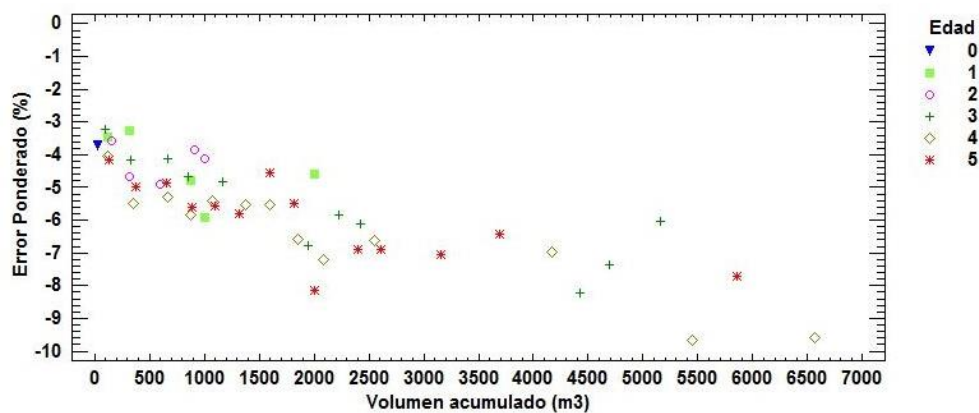


Figura 72 Degradación del error en función del volumen acumulado y edad

En las siguientes gráficas se muestran por separado para edades de 3, 4 y 5 años para ilustrar de mejor manera la degradación del error ponderado.

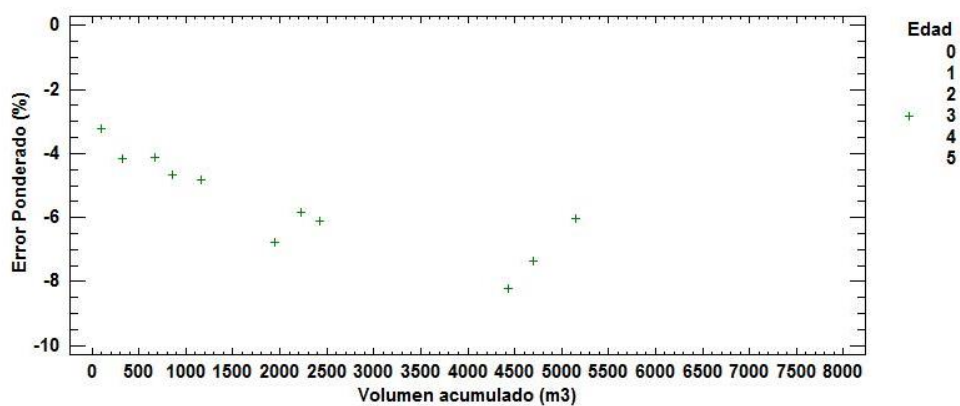


Figura 73 Degradación con el volumen acumulado y edad 3 años

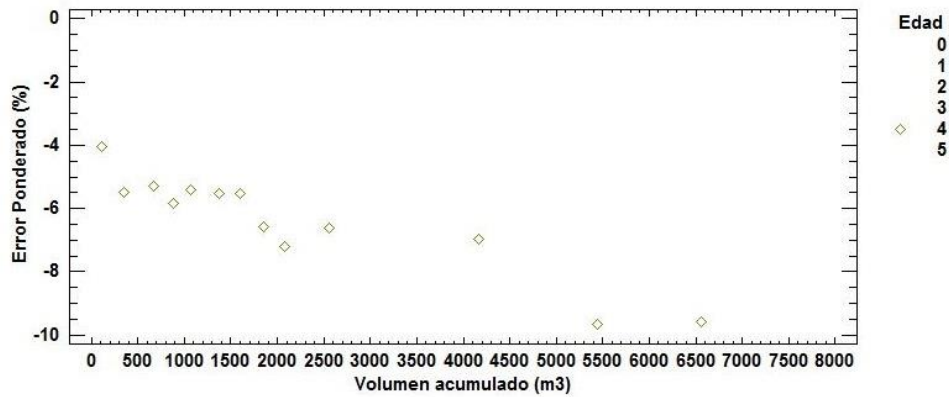


Figura 74 Degradación con el volumen acumulado y edad 4 años

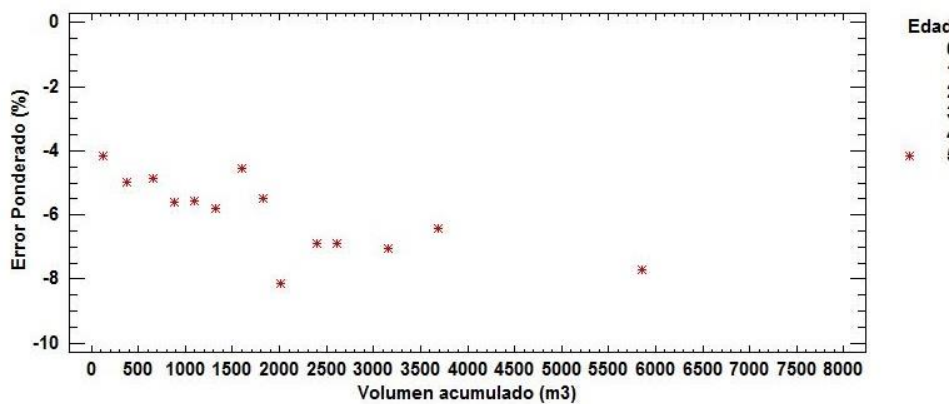


Figura 75 Degradación del error con el volumen acumulado y edad 5 años

Siendo que los parámetros edad y volumen inciden en la degradación del error ponderado, con los datos de la Tabla 39 (columnas 1, 3 y 4) se ajusta una función en la que intervengan estas variables utilizando el programa Statgraphics, y se presentan dos alternativas:

Alternativa 1: Regresión no lineal de varios factores:

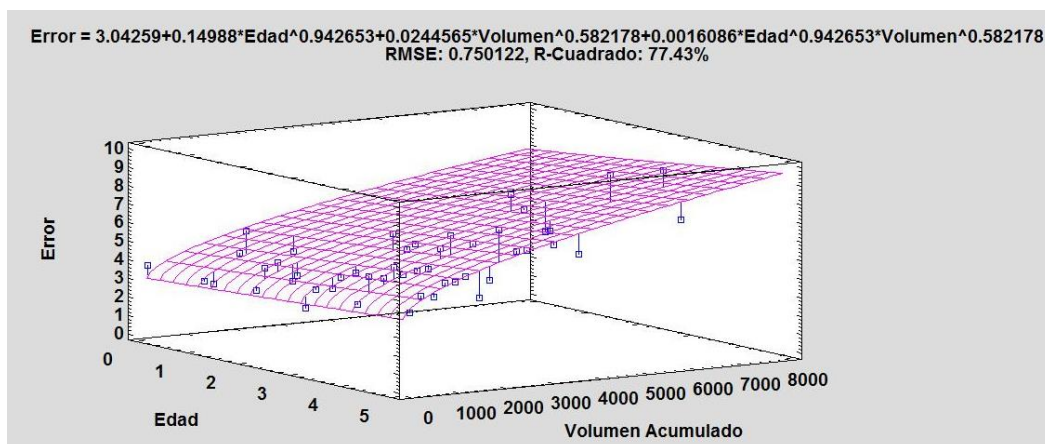


Figura 76 Ajuste de la degradación del error ponderado con la edad y el volumen

En la Figura 76 se muestra el ajuste dado por el programa, también se muestra el valor de R^2 correspondiente de esta regresión no lineal múltiple.

Por tanto, se puede estimar el ajuste combinando los dos parámetros edad y volumen acumulado de los contadores con una ecuación de la forma:

$$Error (\%) = a + b * Edad^c + d * Volumen^e + f * Edad^c * Volumen^e$$

En donde a, b, c, d, e y f son coeficientes que dependen tanto del modelo de contador como de las características del abastecimiento.

Para el caso actual se encuentran los siguientes valores Tabla 40:

Tabla 40 Parámetros de ajuste de la regresión No lineal

<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>
a	3.04258
b	0.149879
c	0.942662
d	0.0244568
e	0.582178
f	0.00160855

Se puede observar que con este ajuste a edad y volumen acumulado nulos se obtendría un valor del error ponderado de 3.04258 %. Para poder hacer una mejor representación se han usado valores absolutos del error, pero se debe tener presente que se trata de una degradación del mismo.

Alternativa 2: Regresión múltiple.

Este procedimiento está diseñado para construir un modelo estadístico describiendo el impacto que tienen dos o más variables cuantitativas X sobre una variable dependiente Y. En este caso las variables X son la edad y el volumen acumulado, mientras que la variable Y sería el error ponderado.

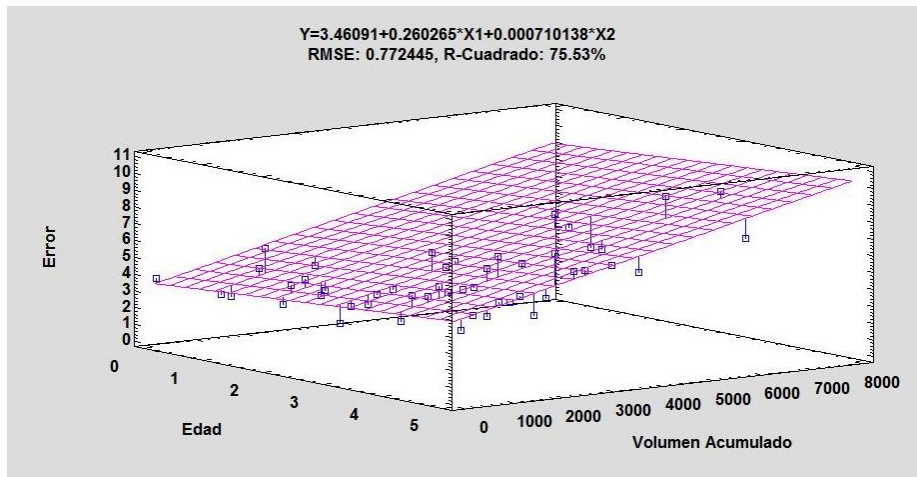


Figura 77 Degradación del error ponderado mediante regresión múltiple

La figura muestra los puntos de la Tabla 39 de las columnas 1, 3 y 4 el ajuste realizado en el programa Statgraphics en donde:

- X1: Edad (años)
- X2: Volumen acumulado (m³).
- Y: Error ponderado (%).

Se nota que la ecuación es de la forma:

$$\text{Error (\%)} = A + B * \text{Edad} + C * \text{Volumen acumulado}$$

Nuevamente, las variables A, B y C se deben determinar para cada modelo de contador y para las características particulares del abastecimiento.

Para este caso se obtiene:

Parámetro	Estimado
A	3.46
B	0.260265
C	0.000710138

Figura 78 Parámetros de ajuste de la degradación del error a través de regresión múltiple

Al igual que para la alternativa 1, no se debe olvidar que se trata de una degradación del error ponderado por lo que se debe anteponer el signo menos a la ecuación anterior. Se lo ha graficado con valores absolutos para una mejor interpretación visual.

Entre las dos alternativas, y pese a que la alternativa 1 explica el 77,43% de la variabilidad del error ponderado frente al 75,53% de la alternativa 2, se puede preferir la segunda alternativa, por simplicidad y menos constantes a determinar.

En la tabla se presentan los resultados obtenidos con los diferentes ajustes estudiados para condiciones de edad y volumen nulos.

Tabla 41 Modelos de ajuste según las variables consideradas.

Modelo	Ajuste	Variables consideradas	Error en condiciones iniciales (edad y volumen acumulado nulos)
1	Lineal	Edad	-3.42%
2	Raíz cuadrada de X	Volumen acumulado	-3.12%
3	Regresión No lineal	Edad, Volumen acumulado	-3.04%
4	Regresión múltiple	Edad, Volumen acumulado	-3.46%

Se observa la similitud entre los valores, aunque por los motivos explicados, en este caso se podría preferir el modelo 2 o 4 de la Tabla 41.

4.9. Resultados del estudio económico y análisis de sensibilidad

Aunque los cánones que incluyen las facturas de muchas empresas de abastecimiento son diversos, y por tanto la cantidad en términos económicos que dejaría de percibir la empresa debido a la degradación del error ponderado conforme pasa el tiempo o el uso del contador sería mayor si se utilizara el valor total por metro cúbico (incluyendo dichos cánones), en este trabajo se utilizan para el análisis sólo los precios correspondientes al abastecimiento que es lo que efectivamente se dedica al suministro.

En la Tabla 42 se muestran los valores para diferentes provincias (AEAS-AGA), de los cuales se muestra el porcentaje promedio de cada rubro.

Tabla 42 Precios de agua en ciudades españolas (AEAS-AGA, 2014)

	Precio (€/m ³)	Saneamiento (€/m ³)	Abastecimiento (€/m ³)
Andalucía	1.58	0.66	0.92
Aragón	1.18	0.5	0.68
Asturias	1.53	0.64	0.89
Baleares	2.1	0.88	1.22
Canarias	1.76	0.74	1.02

Cantabria	1.49	0.63	0.86
Castilla y León	0.95	0.4	0.55
Castilla-la Mancha	1.23	0.52	0.71
Cataluña	2.15	0.9	1.25
Ceuta	1.93	0.81	1.12
Ciudad Melilla	0.8	0.34	0.46
Comunidad Valenciana	1.71	0.72	0.99
Extremadura	1.63	0.68	0.95
Galicia	1.13	0.47	0.66
Madrid	1.4	0.59	0.81
Murcia	2.31	0.97	1.34
Navarra	1.15	0.48	0.67
País Vasco	1.23	0.52	0.71
Rioja	1.33	0.56	0.77

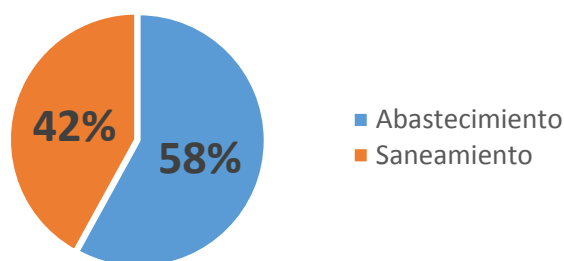


Figura 79 Porcentaje del precio de agua dedicado a cada concepto

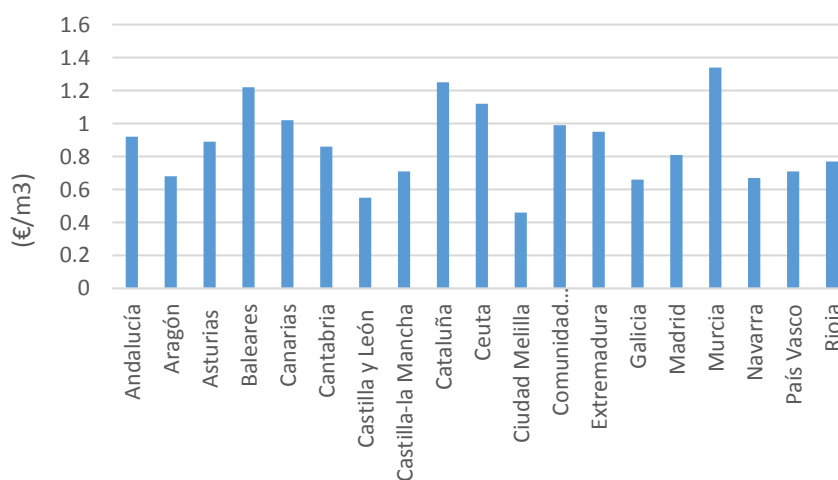


Figura 80 Precio del agua promedio correspondiente a abastecimiento en ciudades españolas

De lo anterior se obtienen los valores mínimo, promedio y máximo de los precios del agua (Tabla 43) que por metro cúbico factura la empresa, correspondientes a abastecimiento.

Tabla 43 Costos por m³ mínimo, medio y máximo en ciudades españolas

	Costos por m ³ (€/m ³)
Mínimo	0.46
Promedio	0.87
Máximo	1.34

Para el análisis económico a continuación se asumen los valores de 0.5 €, 1 € y 1.5 € como valores mínimo, promedio y máximo respectivamente.

4.9.1. Modelo de degradación del error ponderado con la edad

Análisis con respecto a los costos iniciales

El análisis lineal, es el que correspondiente a la ecuación obtenida previamente para la degradación del error ponderado en función de la edad del contador:

$$\text{Error ponderado (\%)} = -3.4242 - 0.434 * \text{Edad (años)}$$

Para el análisis de sensibilidad se han variado los costos iniciales, que son la suma de los correspondientes al precio de compra, costo de instalación y gastos administrativos que se indican en la Tabla 44. El error inicial que se muestra en la tabla corresponde al factor independiente de la ecuación anterior, mientras que el ritmo de deterioro es la pendiente de la misma.

El valor del consumo medio anual se toma como 120 m³ y las tasas de actualización real que dependen de la tasa de actualización nominal y de la inflación, así como los precios del agua que se analizan, se muestran en la misma tabla.

Tabla 44 Datos para el análisis económico

	Alternativa #
Precio de compra (€)	Costos iniciales
Costo de instalación (€)	
Gastos Administrativos (€)	
Ratio V	variable
Clase metrológica	B
Error inicial (%):	-3.42%
Ritmo de deterioro (%/año)	-0.43%

Consumo medio anual por usuario:	120 m ³
Tasa de actualización nominal:	
Inflación:	
Tasa de actualización real:	0.0%, 1%, 2% y 3%
Precios del agua:	0.50 €/m ³
	1.00 €/m ³
	1.50 €/m ³

En cuanto al ratio V, es variable como se indicó anteriormente que relaciona los costos iniciales con los ingresos por m³ de agua facturado.

Como ejemplo de lo que se pretende, considérese los siguientes datos para el análisis:

Tabla 45 Datos del ejemplo para análisis económico

	Alternativa #
Precio de compra (€)	100
Costo de instalación (€)	
Gastos Administrativos (€)	
Ratio V	
Clase metrológica	B
Error inicial (%):	-3.42%
Ritmo de deterioro (%/año)	-0.43%

Consumo medio anual por usuario:	120 m ³
Tasa de actualización nominal:	
Inflación:	
Tasa de actualización real:	1%
Precio del agua:	1.00 €/m ³

Si por ejemplo, tomamos el valor de 100 € para los costos iniciales mediante el método del VANC obtenemos el período de renovación óptimo para estos parámetros de cálculo y cuyos resultados se indican en la Tabla 46.

Tabla 46 Cálculo del VANC para obtener el período de renovación óptimo

Año	Costos iniciales (€)	Volumen registrado (m ³)	Valor actual de los ingresos por agua registrada (€)	Valor actual de los ingresos acumulados por agua registrada (€)	VAN total de los ingresos (€)	VANC (€)
1	-100	115.4	114.2	114.2	14.2	1437.0
2		114.9	112.6	226.8	126.8	6436.0
3		114.3	111.0	337.8	237.8	8085.1
4		113.8	109.4	447.2	347.2	8896.7
5		113.3	107.8	554.9	454.9	9373.5
6		112.8	106.2	661.2	561.2	9682.8
7		112.3	104.7	765.9	665.9	9896.6
8		111.7	103.2	869.0	769.0	10050.6
9		111.2	101.7	970.7	870.7	10164.8
10		110.7	100.2	1070.9	970.9	10251.1
11		110.2	98.7	1169.7	1069.7	10317.3
12		109.6	97.3	1267.0	1167.0	10368.3
13		109.1	95.9	1362.8	1262.8	10407.6
14		108.6	94.5	1457.3	1357.3	10437.9
15		108.1	93.1	1550.4	1450.4	10460.9
16		107.6	91.7	1642.1	1542.1	10478.0
17		107.0	90.4	1732.5	1632.5	10490.2
18		106.5	89.1	1821.6	1721.6	10498.5
19		106.0	87.7	1909.3	1809.3	10503.3
20		105.5	86.4	1995.7	1895.7	10505.3
21		105.0	85.2	2080.9	1980.9	10504.9
22		104.4	83.9	2164.8	2064.8	10502.4
23		103.9	82.7	2247.5	2147.5	10498.1
24		103.4	81.4	2328.9	2228.9	10492.2
25		102.9	80.2	2409.1	2309.1	10484.9
26		102.4	79.0	2488.1	2388.1	10476.4
27		101.8	77.8	2566.0	2466.0	10466.9
28		101.3	76.7	2642.6	2542.6	10456.5
29		100.8	75.5	2718.2	2618.2	10445.2
30		100.3	74.4	2792.6	2692.6	10433.1
31		99.8	73.3	2865.8	2765.8	10420.5
32		99.2	72.2	2938.0	2838.0	10407.2
33		98.7	71.1	3009.1	2909.1	10393.4

De la misma manera, variando los costos iniciales y manteniendo constantes los demás parámetros (tasa de actualización real, volumen anual medio, precio del metro cúbico, error ponderado inicial y su tasa de degradación) se obtienen los resultados de la Tabla 47:

Tabla 47 Determinación del período de renovación para diferentes costos iniciales

r' (%)	Costos iniciales (€)	ratio V (años)	Período de renovación óptimo	VAN (€)
1	5	0.04	4	11,331.40
	10	0.08	6	11,235.78
	15	0.13	8	11,161.42
	20	0.17	9	11,098.67
	25	0.21	10	11,042.98
	30	0.25	11	10,992.43
	35	0.29	12	10,945.78
	40	0.33	13	10,902.13
	45	0.38	13	10,860.92
	60	0.50	16	10,749.76
	100	0.83	20	10,505.32

Si se grafica los costos iniciales en el eje horizontal versus el período óptimo de renovación de la Tabla 47 observamos que a mayor costo inicial mayor es el período óptimo de renovación de los contadores.

Nótese que los valores de V de la tabla aumentan conforme los costos iniciales, puesto que el denominador de la ecuación de V (años) se ha mantenido constante.

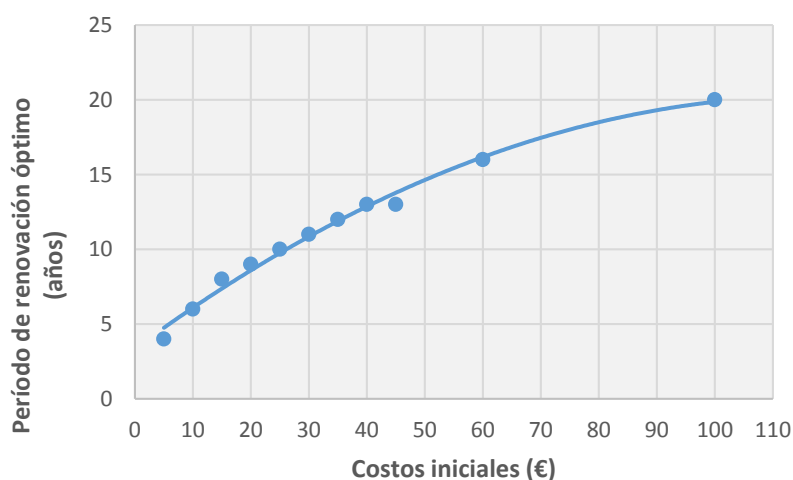


Figura 81 Construcción del método gráfico para determinar el período de renovación óptimo

Procediendo de la misma manera para diferentes tasas de actualización real y para el precio mínimo, medio y máximo del agua considerada se obtienen las siguientes gráficas:

Como se puede apreciar en la Figura 82, tasas de actualización elevadas permiten períodos de renovación mayores.

Sin embargo, el efecto de la tasa de actualización real para costos iniciales bajos, así como para precios de agua elevados, prácticamente no tiene mayor influencia en la estimación del período óptimo de renovación.

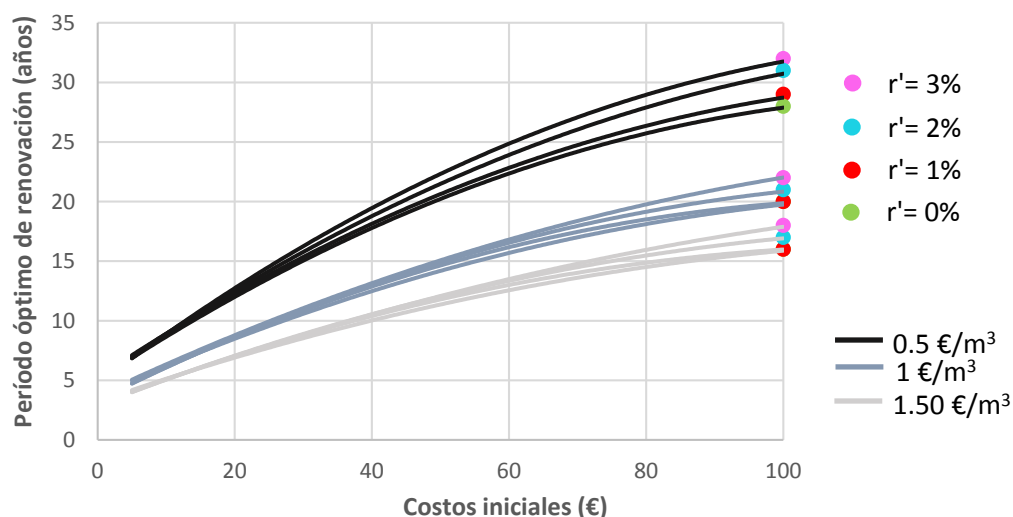


Figura 82 Variación de la vida útil con los costos iniciales

Se puede apreciar también la diferencia significativa en cuanto al precio del agua se refiere. Un precio mayor del metro cúbico de agua disminuye el período de renovación óptimo de manera apreciable haciendo que este parámetro sea un factor decisivo en la elección.

Análisis con respecto al precio del agua

Análogamente, si se tiene como constante el costo inicial y el consumo promedio anual, pero variando la tasa de actualización real y precios del agua, se obtienen para los datos de la Tabla 48 los resultados de la Tabla 49 en donde se encuentra resaltado el valor del máximo VANC y su correspondiente período de renovación óptimo como ejemplo de cálculo particular.

Tabla 48 Datos para el análisis económico variando el precio del metro cúbico de agua

	Alternativa #
Precio de compra (€)	50
Coste de instalación (€)	
Gastos Administrativos (€)	
Ratio V	0.08

Clase metrológica	B
Error inicial (%) :	-3.42%
Ritmo de deterioro (%/año)	-0.43%

Consumo medio anual por usuario:	120 m ³
Tasa de actualización nominal:	
Inflación:	
Tasa de actualización real:	3.00%
Precio del agua:	5.00 €/m ³

Los parámetros de tasa de actualización nominal e inflación, no se los da de manera específica puesto que para los cálculos se usa la tasa de actualización real.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la tasa de actualización real o deflactada se calcula con esos dos parámetros mediante la ecuación pertinente.

Tabla 49 Cálculo del período óptimo de renovación variando el precio del agua del caso particular de ejemplo

Año	Costos iniciales (€)	Volumen registrado (m ³)	Valor actual de los ingresos por agua registrada (€)	Valor actual de los ingresos acumulados por agua registrada (€)	VAN total de los ingresos (€)	VANC (€)
1	-50	115.4	560.1	560.1	510.1	17511.7
2		114.8	541.3	1101.3	1051.3	18314.6
3		114.3	523.1	1624.5	1574.5	18554.1
4		113.8	505.6	2130.1	2080.1	18653.0
5		113.3	488.6	2618.7	2568.7	18696.0
6		112.8	472.2	3090.9	3040.9	18711.2
7		112.2	456.3	3547.2	3497.2	18710.7
8		111.7	441.0	3988.2	3938.2	18700.6
9		111.2	426.1	4414.3	4364.3	18684.2
10		110.7	411.8	4826.1	4776.1	18663.5
11		110.2	397.9	5224.0	5174.0	18639.8
12		109.6	384.5	5608.5	5558.5	18614.0
13		109.1	371.5	5980.1	5930.1	18586.7
14		108.6	359.0	6339.0	6289.0	18558.2
15		108.1	346.9	6685.9	6635.9	18528.9

De la misma manera, para el costo inicial de 25 €, tasas de actualización de 0%, 1%, 2% y 3% se construyen este tipo de gráficas para diferentes precios del metro cúbico de agua.

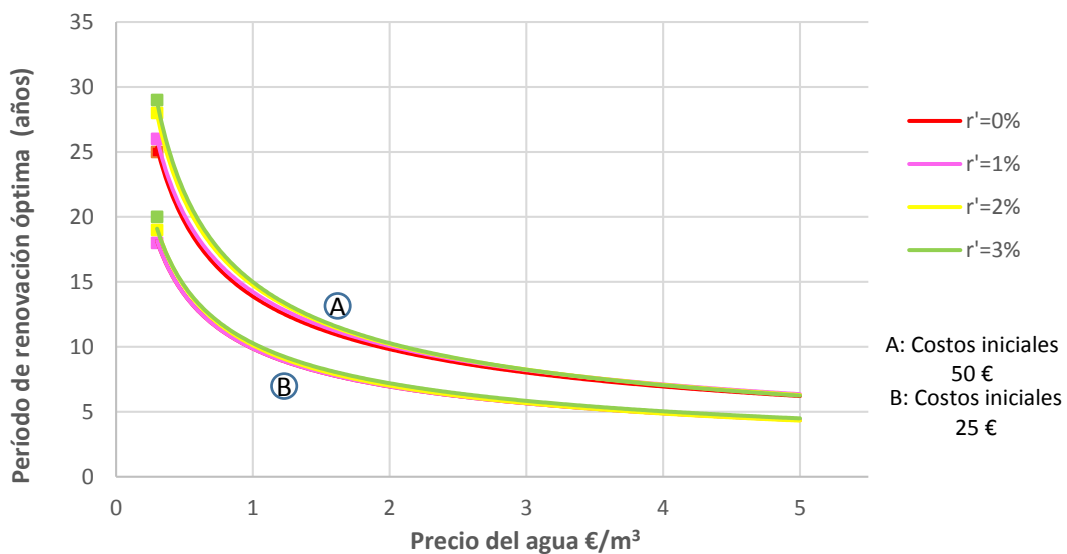


Figura 83 Estudio económico. Sensibilidad respecto al precio del agua

Se observa que el período óptimo de renovación varía exponencialmente conforme el precio por metro cúbico del agua aumenta.

En cuanto a la tasa de actualización, se puede observar que prácticamente no afecta en el cálculo del período de renovación óptimo, mientras que con unos costos iniciales más elevados se obtendrían períodos de renovación mayores (ver casos A y B de la Figura 83).

Nuevamente se puede apreciar la importancia que tienen en la elección del contador adecuado, el precio del agua y el costo inicial (asociado a un contador de mejor calidad).

Análisis con respecto a la tasa de degradación del error ponderado.

La degradación del error ponderado, podría no ser lineal para todo el período de vida útil del contador sino, dependiendo del uso o la edad, puede evolucionar de manera incluso cuadrática (Arregui et al. 2014).

Es por esto, que se puede realizar un análisis para distintas tasas de degradación del error. Para esto y procediendo de manera similar a los casos anteriores, se pueden construir gráficas como las de la Figura 84. En este caso, para su construcción, se

mantienen constantes los parámetros de costo inicial de 30 € y el consumo medio anual de 120 m³ para diferentes precios de agua y tasas de degradación.

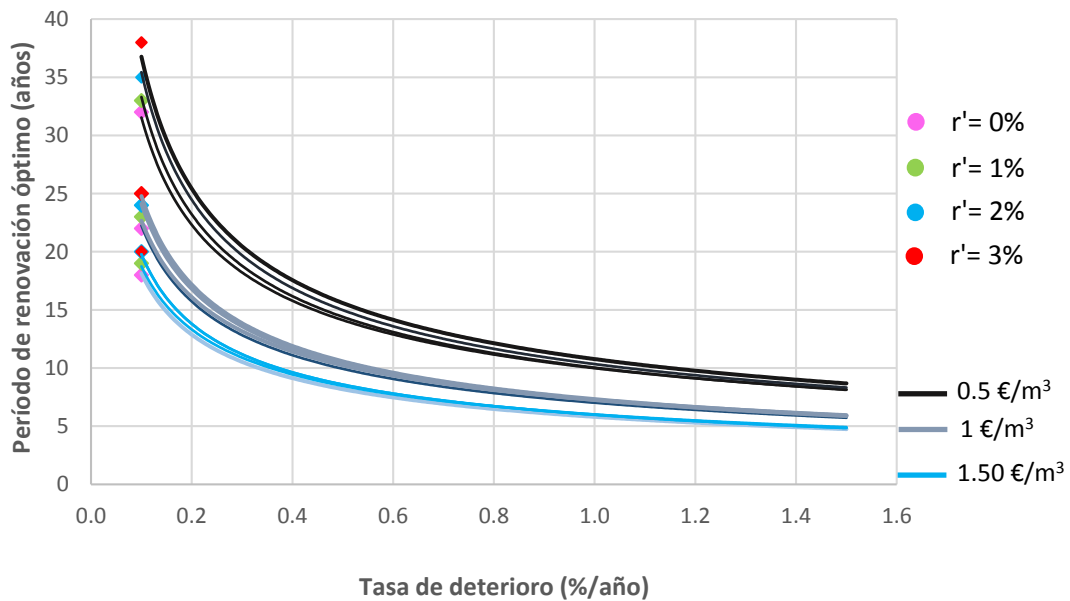


Figura 84 Período óptimo de renovación. Variación con la tasa de deterioro

Se puede observar que una mayor tasa de actualización real permite un tiempo de renovación mayor, como se puede notar sin embargo, este parámetro no afecta de forma apreciable el cálculo del período de renovación para un precio de agua determinado.

Por otro lado, un desgaste mayor, es decir, una mayor degradación del error ponderado de los contadores, hacen que el período de renovación disminuya como se muestra en la misma gráfica.

4.9.2. Modelo de degradación del error ponderado con el volumen

Este enfoque, es basado en el uso del contador, por lo que interesaría saber para qué volumen registrado sería conveniente hacer el cambio del instrumento.

Para realizar este análisis se utiliza la ecuación determinada para el error ponderado en función del volumen.

$$\varepsilon_{ponderado}(\%) = -3.122 - 0.0689 * \sqrt{\text{Volumen acumulado (m}^3\text{)}}$$

En esta ecuación el error inicial (es decir para volumen 0 m³), es menor que en la ecuación en función de la edad (3.42%), siendo así, se esperarían períodos más largos de renovación que al hacer el análisis con la ecuación lineal en función de la edad.

Adicionalmente, se había determinado en el caso anterior, que la tasa de actualización no ejercía de forma apreciable en el cálculo del período óptimo de renovación, por lo que en el presente análisis se lo hace con un valor promedio de los analizados al considerar el error ponderado en función de la edad, siendo éste de $r'=1.5\%$.

Para el ejemplo, se usaran los datos de la Tabla 50.

Tabla 50 Datos de cálculo del período de renovación con el modelo del volumen acumulado

	Alternativa #
Precio de compra (€)	25 y 50
Coste de instalación (€)	
Gastos Administrativos (€)	
Ratio V	variable
Clase metrológica	B
Error inicial (%) :	-3.12%

Consumo medio anual por usuario:	120 m ³
Tasa de actualización nominal:	
Inflación:	
Tasa de actualización real:	1.50%
Precio del agua:	variable €/m ³

Para explicar la determinación de un caso particular, se toman los valores de 25 € correspondiente a los costos iniciales, un precio del agua de 1.5 €/m³ y un consumo medio esperado anual de 120 m³, con esto se calcula el máximo VANC para estas condiciones. Los resultados se presentan en la Tabla 51.

Tabla 51 Cálculo del período de renovación óptimo mediante el modelo de degradación con el volumen acumulado

Año	Costos iniciales (€)	Volumen promedio consumido esperado acumulado (m ³)	Error (%)	Volumen registrado por año (m ³)	Volumen registrado acumulado (m ³)	Valor actual de los ingresos por agua registrada (€)	Valor actual de los ingresos acumulados por agua registrada (€)	VAN total de los ingresos (€)	VANC (€)
1	-25	120	-3.88	115.4	115.4	170.5	170.5	145.5	9843.1
2		240	-4.19	114.6	229.9	166.9	337.3	312.3	10645.4
3		360	-4.43	114.1	344.1	163.7	501.0	476.0	10896.7
4		480	-4.63	113.7	457.8	160.7	661.7	636.7	11012.7
5		600	-4.81	113.4	571.1	157.9	819.6	794.6	11075.7
6		720	-4.97	113.1	684.2	155.1	974.7	949.7	11112.8
7		840	-5.12	112.8	797.0	152.4	1127.1	1102.1	11135.5
8		960	-5.26	112.5	909.5	149.8	1277.0	1252.0	11149.4
9		1080	-5.39	112.3	1021.8	147.3	1424.3	1399.3	11157.8
10		1200	-5.51	112.1	1133.9	144.8	1569.1	1544.1	11162.3
11		1320	-5.63	111.9	1245.7	142.4	1711.5	1686.5	11164.2
12		1440	-5.74	111.6	1357.4	140.1	1851.6	1826.6	11164.2
13		1560	-5.84	111.5	1468.8	137.8	1989.4	1964.4	11162.9
14		1680	-5.95	111.3	1580.1	135.5	2124.9	2099.9	11160.5
15		1800	-6.05	111.1	1691.2	133.3	2258.1	2233.1	11157.3

Análogamente, procediendo para otros precios del agua se obtiene la Tabla 52, en la cual se encuentra en negrita el valor obtenido de la tabla anterior del cálculo de ejemplo.

Tabla 52 Período de renovación óptimo para diferentes precios de agua con el modelo de degradación del volumen acumulado.

r' (%)	Precio del agua (€/m ³)	ratio V (años)	Vida útil (años)	Volumen registrado máximo (m ³)	VANC (€)
1.5	0.5	0.42	25	2793.059	3,649.29
	1	0.21	15	1691.16	7,396.57
	1.5	0.14	12	1357.37	11,164.22
	2	0.10	9	1021.82	14,943.45
	3	0.07	7	796.99	22,523.51
	4	0.05	6	684.2	30,121.64
	5	0.04	5	571.14	37,732.12

Costos iniciales= 25 €; Consumo= 120 m³/año

De la misma manera, se lo puede hacer para diferentes costos iniciales, como se muestra en la Tabla 53.

Tabla 53 Período de renovación variando precios de agua y el costo inicial. Modelo de degradación con el volumen acumulado.

r' (%)	Precio del agua (€/m ³)	ratio V (años)	Vida útil (años)	Volumen registrado máximo (m ³)	VANC (€)
1.5	0.5	0.83	39	4313.17	3,583.99
	1	0.42	25	2793.06	7,298.58
	1.5	0.28	19	2133.76	11,038.61
	2	0.21	15	1691.16	14,793.14
	3	0.14	12	1357.37	22,328.45
	4	0.1	9	1021.82	29,886.91
	5	0.08	8	909.52	37,461.58

Costos iniciales= 50 €; Consumo= 120 m³/año

En las tablas precedentes, la columna correspondiente al volumen registrado máximo, indica que sobre este volumen, el contador empezaría a disminuir los ingresos por el agua contabilizada, por lo que por encima de este valor se debe proceder al cambio para las condiciones particulares del problema analizado (precio de agua, costos iniciales, etc).

En la Figura 85 se observa la importancia del precio del agua en la elección del mismo, puesto que a mayor precio, menor será el volumen necesario de registro en el contador para proceder a su sustitución. Para costos iniciales mayores, se puede permitir mayores volúmenes de uso, esto está asociado a que con el costo inicial mayor, se espera un contador de mejor calidad.

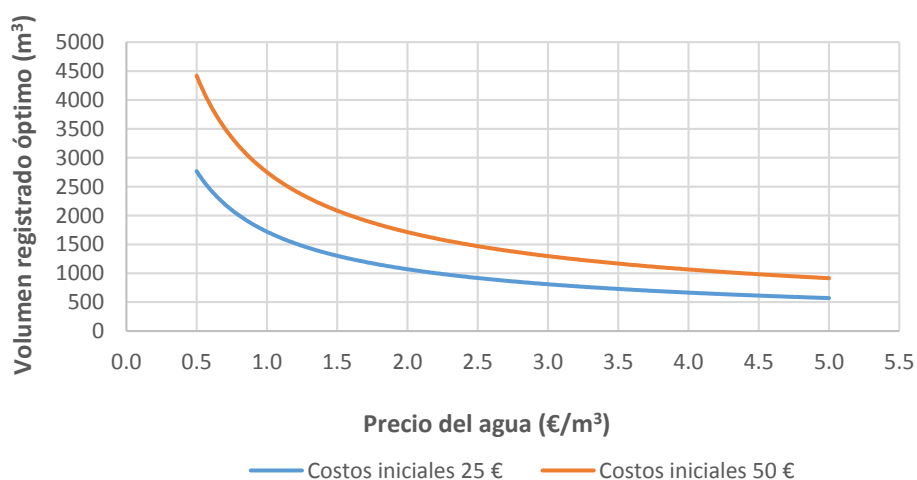


Figura 85 Precio del agua y volumen registrado máximo permitido

4.9.3. Comparación de los tiempos de renovación óptimos, según el modelo en función de la edad y del volumen acumulado

Ahora se hace una comparación de los modelos utilizados en función del volumen acumulado y la edad con costos iniciales de 25 € y 50 €.

Período de renovación óptimo con la ecuación en función del volumen acumulado.

Los datos y resultados obtenidos se muestran en las Tabla 54 a Tabla 57.

Tabla 54 Período de renovación con el modelo en función de la edad para los parámetros indicados

r' (%)	Precio del agua (€/m ³)	ratio V (años)	Vida útil (años)	Volumen registrado (m ³)	VANC (€)
1.5	0.5	0.42	25	2793.059	3,649.29
	1	0.21	15	1691.16	7,396.57
	1.5	0.14	12	1357.37	11,164.22
	2	0.10	9	1021.82	14,943.45
	3	0.07	7	796.99	22,523.51
	4	0.05	6	684.2	30,121.64
	5	0.04	5	571.14	37,732.12

Costos iniciales= 25 €; Consumo= 120 m³/año

Tabla 55 Período de renovación con el modelo en función de la edad para los parámetros indicados

r' (%)	Precio del agua (€/m ³)	ratio V (años)	Vida útil (años)	Volumen registrado (m ³)	VANC (€)
1.5	0.5	0.83	39	4313.17	3,583.99
	1	0.42	25	2793.06	7,298.58
	1.5	0.28	19	2133.76	11,038.61
	2	0.21	15	1691.16	14,793.14
	3	0.14	12	1357.37	22,328.45
	4	0.1	9	1021.82	29,886.91
	5	0.08	8	909.52	37,461.58

Costos iniciales= 50 €; Consumo= 120 m³/año

Período de renovación óptimo con la ecuación en función de la edad (modelo lineal).

Tabla 56 Período de renovación con el modelo en función del volumen acumulado para los parámetros indicados

r' (%)	Costos agua (€/m ³)	ratio V (años)	Período de renovación óptimo (años)	VANC (€)
1.5	0.5	0.42	14	3,604.16
	1	0.21	10	7,358.64
	1.5	0.14	8	11,136.17
	2	0.1	7	14,925.91
	3	0.07	6	22,525.61
	4	0.05	5	30,143.27
	5	0.04	4	37,767.14

Costos iniciales= 25 €; Consumo= 120 m³/año

Tabla 57 Período de renovación con el modelo en función del volumen acumulado para los parámetros indicados

r' (%)	Costos agua (€/m ³)	ratio V (años)	Período de renovación óptimo (años)	VANC (€)
1.5	0.5	0.83	21	3,495.32
	1	0.42	14	7,208.31
	1.5	0.28	12	10,954.21
	2	0.21	10	14,717.29
	3	0.14	8	22,272.33
	4	0.1	7	29851.8182
	5	0.08	6	37445.1735

Costos iniciales= 50 €; Consumo= 120 m³/año

Con los datos de las tablas precedentes, se obtiene la Figura 86 y Figura 87.

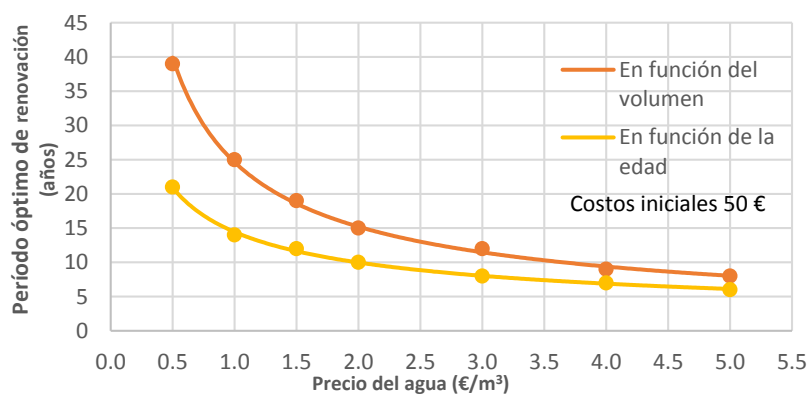


Figura 86 Comparación del período de renovación óptimo entre el modelo en función de la edad y volumen acumulado

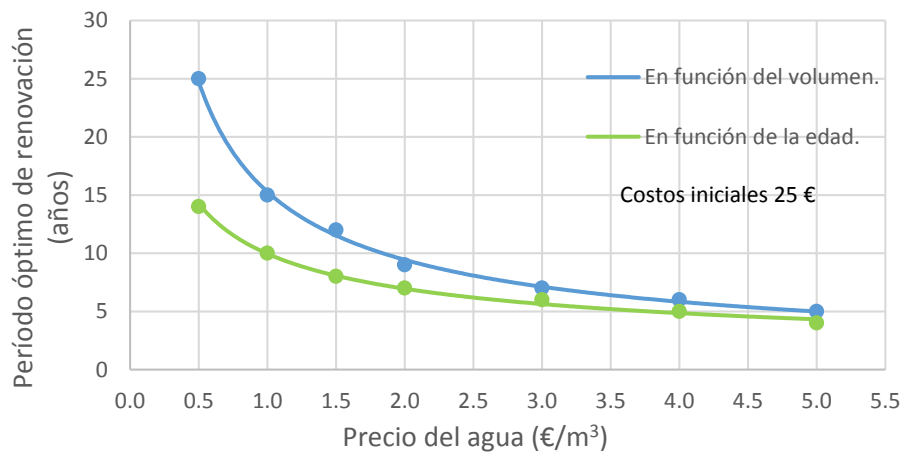


Figura 87 Comparación del período de renovación óptimo entre el modelo en función de la edad y volumen acumulado

Se debe tener presente, que el volumen registrado en un contador no siempre tiene una relación lineal conforme su edad. Dicho de otro modo, contadores con volúmenes registrados considerables tenían corta edad, y contadores con muchos años de instalación pueden tener volúmenes registrados inferiores a 250 m³.

Siendo así, la diferencia en los tiempos óptimos de renovación entre los modelos descritos, se deben a que en la ecuación del error ponderado con respecto al volumen no se tiene en cuenta la edad del contador ni de manera implícita, por lo que ésta es útil para tener una idea del orden de magnitud del volumen registrado en contador sobre el cual ya no conviene tenerlo instalado en el abastecimiento y realizar así su sustitución.

4.10. Ejemplo de aplicación a un caso particular

Mediante un ejemplo, se hace una comparación de los tres modelos encontrados: en función de la edad, volumen acumulado, y en función de la edad y volumen simultáneamente en un ejemplo práctico.

Las ecuaciones para el estudio son:

a) En función de la edad:

$$\varepsilon_{ponderado}(\%) = -3.42425 - 0.434008 * \text{Edad (años)}$$

b) En función del volumen acumulado:

$$\varepsilon_{ponderado}(\%) = -3.122 - 0.0689 * \sqrt{\text{Volumen acumulado (m}^3\text{)}}$$

c) En función de la edad y el volumen acumulado:

$$\varepsilon_{ponderado}(\%) = -3.461 - 0.260 * \text{Edad(años)} - 0.000710138 * \text{Volumen acumulado (m}^3\text{)}$$

Para la comparación se utilizarán los datos de la Tabla 58.

Tabla 58 Datos de ejemplo para comparación de modelos

		Datos del contador
Precio de compra (€)		25
Coste de instalación (€)		12
Gastos Administrativos (€)		2
Ratio V		0.33
Clase metrológica		B
Para el modelo lineal	Error inicial (%) :	-3.42%
	Ritmo de deterioro (%/año)	-0.43%

Consumo medio anual por usuario:	120 m ³
Tasa de actualización nominal:	5.00%
Inflación:	2.00%
Tasa de actualización real:	2.94%
Precio del agua:	1.00 €/m ³

4.10.1. Período óptimo de renovación en función de la edad

Tabla 59 Cálculo del período óptimo de renovación con el modelo en función de la edad

Año	Costos iniciales (€)	Error (%)	Volumen registrado (m3)	Volumen registrado acumulado (m3)	Valor actual de los ingresos por agua registrada (€)	Valor actual de los ingresos acumulados por agua registrada (€)	VAN total de los ingresos (€)	VANC (€)
1	-39	-3.86	115.4	115.4	112.1	112.1	73.1	2557.6
2		-4.29	114.9	230.2	108.4	220.5	181.5	3221.5
3		-4.73	114.3	344.6	104.8	325.3	286.3	3437.0
4		-5.16	113.8	458.4	101.4	426.6	387.6	3540.4
5		-5.59	113.3	571.6	98.0	524.6	485.6	3599.2
6		-6.03	112.8	684.4	94.8	619.4	580.4	3635.5
7		-6.46	112.3	796.7	91.6	711.0	672.0	3659.2
8		-6.90	111.7	908.4	88.6	799.6	760.6	3674.9
9		-7.33	111.2	1019.6	85.7	885.3	846.3	3685.3
10		-7.76	110.7	1130.3	82.8	968.1	929.1	3692.2
11		-8.20	110.2	1240.4	80.1	1048.2	1009.2	3696.3
12		-8.63	109.6	1350.1	77.4	1125.6	1086.6	3698.6
13		-9.07	109.1	1459.2	74.9	1200.5	1161.5	3699.3
14		-9.50	108.6	1567.8	72.4	1272.9	1233.9	3698.9
15		-9.93	108.1	1675.9	70.0	1342.8	1303.8	3697.6
16		-10.37	107.6	1783.4	67.6	1410.5	1371.5	3695.6

4.10.2. Período óptimo de renovación en función del volumen acumulado

Tabla 60 Cálculo del período óptimo de renovación con el modelo en función del volumen acumulado

Año	Costos iniciales (€)	Volumen promedio consumido esperado acumulado (m3)	Error (%)	Volumen registrado por año (m3)	Volumen registrado acumulado (m3)	Valor actual de los ingresos por agua registrada (€)	Valor actual de los ingresos acumulados por agua registrada (€)	VAN total de los ingresos (€)	VANC (€)
1	-39	120	-3.88	115.4	115.4	112.1	112.1	73.1	2556.8
2		240	-4.19	114.6	229.9	108.1	220.2	181.2	3216.9
3		360	-4.43	114.1	344.1	104.6	324.8	285.8	3431.4
4		480	-4.63	113.7	457.8	101.3	426.1	387.1	3535.4
5		600	-4.81	113.4	571.1	98.1	524.1	485.1	3595.6
6		720	-4.97	113.1	684.2	95.0	619.2	580.2	3634.1
7		840	-5.12	112.8	797.0	92.1	711.2	672.2	3660.4
8		960	-5.26	112.5	909.5	89.2	800.5	761.5	3679.0
9		1080	-5.39	112.3	1021.8	86.5	887.0	848.0	3692.7
10		1200	-5.51	112.1	1133.9	83.9	970.8	931.8	3703.0
11		1320	-5.63	111.9	1245.7	81.3	1052.2	1013.2	3710.8
12		1440	-5.74	111.6	1357.4	78.8	1131.0	1092.0	3716.9
13		1560	-5.84	111.5	1468.8	76.5	1207.5	1168.5	3721.5
14		1680	-5.95	111.3	1580.1	74.2	1281.6	1242.6	3725.1
15		1800	-6.05	111.1	1691.2	71.9	1353.5	1314.5	3727.9
16		1920	-6.14	110.9	1802.1	69.7	1423.3	1384.3	3730.0

17	2040	-6.24	110.7	1912.8	67.7	1490.9	1451.9	3731.6
18	2160	-6.33	110.6	2023.4	65.6	1556.5	1517.5	3732.8
19	2280	-6.41	110.4	2133.8	63.7	1620.2	1581.2	3733.7
20	2400	-6.50	110.3	2244.0	61.7	1681.9	1642.9	3734.2
21	2520	-6.58	110.1	2354.1	59.9	1741.8	1702.8	3734.5
22	2640	-6.66	110.0	2464.1	58.1	1799.9	1760.9	3734.7
23	2760	-6.74	109.8	2573.9	56.4	1856.3	1817.3	3734.6
24	2880	-6.82	109.7	2683.5	54.7	1911.0	1872.0	3734.4
25	3000	-6.90	109.5	2793.1	53.1	1964.1	1925.1	3734.2

4.10.3. Período óptimo de renovación en función de la edad y volumen

Tabla 61 Cálculo del período de renovación óptimo con el modelo en función de la edad y el volumen

Año	Costos iniciales (€)	Volumen promedio consumido esperado acumulado (m ³)	Error (%)	Volumen registrado por año (m ³)	Volumen registrado acumulado (m ³)	Valor actual de los ingresos por agua registrada (€)	Valor actual de los ingresos acumulados por agua registrada (€)	VAN total de los ingresos (€)	VANC (€)
1	-39	120	-3.81	115.43	115.43	112.13	112.13	73.13	2559.70
2		240	-4.15	114.60	230.04	108.15	220.28	181.28	3218.42
3		360	-4.50	113.77	343.81	104.30	324.58	285.58	3428.80
4		480	-4.84	112.94	456.75	100.58	425.16	386.16	3527.21
5		600	-5.19	112.12	568.87	96.99	522.15	483.15	3580.90
6		720	-5.53	111.29	680.16	93.52	615.67	576.67	3612.30
7		840	-5.88	110.46	790.61	90.17	705.84	666.84	3631.03
8		960	-6.22	109.63	900.24	86.94	792.78	753.78	3641.89
9		1080	-6.57	108.80	1009.04	83.82	876.59	837.59	3647.54
10		1200	-6.92	107.97	1117.01	80.80	957.39	918.39	3649.59
11		1320	-7.26	107.14	1224.15	77.89	1035.28	996.28	3649.06
12		1440	-7.61	106.31	1330.46	75.08	1110.36	1071.36	3646.62
13		1560	-7.95	105.48	1435.95	72.36	1182.72	1143.72	3642.75
14		1680	-8.30	104.65	1540.60	69.74	1252.47	1213.47	3637.78
15		1800	-8.64	103.82	1644.42	67.21	1319.68	1280.68	3631.96

Resumen:

	Período de renovación óptimo (años)	Volumen máximo (m ³)
En función de la edad:	13	1459.19
En función del volumen acumulado:	22	2464.06
En función de la edad y el volumen acumulado:	10	1117.01

Para las condiciones de este problema en particular, se tomaría como período de renovación 13 años o en su defecto cuando el contador tenga registrado 2464 m³. En el apartado de conclusiones se dan las razones principales de esta decisión.

CONCLUSIONES

El presente trabajo de fin de máster explica el método a seguir para la determinación del período óptimo de renovación de contadores de agua domésticos. Para esto, se ha analizado una muestra de contadores tomada en campo y se han ensayado en el laboratorio del Instituto Tecnológico del Agua (ITA), con el fin de determinar la curva de error del modelo de contador seleccionado. El patrón de consumo usado, es el del abastecimiento correspondiente a la empresa FACSA, Castellón-España. Con estos dos parámetros se encuentra la degradación del error ponderado del modelo de contador de estudio mediante el uso del Software Woltmann.

La precisión en la determinación del patrón de consumo de los usuarios es de mucha importancia en este tipo de estudio, así también la determinación de la curva de error del contador considerado especialmente a caudales bajos. El costo que implica conocer el error de medición, sería una inversión para mantener el parque de contadores en buen estado de manera que se eviten perjuicios económicos y ambientales.

En el presente trabajo, un 84% de la muestra de contadores ensayada, tiene un volumen acumulado por debajo de los 1500 m³. De esto se puede explicar la diferencia entre los períodos de renovación óptimos encontrados en los tres modelos matemáticos ajustados de la degradación del error ponderado. Así también, se encuentran contadores con altos consumos en contadores de corta edad que hace presumir no corresponden a un usuario doméstico.

Siendo así, es recomendable elegir una muestra más homogénea y un mayor número de contadores para ensayo de manera que se puedan tener resultados más precisos. En este sentido, sería conveniente definir un método de toma de la muestra en el campo y un número mínimo de contadores por edad o volumen acumulado, mediante el diseño de encuestas para determinar si los contadores corresponden a un usuario doméstico en condiciones normales.

Sin embargo, con el modelo en función de la edad ajustado en este trabajo, se puede obtener un período de renovación aproximado. Por otro lado, si se desea conocer el volumen máximo registrado sobre el cual un contador debe ser reemplazado, se puede utilizar el modelo en función del volumen, teniendo en cuenta la limitación en la predicción para volúmenes acumulados por encima de los 1500 m³.

El modelo matemático de degradación del error ponderado en función de la edad y en función del volumen acumulado, necesitaría de una muestra más homogénea para obtener resultados más fiables, sin embargo, la ecuación a ajustar puede ser de la misma forma que aquí se ha presentado, debiendo ajustarse los coeficientes de ajuste para cada modelo de contador utilizado en el abastecimiento. Cabe señalar que la degradación del error ponderado encontrada, es únicamente válida para este modelo de contador, no siendo extrapolable para un modelo distinto u otro patrón de consumo, de ahí la importancia de la determinación de la curva de error como la del patrón de consumo se deban obtener para cada modelo y abastecimiento particular.

Así también, no se puede asumir directamente una degradación lineal del error ponderado para todos los casos.

En cuanto al análisis económico se puede destacar:

- Costos iniciales mayores (generalmente asociados a una mejor calidad) permiten tiempos de renovación mayores.
- A mayor tasa de actualización mayor tiempo renovación.
- Ritmos de deterioro de la degradación del error ponderado altos exigen períodos de renovación más cortos.
- A mayor precio del contador menor será el tiempo de renovación.
- En cualquier caso, el factor determinante es el precio del agua, puesto que al aumentar el precio, mayores serán las pérdidas por el agua no registrada.

Para finalizar, aunque en muchas ocasiones los criterios de renovación se limitan por ley, al cambio de contadores, únicamente cuando están totalmente parados o según un número determinado de años en servicio, estudios como el presente podrían ser de utilidad para revisar dichas leyes existentes.

Así también podrían ser usados por los fabricantes de manera que puedan realizar mejoras en sus diseños o comparaciones de rendimiento puesto que es usual que un modelo cambie los materiales usados en su construcción.

BIBLIOGRAFIA

- AEAS-AGA. *¿Qué Precio Pagan Los Usuarios Del Servicio Del Ciclo Integral Del Agua En España?*. <<http://www.iagua.es/noticias/espana/aeas/14/10/29/deficit-inversion-provoca-deterioro-infraestructuras-agua>> [Consulta:15-05-2015].
- Allender H., (1996). "Determining the Economical Optimum Life of Residential Water Meters". *Water Engineering & Management*, vol. 143, no. 9, pp. 20-24.
- American Water Works Association. (1999). *Water Meters-Selection, Installation, Testing and Maintenance*.
- 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, 1998, Vol.5, Núm.4*.
- Arregui, F. J. (2002). "Cálculo De Las Incertidumbres En La Estimación Del Error Del Parque De Contadores." Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia.
- Arregui, F. J., Cabrera, E., Cobacho, R., García-Serra, J. (2005) *Key Factors Affecting Water Meter Accuracy*. Leakage 2005. International Water Association (IWA). Halifax, Canada.
- Arregui, Cabrera, E., Cobacho, R. , Garcia-Serra, J., (2006 a). "Reducing Apparent Losses Caused by Meters Inaccuracies". *Water Practice & Technology*, vol. 1, no. 04.
- Arregui, F. J., Cabrera, J. E., Cobacho, R. (2006 b). *Integrated Water Meter Management*. IWA Publishing, London.
- Arregui, Martinez, B., Soriano, J. , Parra, J. C., (2009). "Tools for Improving Decision Making in Water Meter Management". *Water Loss 2009*.
- Arregui, F. J., Cobacho, R., Cabrera, E. J., Espert, V., (2011). "Graphical Method to Calculate the Optimum Replacement Arregui, F. J., Cabrera, E., Cobacho, R., García-Serra, J. (2005) *Key Factors Affecting Water Meter Accuracy*. Leakage 2005. International Water Association (IWA). Halifax, Canada.
- Arregui, F. J., Gavara, F. J., Soriano, J., Cobacho, R. (2014) *"Analysis of Domestic Water Meters Field Performance"*. International Association of Waterworks in the Danube Catchment Area WATER LOSS Vienna, Austria.
- AWWA. (2002) *AWWA Standard: Cold-Water Meters Displacement Type, Bronze Main Case, Denv. Col.* Denver, Colo: AWWA.
- Barfuss, S. L. et al. (2011). *Accuracy of in-Service Water Meters at Low and High Flow Rates*. Water Research Foundation.
- Barfuss, S. L., Johnson, M. C., Neilsen, M. A. (2011). *Accuracy of in-Service Water Meters at Low and High Flow Rates*. Water Research Foundation.

-
- Beal, C., Stewart, R. A., Huang, A., (2010). "South East Queensland Residential End use Study: Baseline Results-Winter 2010". Griffith University and Smart Water Research Centre.
- Bierman Jr, H. & Smidt, S. (2012). *The Capital Budgeting Decision: Economic Analysis of Investment Projects*. Routledge.
- Blokker, Vreeburg, J., Van Dijk, J., (2009). "Simulating Residential Water Demand with a Stochastic End-use Model". *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 136, no. 1, pp. 19-26.
- Bowen, P. T. (1993). *Residential Water use Patterns*. Foundation and American Water Works Association.
- Cabrera Marcet, E., Espert, V., (2004). "El Problema De Las Pérdidas De Agua En Redes Urbanas.". Instituto Tecnológico del Agua (ITA) Valencia, España.
- Cabrera Marcet, E., Cabrera Rochera, E. (2009) *Balances hídricos en redes de agua. El criterio de la International Water Association (IWA)*. Valencia, España: Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia.
- Cobacho, R., Arregui, F., Cabrera, E., Cabrera, E. J., (2008). "Private Water Storage Tanks: Evaluating their Inefficiencies". *Water Practice and Technology*, vol. 3, no. 1 Water Resources Abstracts.
- DeOreo, W. B., Heaney, J. P., Mayer, P. W., (1996). "Flow Trace Analysis to Assess Water use: Analyzing Flow Traces from Residential Water Meters Enabled Researchers to Collect Precise Data about Water use by Individual Fixtures". *Journal / American Water Works Association*, vol. 88, no. 1, pp. 79-90 SCOPUS.
- Hill, C., Davis, S. (2005) *Economics of Domestic Residential Water Meter Replacement Based on Cumulative Volume*.
- ISO 4064-3. (1993) *Measurement of water flow in closed conduits -meters for cold potable water. Part 3: Test methods and equipment*. Geneva: International Organization for Standardization.
- IWA. (2006). *Performance Indicators for Water Supply Services*. . ALEGRE, Helena; and International Water Association eds., London: IWA Publishing, cop. 2006.
- Male, J. W., Noss, R. R., Moore, I. C., (1985). "Identifying and Reducing Losses in Water Distribution Systems". *Noyes Publications, Park Ridge New Jersey.1985.156*.
- Martinez Cobo, A. (2014) *Determinación del error de medida de contadores de pequeño calibre en abastecimientos de agua de la Costa Mediterránea y cálculo de su frecuencia óptima de renovación*. Trabajo de Fin de Máster. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Mayer, P. W., et al. (1999). *Residential End Uses of Water*. AWWA Research Foundation and American Water Works Association Denver, CO.
-

- Mukheibir, P., Stewart, R., Giurco, D., O'Halloran, K., (2012). "Non-Registration in Domestic Water Meters". *Water Journal*. Vol 39(8), pp 95-100.
- Neilsen, M.A., Barfuss, S.L., Johnson, M.C., (2011). "Off-the-Shelf Accuracies of Residential Water Meters (PDF)". *Journal-American Water Works Association*, vol. 103, no. 9, pp. 48-55.
- OIML (2000). *Water meters intended for the metering of cold potable water. Part 1: Metrological and technical requirements. R49 1-2000*. International Organization of legal metrology.
- Richards, G.L., Johnson, M.C., Barfuss, S.L., (2010). "Apparent Losses Caused by Water Meter Inaccuracies at Ultralow Flows (PDF)". *Journal-American Water Works Association*, vol. 102, no. 5, pp. 123-132.
- Rizzo, A., Cilia, J. (2005) *Quantifying Meter Under-Registration Caused by the Ball Valves of Roof Tanks (for Indirect Plumbing Systems)*. Leakage 2005. Halifax, Canada.
- Valera Talavera, O. (2014) *Análisis experimental y estadístico de la fiabilidad de contadores de agua de pequeño calibre en abastecimientos de la costa mediterránea. Optimización del mantenimiento y criterios de renovación del parque de contadores*. Trabajo de Fin de Máster. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Willis, R. M., et al, (2011). "Revealing the Impact of Socio-Demographic Factors and Efficient Devices on End use Water Consumption: Case of Gold Coast, Australia".
- Yee, M. D., (1999a). "Economic Analysis for Replacing Residential Meters". *Journal-American Water Works Association*, vol. 91, no. 7, pp. 72-77.
- Yee, M. D., (1999b). "Economic Analysis for Replacing Residential Meters". *Journal-American Water Works Association*, vol. 91, no. 7, pp. 72-77.

ANEXOS

I. Errores de medición determinados en cada contador

Error de medición a cada caudal (%)

Fila	Número de serie	15 l/h	30 l/h	60 l/h	120 l/h	750 l/h	1500 l/h	3000 l/h	Volumen (m ³)	Edad (años)	Error (%)
1	Q13EA025834X	-9.17	1.81	2.51	2.59	1.91	1.97	1.27	112.26	1	-2.39
2	Q13EA025699I	-7.16	1.11	1.20	1.09	0.86	0.88	0.20	180.78	1	-3.39
3	Q12EA012343J	-7.76	1.61	2.20	1.89	1.04	1.00	0.35	282.30	2	-3.06
4	Q13EA025476V	-14.82	-0.40	0.70	1.99	1.61	1.35	0.29	178.99	1	-3.13
5	Q13EA011474V	-13.31	1.61	3.71	1.99	1.11	0.90	0.76	26.03	1	-3.27
6	Q11EA005001O	-8.27	2.11	2.31	2.59	0.89	1.08	0.32	88.62	3	-2.94
7	Q13EA025830T	-7.76	2.11	2.81	3.78	1.07	1.43	-0.33	110.65	1	-2.43
8	Q12EA012410D	-11.79	2.11	1.30	2.49	0.63	0.73	-0.50	285.46	2	-3.35
9	Q13EA025699F	-8.27	2.62	1.81	2.59	1.40	1.99	0.97	81.87	1	-2.61
10	Q10EA016722O	-14.01	0.60	1.81	2.59	0.90	1.07	-7.46	219.93	4	-3.28
11	Q11EA028263E	-99.50	-26.49	-6.63	-1.20	1.03	0.63	-4.98	274.91	3	-6.77
12	Q13EA025689G	-7.16	2.72	1.41	1.30	1.31	1.22	0.56	185.46	1	-3.03
13	Q14EA015048J	-11.71	1.51	1.61	1.80	1.73	1.42	0.68	4.22	0	-2.92
14	Q12EA010602B	-99.80	0.70	1.41	1.30	0.23	-0.11	-0.82	201.37	2	-5.78
15	Q13EA025826X	-6.66	2.72	1.41	0.30	1.15	0.83	0.15	115.56	1	-3.41
16	Q13EA025730Q	-4.34	5.20	3.41	2.90	1.13	1.08	0.58	61.09	1	-2.41
17	Q13EA025454P	-8.63	1.41	1.91	2.15	2.07	1.94	1.13	55.27	1	-2.43
18	Q13EA025843Y	-14.69	-0.10	-0.10	-9.99	0.13	0.08	-0.83	223.84	1	-4.63
19	Q13EA039410Y	-6.61	5.45	3.16	1.90	1.20	0.98	0.60	18.50	1	-2.81
20	Q13EA025695E	-11.16	1.41	1.41	1.35	1.16	1.11	0.55	211.71	1	-3.36
21	Q13EA025831U	-8.59	1.92	0.86	1.51	1.20	1.01	0.65	114.92	1	-3.15
22	Q12EA012402D	-7.58	1.92	1.87	1.26	0.68	0.18	-0.15	340.53	2	-3.48
23	Q13EA017776H	-7.58	3.43	2.37	1.76	0.45	0.23	0.00	116.10	1	-3.41
24	Q13EA025837A	-10.10	2.93	2.12	2.02	0.67	0.48	0.08	337.28	1	-3.36
25	Q12EA012401C	-6.31	2.93	1.87	1.51	1.28	0.98	0.78	154.52	2	-2.94
26	Q12EA012342I	-10.24	2.22	1.30	1.64	1.40	1.33	1.00	248.14	2	-3.07
27	Q10EA016133Z	-28.39	-3.83	-0.20	0.15	-1.63	-1.88	-2.39	1905.05	4	-6.09
28	Q13EA025818X	-16.79	1.21	1.81	0.90	0.66	0.33	-0.55	66.80	1	-4.02
29	Q10EA014795X	-99.50	-1.06	1.55	1.64	0.63	0.60	0.25	18.83	4	-5.45
30	Q13EA025841W	-11.25	1.71	3.31	2.64	1.51	1.10	0.27	243.86	1	-2.74
31	Q13EA025693C	-21.33	-1.66	0.15	1.35	0.95	0.80	0.12	133.72	1	-3.93
32	Q13EA025829A	-8.72	2.36	1.15	1.35	0.45	0.42	0.00	374.56	1	-3.64
33	Q11EA028291I	-15.28	-0.40	1.41	1.85	2.11	1.82	0.97	295.50	3	-2.87
34	Q11EA028971Z	-15.28	-0.15	1.41	1.10	0.61	0.36	-4.97	341.64	3	-3.98
35	Q12EA012356O	-99.75	-17.76	-1.86	1.10	1.71	1.77	1.46	394.26	2	-5.37
36	Q13EA025703N	-13.31	-2.32	-0.60	1.30	1.00	0.90	0.07	185.62	1	-3.71
37	Q13EA025692B	-10.03	0.70	-0.60	0.30	0.85	0.51	0.19	124.71	1	-3.87
38	Q13EA025698H	-9.27	0.20	0.40	1.30	0.55	0.53	-0.15	107.49	1	-3.68
39	Q12EA010499U	-3.98	2.47	1.91	1.55	0.94	0.81	0.14	8.08	2	-2.99

40	Q10EA003339U	-8.52	3.47	2.91	1.30	-0.35	-0.95	-1.72	153.46	4	-4.09
41	Q13EA025480R	-5.90	4.98	3.47	2.40	2.13	1.84	1.21	59.63	1	-2.07
42	Q10EA014919R	-20.79	0.70	1.46	2.40	0.93	0.58	-0.25	178.89	4	-3.56
43	Q13EA025606N	-5.65	3.73	2.46	1.40	1.03	1.10	0.77	85.13	1	-3.03
44	Q13EA017770B	-6.66	2.22	1.96	1.40	0.40	0.35	-0.20	17.98	1	-3.52
45	Q11EA028264F	-24.82	-2.06	0.70	1.40	1.05	0.88	0.32	472.45	3	-3.95
46	Q13EA025828Z	-13.31	-0.40	0.30	1.59	1.13	0.85	0.10	142.49	1	-3.50
47	Q12EA012354M	-99.50	-22.03	-3.71	-1.39	0.78	0.60	-0.12	312.18	2	-6.81
48	Q12EA012355N	-8.77	2.87	1.55	1.59	1.18	1.20	0.80	149.67	2	-3.11
49	Q12EA012408J	-31.96	0.60	1.81	1.59	1.17	0.76	0.41	186.82	2	-3.95
50	Q12EA012344K	-99.24	-6.19	-0.45	1.34	1.20	1.64	0.85	351.17	2	-5.31
51	Q12EA01245L	-98.99	-11.42	-2.16	0.55	0.92	0.83	0.12	286.74	2	-5.89
52	Q11EA028257G	-12.00	1.91	2.36	1.80	1.86	1.53	0.95	49.84	3	-2.83
53	Q13EA025839C	-11.25	0.40	1.10	1.55	0.89	0.75	-3.73	129.81	1	-3.50
54	Q11EA004342C	-12.76	0.91	0.90	1.00	0.08	-0.11	-0.45	164.90	3	-4.22
55	5405120	-15.28	1.66	1.35	0.80	-2.51	-1.03	-1.42	626.79	5	-4.47
56	Q10EA016986K	1.36	3.12	-0.70	-2.29	2.36	2.03	1.82	24.42	4	-2.99
57	Q13EA025838B	-5.70	4.12	2.81	2.69	0.75	0.43	-0.15	252.17	1	-2.83
58	Q13EA025609Q	-7.21	4.63	2.31	1.20	0.73	0.48	-9.95	144.35	1	-3.37
59	Q13EA025685C	-12.76	2.11	1.30	1.20	1.20	0.73	-0.20	177.41	1	-3.48
60	Q13EA025821S	-13.51	0.10	0.80	1.69	1.64	1.51	0.92	210.91	1	-3.14
61	Q12EA012349P	-15.07	-0.81	0.60	0.75	0.74	0.63	0.10	411.84	2	-4.02
62	Q11EA004861U	-18.60	-1.06	1.35	1.25	1.13	0.90	0.22	30.17	3	-3.74
63	Q13EA025578A	-13.81	-0.81	0.85	0.75	0.50	0.60	-2.49	50.80	1	-4.11
64	Q11EA004131T	-16.33	-1.81	-1.66	3.24	0.73	0.80	0.00	103.04	3	-3.39
65	Q13EA025478X	-10.03	1.46	1.10	1.75	1.95	1.56	0.76	75.59	1	-2.73
66	Q14EA037309D	-8.27	0.10	2.31	1.40	1.04	0.98	0.49	6.52	0	-3.26
67	Q13EA025633Q	-8.27	0.86	1.55	1.40	1.57	1.35	0.55	144.81	1	-2.95
68	Q10EA016886H	-16.33	-0.15	1.81	2.14	1.89	1.78	1.49	165.38	4	-2.92
69	Q11EA002128Q	-45.06	-8.20	-0.20	1.15	1.14	0.96	0.60	781.31	3	-4.61
70	Q13EA011611P	-7.01	2.11	1.30	0.15	-0.30	-0.41	-1.04	12.31	1	-4.35
71	Q10EA016889K	-10.74	1.21	1.35	1.30	1.35	1.38	1.16	197.26	4	-3.23
72	Q11EA004859A	-8.98	0.45	1.86	2.30	1.20	1.18	0.77	42.69	3	-2.94
73	Q11EA029065E	-13.26	0.70	0.10	0.30	-0.64	-1.15	-2.19	276.00	3	-4.93
74	Q12EA012403E	-12.00	0.96	1.35	0.30	0.51	0.11	-0.57	182.17	2	-4.13
75	Q12EA012404F	-3.68	3.47	2.11	2.79	2.73	2.73	2.54	231.19	2	-1.50
76	Q11EA028655Q	-8.77	2.16	2.31	2.64	2.06	1.90	1.26	54.58	3	-2.28
77	Q12EA010601A	-100.00	-24.51	-0.20	-1.84	0.90	0.38	-6.22	298.31	2	-6.86
78	Q13EA025607O	-14.06	-1.11	0.05	0.65	0.31	0.30	-0.22	169.06	1	-4.29
79	Q13EA025475U	-13.31	0.65	1.55	2.14	1.74	1.45	0.62	165.52	1	-2.92
80	Q11EA027848T	-10.79	0.15	0.80	2.14	1.91	2.03	1.44	86.86	3	-2.68
81	Q13EA025697G	-9.73	1.96	1.81	1.30	0.59	0.38	-0.15	128.42	1	-3.63
82	Q13EA025700K	-15.03	0.20	0.05	0.55	0.73	0.69	0.16	211.03	1	-4.07
83	Q13EA025482T	-6.96	0.96	1.05	1.55	1.87	1.55	0.69	200.52	1	-2.67
84	Q13EA025840V	-4.69	3.22	2.31	1.55	1.08	0.78	0.43	40.45	1	-2.93
85	Q13EA025842X	-10.99	0.96	1.05	0.80	0.30	0.09	-0.52	131.72	1	-4.05
86	Q13EA043069M	-8.27	2.47	2.31	2.19	2.02	1.85	1.27	14.27	1	-2.40
87	Q11EA004326C	-12.80	-0.86	0.60	0.90	1.20	1.12	0.60	233.04	3	-3.62

88	Q12EA012350I	-11.79	1.16	1.30	1.20	0.73	0.80	0.65	380.22	2	-3.69
89	Q13EA025844Z	-9.98	-0.15	0.30	0.20	0.82	0.67	-2.49	201.24	1	-3.90
90	Q13EA025686D	-12.30	0.65	-0.20	1.20	1.51	1.42	0.55	164.13	1	-3.31
91	Q12EA012358Q	-99.50	-22.46	-3.21	-0.20	1.23	1.29	0.70	588.74	2	-6.17
92	Q13EA025702M	-8.98	0.96	0.30	0.80	0.85	0.74	-3.74	26.31	1	-3.62
93	Q12EA012409K	-100.00	0.20	0.80	1.55	0.59	0.18	-0.57	161.01	2	-5.52
94	Q13EA025630N	-10.99	1.46	1.81	2.30	1.71	1.58	1.18	131.96	1	-2.73
95	Q11EA004640J	-15.78	0.45	0.30	1.30	1.93	1.81	1.39	171.36	3	-3.15
96	Q13EA018030C	-10.24	0.91	0.95	1.05	0.48	0.27	-0.37	138.50	1	-3.83
97	Q13EA025688F	-8.52	1.61	1.75	1.84	1.19	0.97	0.20	84.80	1	-3.05
98	Q13EA025473S	-11.75	0.60	0.75	0.55	0.55	0.70	0.32	93.69	1	-4.01
99	Q13EA025525N	-21.84	-0.91	0.55	0.75	1.15	1.05	0.20	132.82	1	-3.98
100	Q13EA025470P	-19.82	-0.91	0.25	1.84	0.85	0.68	-2.49	206.06	1	-3.79
101	Q12EA010437G	-5.19	4.18	4.81	2.19	1.20	0.59	-0.59	1.26	2	-2.65
102	Q13EA025528Q	-26.07	-3.37	-0.50	0.70	0.35	0.33	-0.57	175.98	1	-4.65
103	Q13EA025532M	-18.81	-5.89	-0.70	0.70	0.43	0.38	-0.45	249.15	1	-4.46
104	Q13EA017562V	-9.93	1.86	1.81	1.20	1.28	1.13	0.40	78.19	1	-3.25
105	Q11EA028782W	-17.30	0.65	2.11	1.89	1.10	0.63	-0.12	40.30	3	-3.50
106	Q13EA025620L	-7.01	2.62	2.20	1.99	1.57	1.59	1.02	43.39	1	-2.64
107	Q12EA010508E	-6.45	0.80	1.20	1.49	0.76	0.55	-9.93	133.02	2	-3.32
108	Q13EA025691A	-9.78	0.60	0.70	1.49	1.35	1.30	0.52	214.12	1	-3.16
109	Q13EA025529R	-8.27	1.11	1.20	1.24	1.03	1.02	0.52	128.71	1	-3.31
110	Q13EA025536Q	-26.06	0.10	1.20	1.49	0.83	0.66	-1.24	218.41	1	-4.04
111	Q13EA025526O	-25.11	-2.37	1.81	1.59	1.51	1.16	0.40	151.12	1	-3.62
112	Q12EA010510Y	-3.68	0.15	1.30	0.60	0.15	-0.82	-1.19	282.27	2	-3.84
113	Q13EA025690Z	-7.46	0.15	1.30	1.34	1.62	1.46	0.65	95.31	1	-2.91
114	Q13EA025816V	1.87	0.65	0.80	0.60	-1.83	0.83	0.92	114.15	1	-4.45
115	Q11EA028295M	-17.30	-1.36	0.30	0.60	1.57	1.88	1.64	551.00	3	-3.62
116	Q13EA025704O	-6.71	1.61	1.41	1.30	1.63	1.48	0.70	78.34	1	-2.84
117	Q13EA025820R	-9.73	-0.60	0.10	0.30	0.99	0.86	0.29	176.54	1	-3.76
118	Q13EA025477W	-7.21	2.11	1.91	1.30	1.81	1.50	0.82	102.45	1	-2.75
119	Q13EA025687E	-99.80	-17.00	-2.11	0.30	1.41	1.19	0.65	18.10	1	-5.80
120	Q13EA025827Y	-7.72	1.61	-0.60	0.30	0.85	0.67	0.10	236.53	1	-3.71
121	Q13EA025817W	-11.04	1.71	1.30	1.54	0.93	0.89	0.47	96.94	1	-3.43
122	Q13EA025631O	-7.21	2.22	1.30	1.05	1.00	0.79	0.24	232.42	1	-3.32
123	Q12EA010502Y	-13.51	1.96	1.30	1.05	0.43	-0.17	-0.65	318.51	2	-4.04
124	Q13EA025825W	-9.73	2.72	1.81	1.05	0.24	0.18	-0.57	224.43	1	-3.89
125	Q13EA025835Y	-5.19	5.24	3.31	2.54	1.15	1.20	0.83	155.25	1	-2.55
126	Q12EA010501X	-10.19	1.26	1.41	0.85	0.68	0.60	0.10	176.12	2	-3.74
127	Q13EA025533N	-12.21	0.76	1.41	1.35	1.26	1.30	0.87	102.61	1	-3.36
128	Q12EA010604D	-7.16	1.76	1.41	0.85	0.68	0.18	-0.57	178.33	2	-3.59
129	Q13EA025632P	-10.19	1.76	1.41	1.85	1.26	0.90	0.37	197.03	1	-3.11
130	Q12EA010509F	-100.00	-15.87	-3.61	0.85	1.67	1.65	0.67	262.06	2	-5.48
131	Q13EA020710S	-8.25	4.85	3.55	3.03	1.76	1.37	0.25	3.12	1	-2.25
132	Q13EA025643S	-7.76	2.11	1.81	1.10	0.78	0.60	-2.48	81.96	1	-3.45
133	Q13EA025527P	-11.79	2.62	1.81	1.34	0.26	-5.01	-0.27	130.36	1	-3.92
134	Q13EA025642R	-11.29	2.62	2.06	1.34	-0.43	-0.88	-1.61	38.95	1	-4.31
135	Q13EA025644T	-9.27	1.61	2.31	1.10	0.75	0.60	0.00	175.55	1	-3.55

Anexos

136	Q13EA025479Y	-10.28	1.86	1.55	1.10	1.41	1.13	0.60	116.23	1	-3.23
137	Q13EA017937G	-3.32	3.92	5.50	3.43	2.47	2.40	1.94	5.64	1	-1.36
138	Q13EA025619S	-13.39	-1.61	2.25	0.98	1.04	1.00	0.20	166.35	1	-3.70
139	Q13EA025538S	-6.50	2.66	4.50	2.45	0.85	0.77	0.31	154.76	1	-2.86
140	5405398	-30.51	-2.61	1.50	0.98	-0.60	-0.95	-1.49	1791.32	5	-5.22
141	Q13EA025641Q	-6.85	4.92	4.50	1.96	0.15	-0.45	-1.27	116.47	1	-3.44
142	Q10EA016730O	-21.88	-2.41	-0.30	-0.30	-0.38	-0.78	-1.02	1462.60	4	-5.27
143	5433550	-17.34	-0.91	0.20	-0.30	0.43	0.40	0.05	600.49	5	-4.59
144	Q13EA025640P	-13.31	1.61	1.95	1.69	1.49	1.38	0.83	71.41	1	-3.16
145	Q10EA003036I	-99.75	-38.13	-8.57	-3.54	-1.27	-1.58	-2.37	2127.91	4	-9.13
146	5404971	-15.83	0.60	0.20	-0.55	-1.82	-2.13	-2.71	776.68	5	-5.96
147	Q10EA016293O	-100.00	-17.51	-4.31	-1.09	-0.98	-1.30	-1.86	2543.98	4	-7.71
148	Q10EA003243N	-17.84	-1.91	-1.80	-2.09	-1.63	-1.75	-2.53	921.45	4	-6.44
149	5433835	-99.50	-40.64	-6.81	-1.59	-0.70	-0.13	-9.94	2485.23	5	-8.17
150	5405141	-27.42	0.35	0.70	0.40	-1.83	-2.43	-3.48	670.97	5	-6.03
151	Q10EA016150A	-99.75	-18.51	0.20	-2.58	-1.03	-0.83	-0.97	2042.53	4	-8.06
152	Q10EA016911R	-51.95	-10.04	-1.09	-0.74	0.48	0.62	0.27	598.89	4	-5.75
153	Q10EA016132Y	-21.42	-3.58	-1.58	-2.21	-1.12	-1.05	-1.12	1525.67	4	-6.29
154	5433383	-13.66	-1.59	-0.35	-1.23	-0.29	-0.55	-0.93	651.10	5	-5.23
155	Q11EA004771T	-23.92	-3.58	-0.35	-1.23	-1.09	-1.16	0.93	5152.09	3	-6.03
156	Q10EA002789M	-97.75	-6.31	-1.58	-0.49	0.23	0.22	-0.12	381.33	4	-6.48
157	5433407	-100.00	-100.00	-100.00	-94.01	-25.35	-0.60	-1.04	4469.97	5	-54.75
158	Q10EA003336R	-15.76	-1.57	1.66	1.55	-1.28	-7.50	-1.27	675.27	4	-4.93
159	5405323	-24.18	-2.07	1.91	2.54	1.24	0.67	-0.40	805.21	5	-3.48
160	5405296	-16.25	-2.07	2.41	0.05	-0.19	-0.25	-0.55	943.54	5	-4.80
161	5405134	-43.01	-7.73	2.41	0.30	-1.68	-2.35	-3.18	607.88	5	-6.48
162	Q11EA004373J	-17.42	-1.29	0.00	0.78	0.05	0.17	-0.20	2414.52	3	-4.51
163	Q11EA000408N	-12.39	-0.30	1.48	1.76	2.06	2.02	1.07	651.90	3	-2.79
164	Q11EA002274Z	-51.41	-7.24	-1.97	0.78	-0.15	0.25	-0.71	1951.51	3	-5.62
165	Q10EA016142A	-94.21	-14.19	-2.71	-0.93	-1.07	-1.39	-1.80	1651.91	4	-7.56
166	Q10EA016145D	-98.49	-98.02	-95.57	-27.59	1.88	1.92	0.87	880.00	4	-17.52
167	Q10EA003328R	-21.88	-0.50	0.20	0.10	-0.65	-0.98	-2.36	433.97	4	-5.26
168	Q10EA003340N	-11.79	-0.22	1.18	1.57	1.55	1.35	-0.12	18.40	4	-3.13
169	Q10EA016428L	-37.50	-5.94	0.20	0.10	1.20	1.13	0.21	1142.89	4	-4.65
170	Q10EA016420D	-42.54	-3.96	-0.79	-0.39	-0.10	-0.63	-1.46	352.23	4	-5.71
171	Q11EA004995H	-97.98	-19.31	-4.24	-1.86	-0.23	-0.57	-1.45	2478.51	3	-7.51
172	Q10EA002957K	-24.27	-2.41	-0.46	0.34	-0.23	-0.66	-1.59	361.60	4	-5.06
173	Q10EA016380M	-20.95	0.86	0.49	0.34	0.10	-0.63	-0.72	1359.21	4	-4.71
174	Q11EA028961X	-16.92	-2.41	-0.49	-0.15	0.73	0.51	-7.47	996.29	3	-4.41
175	5405380	-99.80	-25.05	-0.99	0.34	-0.63	-1.24	-2.06	2262.48	5	-7.17
176	Q10EA016721N	-99.50	-9.96	-1.67	-0.93	-0.19	-0.38	-1.14	4171.20	4	-6.96
177	Q11EA001852H	-31.45	-5.39	0.70	0.50	1.41	1.50	0.65	718.37	3	-4.22
178	Q13EA017547W	-35.99	-7.40	-0.80	-0.50	-0.61	-0.75	-1.09	1006.03	1	-5.93
179	5404964	-13.81	1.66	1.70	1.00	-1.00	-1.44	-1.87	174.02	5	-4.91
180	5404970	-11.29	1.66	0.70	-0.50	-1.46	-1.69	-2.36	1320.79	5	-5.51
181	5405049	-15.32	-1.16	0.20	-0.22	-1.05	-1.76	-2.39	516.37	5	-5.38
182	Q10EA014998G	-35.86	-2.10	3.98	2.56	3.41	2.97	2.21	1670.84	4	-2.42

183	5405047	-30.87	-1.60	-1.00	-2.86	-3.29	-3.34	-4.83	886.99	5	-8.00
184	5405168	-24.28	-2.90	0.50	-0.89	-1.48	-1.79	-2.11	1318.59	5	-6.16
185	Q10EA015190E	-98.50	-33.07	-5.97	-2.88	0.08	0.10	-2.49	2068.77	4	-7.93
186	5433536	-82.02	-6.59	-5.97	-1.38	-0.34	-0.63	-1.04	2587.91	5	-7.04
187	Q10EA016532K	-20.28	-1.81	0.70	0.00	-0.53	-0.90	-1.43	265.37	4	-5.19
188	Q10EA003327Q	-26.14	-2.82	-0.10	0.80	0.07	-0.85	-1.33	153.21	4	-4.83
189	5405042	-19.48	-0.81	0.40	0.50	-0.61	-1.05	-1.62	708.18	5	-5.06
190	5405040	-16.55	-0.81	0.90	0.10	-1.47	-1.80	-2.44	1258.43	5	-5.59
191	Q10EA014975Z	-28.86	-5.34	-1.10	0.30	0.55	0.63	0.22	744.30	4	-4.77
192	Q13EA025422H	-10.79	0.20	0.81	0.55	0.96	0.97	0.66	146.43	1	-3.73
193	5404942	-18.35	-0.30	0.81	-0.25	-1.87	-2.17	-2.75	534.36	5	-5.98
194	5405033	-13.81	-0.81	1.01	0.25	-2.08	-2.58	-3.32	843.68	5	-5.84
195	5405041	-23.39	-0.81	0.81	-0.75	-2.00	-2.36	-2.95	1207.69	5	-6.36
196	5433467	-16.33	-1.81	0.81	-0.25	0.10	-2.50	-0.62	691.30	5	-4.75
197	Q10EA014864T	-99.50	-56.74	-11.23	-1.69	1.23	1.16	0.55	1857.61	4	-7.51
198	5404944	-20.36	1.41	2.01	1.49	-0.28	-0.59	-1.15	1296.03	5	-4.51
199	5405031	-21.37	-2.41	-1.20	-0.70	-1.37	-1.80	-1.92	1159.30	5	-5.99
200	Q11EA000291S	-100.00	-99.80	-17.75	-4.18	1.51	1.98	1.22	9172.64	3	-8.98
201	5405335	-14.31	-0.40	-0.20	-0.20	-0.92	-1.09	-1.77	781.41	5	-5.29
202	Q10EA010895K	-100.00	-100.00	-99.25	-22.31	-0.10	-6.25	-0.46	7136.06	4	-17.19
203	Q11EA001953L	-99.50	-34.54	-6.22	-0.65	1.64	1.67	1.22	4745.32	3	-6.38
204	5405333	-16.58	-2.82	-1.96	-0.15	-0.90	-1.33	-1.98	1075.19	5	-5.44
205	5404954	-40.52	-8.36	-1.20	-0.40	-1.59	-1.90	-2.61	1004.48	5	-6.64
206	Q11EA004752Q	-100.00	-58.71	-9.48	-2.64	0.51	0.55	0.48	4428.19	3	-8.23
207	Q13EA025540M	-5.65	5.99	4.67	2.24	0.60	0.76	0.15	190.48	1	-2.94
208	Q13EA025543P	-20.28	-1.81	-0.10	0.75	0.64	0.32	-0.22	127.88	1	-4.28
209	Q13EA025637U	-8.68	2.72	2.91	2.24	1.10	0.81	0.45	99.23	1	-2.95
210	Q13EA025617Q	-14.23	-1.56	0.65	0.75	0.10	0.01	-0.27	245.56	1	-4.39
211	Q13EA025534O	-14.73	0.70	0.90	1.25	0.94	0.61	0.06	141.38	1	-3.72
212	Q13EA025417K	-8.77	1.16	1.91	2.19	2.31	1.97	0.73	85.27	1	-2.30
213	Q13EA017941C	-15.32	1.16	0.90	-4.99	-0.16	-0.39	-0.91	880.12	1	-4.77
214	5433551	-100.00	-23.50	-6.63	-2.29	-1.58	-1.83	-1.27	763.53	5	-8.60
215	5405046	-18.35	0.65	1.41	1.69	0.10	-1.41	-2.54	189.63	5	-4.27
216	Q13EA025429J	-16.83	-1.11	1.15	0.70	1.91	1.75	1.01	90.30	1	-3.38
217	Q13EA025639W	-9.18	1.71	2.81	2.14	1.10	1.32	0.56	130.80	1	-3.00
218	Q12EA010503Z	-15.74	1.21	1.30	0.65	0.11	-0.11	-0.63	324.76	2	-4.40
219	Q11EA002157V	-28.36	-3.52	-1.76	-0.10	0.45	0.65	0.47	614.94	3	-4.91
220	Q10EA016843W	-100.00	-40.58	-7.22	-3.34	-2.23	-2.16	-2.45	5444.08	4	-9.65
221	Q10EA016255I	-100.00	-34.29	-5.47	-3.84	-2.21	-2.06	-2.53	6562.11	4	-9.60
222	5433710	-37.50	-15.49	-4.21	-1.89	-0.30	-0.35	-0.71	3691.79	5	-6.42
223	Q10EA003193U	-51.11	-9.46	-2.21	-1.64	-2.08	-2.05	-2.56	2591.05	4	-7.56
224	5404937	-99.50	-14.49	-2.96	-0.90	-0.61	-0.94	-1.60	3186.62	5	-7.34
225	Q11EA004137Z	-14.31	-0.65	0.55	0.60	0.48	-7.50	-0.34	422.21	3	-4.23
226	Q11EA006951D	-18.85	-1.41	0.80	0.85	0.82	0.88	0.67	480.83	3	-4.05
227	Q11EA004737R	-100.00	-95.47	-4.62	-1.70	-0.45	-0.53	-1.27	4417.76	3	-9.10
228	5405102	-24.40	-6.19	-0.35	-3.19	-0.79	-0.88	-1.29	1343.17	5	-6.49
229	Q11EA001787P	-99.50	-12.47	-4.62	-1.20	0.08	0.46	0.29	2233.07	3	-6.96

Anexos

230	5433784	-99.50	-12.98	-1.61	-1.70	-1.71	-1.68	-1.77	2007.18	5	-8.15
231	Q11EA004903N	-99.50	-42.40	-10.14	-0.45	6.11	6.15	5.70	4323.34	3	-3.89
232	5405267	0.00	7.92	9.50	11.22	9.16	8.57	7.65	1020.83	5	5.30
233	Q10EA011121B	-98.00	-14.36	-1.00	0.79	0.08	-0.22	-0.84	598.18	4	-6.36
234	5405265	-10.50	-1.98	-1.00	0.79	-0.33	-0.40	-0.67	1007.00	5	-4.50
235	5405281	-50.50	-6.44	-1.00	0.79	-1.03	-1.00	-1.32	800.90	5	-6.12
236	5405382	-38.00	-3.47	9.50	9.24	9.56	9.22	8.13	992.55	5	3.30
237	Q10EA016189P	-16.33	-2.41	-0.20	-0.60	-1.32	-1.31	-1.33	1839.48	4	-5.74
238	Q13EA011489F	-10.03	0.10	0.80	1.10	-0.11	-0.62	-1.25	52.12	1	-4.20
239	5404948	-99.50	-5.43	-0.20	0.10	-1.13	-1.38	-1.84	1254.76	5	-7.11
240	5405034	-28.18	-2.16	0.30	-0.40	-1.48	-1.85	-2.16	1367.52	5	-6.12
241	Q10EA011046	-30.19	-6.44	0.30	0.90	0.96	1.06	0.65	1336.95	4	-4.37
242	Q11EA004900K	-98.99	-45.93	-2.36	2.19	7.19	6.86	5.58	4353.31	3	-2.38
243	Q10EA011122C	-12.80	0.35	1.66	0.70	0.38	0.29	-0.26	911.60	4	-4.12
244	Q13EA039588X	-9.78	0.86	1.15	0.47	0.70	0.68	0.10	151.20	1	-3.83
245	Q13EA039595W	-9.27	2.11	2.41	1.69	1.44	1.24	0.72	60.43	1	-2.96
246	5405422	-20.87	-1.91	-0.85	-0.80	-0.97	-1.15	-1.59	1033.05	5	-5.73
247	Q13EA039601D	-9.27	1.61	2.31	2.24	1.18	1.06	0.21	181.55	1	-2.96
248	Q13EA039590R	-12.30	0.10	1.05	0.50	1.03	0.90	0.17	93.34	1	-3.79
249	Q13EA039597Y	-7.76	0.60	1.55	1.49	1.15	1.12	0.50	27.74	1	-3.14
250	Q13EA039600C	-9.02	2.62	1.81	-0.22	-0.14	-0.06	-0.67	185.70	1	-4.38
251	Q13EA039602E	-4.99	2.62	1.81	1.24	0.98	0.56	-0.37	98.86	1	-3.14
252	Q10EA016426J	-29.94	-3.32	-1.61	-0.25	-0.90	-0.85	-1.51	39.41	4	-5.81
253	Q10EA010859G	-30.44	-3.07	-0.85	-0.50	-3.76	-5.01	-0.35	690.71	4	-5.36
254	Q13EA039599A	-14.57	0.20	0.90	0.75	0.54	0.54	0.25	198.64	1	-4.09
255	Q13EA039603F	-10.28	1.71	1.41	1.25	1.05	0.98	0.12	83.34	1	-3.40
256	Q13EA039598Z	-8.27	1.71	3.16	1.00	0.28	-0.14	-0.86	80.73	1	-3.81
257	Q10EA002797M	-8.77	0.35	3.96	1.00	-0.26	-0.48	-1.49	248.76	4	-4.15
258	Q11EA002279E	-34.48	-6.44	-0.80	-0.25	0.49	0.73	0.32	1182.54	3	-5.12
259	Q13EA017572X	-14.82	0.60	1.20	1.00	-2.51	-8.75	-0.47	109.14	1	-4.36
260	Q11EA002269C	-32.96	-3.17	-0.05	-0.50	-0.23	-0.40	-0.70	2448.26	3	-5.53
261	Q10EA016084H	-91.43	-10.46	-2.81	-0.50	0.28	-0.31	0.05	379.24	4	-6.54
262	Q10EA016134A	-26.59	-4.38	-2.21	-0.80	-1.34	-1.39	-1.79	1645.52	4	-6.19
263	Q10EA002950D	-12.71	-0.35	1.05	0.70	-0.43	-0.73	-1.74	21.14	4	-4.64
264	Q11EA004707L	-33.40	-4.88	-0.70	0.20	0.39	0.48	0.02	787.09	3	-5.00
265	5405481	-18.26	-0.35	-0.20	0.20	-0.30	-0.40	-1.14	705.51	5	-4.91
266	Q10EA014999H	-21.29	-0.86	0.55	0.20	0.30	0.45	0.07	2525.33	4	-4.62
267	5405221	-19.86	-2.11	-0.10	-9.99	-0.93	-1.16	-1.85	637.07	5	-5.47
268	Q13EA025409K	-11.79	-0.91	0.20	0.90	0.90	0.91	0.34	168.64	1	-3.75
269	5405232	-21.88	-3.42	-0.80	-9.99	-1.05	-1.49	-2.19	601.63	5	-5.65
270	5405215	-34.98	-6.44	-1.30	-1.10	-1.08	-1.17	-1.86	1594.99	5	-6.36
271	5405072	-12.80	1.11	2.20	1.90	0.05	-0.37	-0.84	1581.87	5	-3.96
272	5405199	-32.16	-3.63	-2.21	-0.30	-1.53	-1.08	-2.55	1062.43	5	-6.25
273	5404994	-40.32	-1.81	1.81	1.69	-0.73	-0.55	-1.28	453.52	5	-5.28
274	5405061	-10.28	4.23	3.81	2.69	-0.34	-0.53	-1.69	1019.76	5	-3.72
275	5405056	-14.11	1.21	1.81	1.69	0.45	0.27	-0.75	1208.15	5	-3.83
276	5405490	-15.32	1.21	1.30	0.70	0.79	0.68	0.05	734.06	5	-3.96
277	Q13EA011629Z	-9.02	3.98	2.31	0.70	-0.20	-0.13	-0.77	90.05	1	-4.17

278	Q10EA003256S	-17.84	-1.81	-0.20	-0.30	-0.18	-0.48	-1.12	115.39	4	-5.02
279	Q10EA011021Y	-25.91	-5.34	-0.20	-0.30	0.03	-0.11	-0.90	2072.07	4	-5.17
280	Q11EA006907Z	-60.69	-13.90	-3.21	-2.29	-2.61	-2.80	-3.09	4650.82	3	-8.37
281	5405331	-17.84	0.70	1.81	1.69	0.28	-2.50	-0.62	1206.64	5	-4.06
282	Q11EA006914Y	-99.75	-11.22	-1.36	-0.20	0.49	0.79	0.71	2326.34	3	-6.33
283	Q10EA011029G	-97.73	-8.70	-0.35	0.30	1.08	1.00	0.52	2096.58	4	-5.76
284	Q11EA002043M	-20.87	-0.91	1.15	0.55	-7.53	-7.50	-0.60	268.76	3	-4.73
285	5433368	-16.83	-1.91	1.41	0.80	0.73	0.95	0.62	2420.70	5	-4.05
286	5405421	-22.88	-2.41	-0.10	-0.20	-0.60	-0.70	-1.38	1033.64	5	-5.38
287	5405294	-13.47	-0.15	0.75	1.20	0.69	0.78	0.56	820.35	5	-3.84
288	Q10EA002782F	-37.94	-8.70	-1.00	-0.30	-0.77	-1.90	-2.29	1009.17	4	-6.11
289	5405308	-99.50	-9.96	-0.75	-0.30	-0.77	-1.00	-1.76	1280.77	5	-7.11
290	Q10EA016962C	-17.00	3.12	5.51	4.19	5.12	4.92	4.30	1619.51	4	-0.25
291	Q11EA006913X	-100.00	-41.65	-8.27	-0.30	1.37	1.47	1.12	2441.52	3	-6.63
292	Q14EA024944H	-47.02	-9.46	-1.55	-0.85	0.85	0.79	0.36	67.68	0	-5.47
293	Q11EA004678X	-32.90	-2.92	-0.30	0.40	0.48	0.48	0.14	724.79	3	-4.83
294	Q13EA039194J	-11.20	1.11	0.70	0.90	0.60	0.40	-0.15	104.45	1	-3.86
295	Q11EA028788C	-99.75	-77.11	-12.83	-3.35	0.06	-0.45	-1.12	1923.01	3	-9.23
296	Q10EA002821V	-89.40	-20.02	-1.80	-0.85	-0.19	-0.30	-0.72	1829.27	4	-7.05
297	5405477	-21.37	-2.32	-1.28	0.77	1.03	0.72	0.02	719.93	5	-4.11
298	5405479	-34.48	-6.34	-0.70	0.70	-0.58	-1.22	-2.11	699.08	5	-5.53
299	Q11EA004633K	-27.42	-3.32	-0.70	2.19	0.25	0.55	0.01	675.49	3	-4.30
300	5433361	-99.50	-23.46	-4.71	-1.79	-1.33	-1.72	-2.16	2420.22	5	-8.26
301	5405478	-20.36	-0.30	1.05	0.95	0.38	0.07	-0.50	700.88	5	-4.33
302	5405101	-22.38	-0.91	0.45	0.15	-0.20	-1.13	-2.04	968.41	5	-5.03
303	Q11EA0000376	-100.00	-100.00	-100.00	1.90	1.05	0.75	0.72	277.35	3	-9.37
304	5405048	-34.98	-3.42	0.20	-9.99	-0.88	-1.58	-2.37	934.12	5	-5.89
305	5404996	-10.28	1.61	1.20	-9.99	-0.80	-1.45	-1.22	1306.04	5	-4.95
306	5405001	-18.35	-4.43	-0.30	0.40	0.60	0.34	-0.29	261.98	5	-4.40
307	Q10EA010814T	-27.42	-4.43	-0.20	-9.99	-0.20	-0.25	-0.79	1503.06	4	-5.27
308	Q10EA014951R	-24.70	-2.67	0.05	0.90	0.55	0.51	0.20	322.96	4	-4.41
309	5405367	-22.63	-2.16	-0.20	-1.60	-0.98	-1.37	-1.94	990.85	5	-6.03
310	5405354	-17.84	0.60	1.30	2.90	0.11	0.04	-0.80	1042.21	5	-3.80
311	Q11EA004714K	1.31	12.93	13.09	13.39	13.78	14.13	13.93	751.75	3	9.04
312	Q10EA010819Y	-99.50	-36.62	-7.13	-3.19	-0.13	0.15	-0.44	1307.28	4	-8.24
313	Q11EA001964O	-27.42	-3.92	-1.10	0.80	1.33	1.22	1.17	745.84	3	-4.10
314	Q10EA003255R	-41.53	-7.19	-2.86	-2.20	-1.43	-1.42	-1.75	976.26	4	-7.09
315	5404939	-99.50	-0.40	12.45	12.08	12.13	12.65	11.48	1879.41	5	4.83
316	5405361	-16.83	0.10	0.70	0.50	-0.05	-0.40	-0.92	953.77	5	-4.62
317	Q10EA002959M	-14.78	0.86	2.81	2.09	1.43	1.01	0.11	27.33	4	-3.14
318	Q10EA003254Q	-38.48	-7.95	-1.45	-0.40	-0.49	-0.68	-1.11	341.76	4	-5.92
319	Q10EA016172G	-23.85	-3.42	1.05	1.34	0.68	1.41	-1.06	337.74	4	-4.12
320	Q10EA002954H	-13.01	-0.40	0.55	0.60	0.43	-6.25	-0.90	154.84	4	-4.20
321	Q10EA003332N	-14.52	0.10	0.30	-0.15	-0.83	-1.20	-1.71	554.06	4	-5.22
322	5405348	-16.50	1.11	1.05	2.34	1.13	0.91	-0.20	25.29	5	-3.32
323	5405169	-21.54	1.11	3.81	6.57	5.17	4.58	3.83	811.65	5	0.25
324	Q10EA016414F	-92.43	-8.20	-0.45	1.59	1.66	1.40	0.61	1395.00	4	-4.99
325	Q11EA002049S	-19.27	-2.67	-0.45	0.60	0.03	-6.26	-0.54	1205.34	3	-4.67

Anexos

326	Q13EA017924B	-13.98	1.61	1.30	0.35	0.06	0.01	-0.60	179.81	1	-4.45
327	5405143	-18.01	-2.21	-2.10	-0.74	-1.33	-0.85	-1.44	993.90	5	-5.84
328	5405188	-99.50	-2.71	-9.99	-1.97	-1.84	-2.17	-2.91	1148.41	5	-8.09
329	5405177	-27.31	-1.20	1.15	0.49	-0.58	-1.17	-2.41	403.19	5	-5.27
330	5404900	-37.63	-1.71	0.65	-0.99	-1.70	-2.28	-3.00	1207.68	5	-6.66
331	5405189	-19.52	-0.45	0.65	0.25	-1.32	-1.72	-2.33	603.73	5	-5.55
332	5405393	-12.98	1.90	3.60	2.58	-0.53	-0.72	-1.12	1252.70	5	-4.06
333	5433429	-99.50	-99.50	-26.43	-10.56	-1.09	-0.15	-0.45	1556.66	5	- 12.60
334	Q11EA028674T	-8.95	4.40	3.10	3.07	0.90	0.72	0.19	296.36	3	-2.80
335	Q11EA007032D	-98.74	-62.54	-14.41	-5.85	-6.35	-6.86	-7.30	4078.81	3	- 13.53
336	5433694	-34.10	-6.09	-0.40	0.10	-0.68	-1.40	-1.19	1853.84	5	-5.75
337	Q13EA011630S	-9.94	3.47	2.31	1.80	1.51	0.40	0.75	0.89	1	-2.95
338	5405186	-40.97	-6.34	-1.71	-1.45	-1.46	-2.11	-3.50	1450.21	5	-6.88
339	Q13EA011721U	-28.86	-6.85	-0.70	-2.94	-3.29	0.90	-2.33	171.37	1	-7.80
340	5405164	-100.00	-99.75	3.56	9.28	11.24	11.59	11.35	940.72	5	1.34
341	5404902	-12.97	1.71	-0.20	0.55	-1.32	-1.62	-2.19	1058.87	5	-5.23
342	5533634	-38.45	-8.36	-3.21	-2.20	-2.51	-2.83	-3.48	5853.01	5	-7.72
343	5405216	-89.40	-13.39	-4.21	0.05	-0.24	-0.73	-1.61	704.75	5	-6.76
344	5405220	-16.75	-0.81	0.80	1.80	1.43	0.78	2.56	1616.02	5	-3.38
345	5405474	-14.73	1.21	1.30	0.80	-0.15	-0.44	-0.71	594.40	5	-4.49
346	5405166	-10.95	4.23	3.81	5.29	3.74	3.49	2.67	636.66	5	-0.54
347	5405400	-19.35	-0.30	0.40	-9.99	-0.93	-1.40	-2.25	1209.35	5	-5.42
348	5405340	-17.34	-0.30	0.40	-9.99	-0.25	-0.43	-1.20	838.72	5	-4.93
349	5405461	-99.50	-100.00	-100.00	-21.58	-2.28	-2.00	-2.49	1035.21	5	- 18.28
350	5405341	-21.88	-1.31	0.40	0.40	-0.75	-1.08	-1.87	639.15	5	-5.25
351	5405010	-25.40	-0.81	0.40	0.15	0.34	0.10	-0.59	594.56	5	-4.75
352	5405069	-9.18	3.83	2.51	1.30	-0.89	-1.33	-2.44	653.57	5	-4.45
353	5404910	-24.02	0.81	0.70	0.50	-1.09	-0.68	-1.90	710.13	5	-5.39
354	5405068	-22.30	-0.20	1.01	0.30	-1.50	-1.68	-1.93	1356.12	5	-5.69
355	5405336	-100.00	-100.00	-99.80	-33.50	0.90	1.22	0.58	1220.46	5	- 19.90
356	5405440	-9.94	1.31	1.81	0.70	-0.34	-0.66	-0.89	689.01	5	-4.39
357	5405217	-19.78	-0.30	0.30	0.15	-0.82	-1.38	-2.07	684.14	5	-5.30
358	5404907	-28.86	-2.11	-0.90	-0.60	-1.03	-2.05	-3.19	773.37	5	-5.99
359	5405098	-10.19	1.21	1.30	0.65	-0.59	-0.90	-1.44	970.62	5	-4.58
360	5405071	-16.25	-1.31	0.30	-9.99	-2.08	-2.90	-3.93	841.55	5	-6.06
361	5405370	-25.83	-3.83	-2.21	-1.85	-1.77	-2.15	-2.79	2638.24	5	-6.74
362	5405213	-15.74	-1.81	-0.60	0.40	-0.99	-0.73	-1.79	838.65	5	-5.21
363	Q11EA002155T	-20.79	-0.30	-0.60	0.60	-0.04	-0.28	-0.39	1107.32	3	-4.73
364	5404936	-13.98	-0.30	2.66	4.33	2.25	1.68	1.23	606.66	5	-2.00
365	5405219	-10.95	-1.81	0.65	-0.40	-0.88	-1.35	-1.89	704.57	5	-5.19
366	5405116	-20.28	-2.32	0.40	0.10	-0.08	-0.10	-0.72	963.63	5	-4.89
367	Q11EA002280X	-100.00	-100.00	-100.00	-100.00	-92.34	-4.42	-3.83	3583.20	3	- 97.93
368	5433459	-100.00	-69.79	-12.15	-2.69	0.33	-0.12	-0.47	6364.97	5	-8.70
369	5405438	-26.41	-1.81	-0.60	0.30	-0.60	-0.92	-1.37	896.33	5	-5.34
370	Q11EA006970G	-99.50	-15.91	-1.61	0.80	1.68	1.45	1.26	1962.40	3	-5.45

371	Q10EA002942D	-96.47	-3.83	-0.60	0.30	0.45	0.22	-2.49	319.20	4	-6.05
372	Q11EA028854V	-99.50	-5.34	0.00	0.80	0.48	-0.30	-0.80	259.81	3	-5.96
373	5433348	-100.00	-27.49	-6.03	-2.20	6.63	5.88	-4.14	3140.86	5	-3.73
374	Q13EA025621M	-15.32	-0.81	0.75	1.05	0.53	0.53	0.30	69.55	1	-4.06
375	Q13EA025625Q	-11.04	1.21	1.51	1.55	0.60	0.49	0.14	236.88	1	-3.63
376	Q13EA025484V	-11.54	3.22	2.51	1.80	1.68	1.29	1.00	76.29	1	-2.89
377	Q13EA025608P	-10.79	1.51	1.61	1.20	0.50	0.28	-0.60	134.38	1	-3.78
378	Q14EA027028S	-11.79	0.50	2.11	1.69	1.21	0.80	0.27	12.91	0	-3.28
379	5404912	-42.04	-3.52	9.14	9.17	7.36	6.45	5.29	1343.80	5	1.81
380	Q10EA014772Q	-7.26	3.12	3.01	2.94	0.19	-2.50	-0.47	72.39	4	-3.19
381	Q11EA028675U	-8.27	4.73	3.92	2.19	2.21	1.85	1.47	286.63	3	-2.22
382	Q11EA002047Q	-19.78	-3.07	-1.36	1.69	1.93	1.48	1.15	260.76	3	-3.28
383	5405214	-14.23	0.20	0.40	0.20	-1.19	-1.83	-1.97	998.44	5	-5.34
384	5404952	-29.11	-6.09	-0.85	-4.99	0.16	-1.28	-1.30	947.55	5	-5.22
385	5404899	-1.11	3.73	5.42	10.17	6.50	1.78	5.24	926.73	5	2.88
386	Q10EA015247E	-10.70	1.21	2.91	1.69	0.56	0.35	0.21	54.01	4	-3.57
387	Q10EA016535N	-27.42	-1.81	-1.61	0.10	-0.38	-0.17	-1.03	244.03	4	-5.29
388	Q13EA011616U	-8.57	4.98	3.16	2.34	0.68	0.29	-0.53	38.42	1	-3.12
389	Q11EA001351R	-15.02	-2.82	-0.60	-0.40	0.30	0.28	-0.16	2229.31	3	-4.68
390	5405371	-99.50	-10.37	-1.61	-1.39	-2.01	-2.12	-3.03	926.02	5	-8.20
391	Q13EA025421G	-8.27	-1.81	2.91	1.59	1.83	1.67	0.93	82.38	1	-2.76
392	Q13EA025171H	-26.92	-0.55	2.41	1.25	0.05	-7.50	-0.42	2006.13	1	-4.58
393	Q12EA021459V	-20.56	-2.57	0.90	1.00	0.78	0.65	-0.55	890.69	2	-4.11
394	Q12EA001715I	-24.90	-0.55	1.15	1.25	1.51	1.45	1.12	611.71	2	-3.67
395	Q12EA021538T	-49.60	-3.58	2.91	2.50	2.06	1.60	0.67	942.27	2	-3.62
396	Q10EZ036979O	-99.50	-12.39	0.15	1.00	1.61	1.61	0.86	731.34	4	-5.31
397	5433473	-14.82	-2.92	0.20	0.35	-6.28	-0.36	-0.98	806.25	5	-4.67
398	Q10EA016231A	-99.50	-32.09	-5.56	-0.90	1.18	0.91	0.24	673.70	4	-6.68
399	Q10EA016248J	-30.44	-5.43	-0.55	0.85	0.60	0.55	0.02	823.13	4	-4.62
400	5404940	-34.48	-4.43	-1.30	-1.39	-1.68	-1.80	-2.39	3138.02	5	-6.75
401	5433540	-99.50	-21.53	-2.56	-1.15	-0.48	-0.40	-0.92	1023.39	5	-7.18
402	Q12EA001702D	-31.45	-2.32	1.41	1.20	1.15	1.06	0.44	1008.08	2	-4.11
403	Q10EZ036981I	-99.50	-26.99	-5.12	-0.80	0.53	0.05	-0.73	764.57	4	-6.94
404	Q10EZ037094Q	-38.26	-6.09	-1.61	0.20	0.00	-0.20	-0.97	1071.12	4	-5.41
405	Q10EZ036749C	-19.10	1.21	2.66	2.44	1.31	0.60	-0.22	746.18	4	-3.25
406	5405363	-9.78	-0.81	0.90	-0.30	-1.23	-1.95	-2.67	1322.21	5	-5.30

II. Identificación de aberrantes.

Identificación de Valores Atípicos - Error(%)

Datos/Variable: Error(%)

406 valores con rango desde -97.9305 a 9.0392

Número de valores actualmente excluidos: 24

Estimados de Localización

Media muestral	-4.62276
Mediana muestral	-4.3653
Media recortada	-4.46294
Media Winsorizada	-4.52822

Recorte: 15.0%

Estimados de Escala

Desviación estd. muestral	1.54972
DAM/0.6745	1.55026
Sbi	1.53797
Sigma Winsorizada	1.63212

Intervalos de confianza del 95.0% para la media

	Límite Inferior	Límite Superior
Estándar	-4.77866	-4.46686
Winsorizada	-4.72452	-4.33193

Valores Ordenados

Fila	Valor	Valores Estudentizados Sin Supresión	Valores Estudentizados Con Supresión	Modificados Valor-Z DAM
367	X	-97.9305	-60.2093	
157	X	-54.7544	-32.3488	
355	X	-19.9037	-9.86043	
349	X	-18.2832	-8.81476	
166	X	-17.5219	-8.32351	
...				
101		-2.6496	1.27323	1.10672
106		-2.6422	1.27801	1.11149
9		-2.6134	1.29659	1.13007
125		-2.5492	1.33802	1.17148
7		-2.4327	1.4132	1.24663
17		-2.4256	1.41778	1.25121
182		-2.4209	1.42081	1.25424
16		-2.4081	1.42907	1.2625
86		-2.3977	1.43578	1.26921
1		-2.3917	1.43965	1.27308
242	X	-2.3788	1.44798	
212		-2.2978	1.50024	1.33365
76		-2.2761	1.51425	1.34765
131		-2.2466	1.53328	1.36667
381		-2.2156	1.55328	1.38667
41		-2.067	1.64917	1.48253
364		-1.9993	1.69286	1.5262
75		-1.4974	2.01672	1.84995
137		-1.3627	2.10364	1.93684
346		-0.5365	2.63677	2.46978
290	X	-0.2512	2.82087	
323	X	0.2468	3.14221	
340	X	1.3429	3.8495	
379	X	1.8132	4.15297	
385	X	2.8848	4.84445	
236	X	3.2982	5.11121	
315	X	4.8329	6.10151	
232	X	5.2989	6.40221	
311	X	9.0392	8.81574	

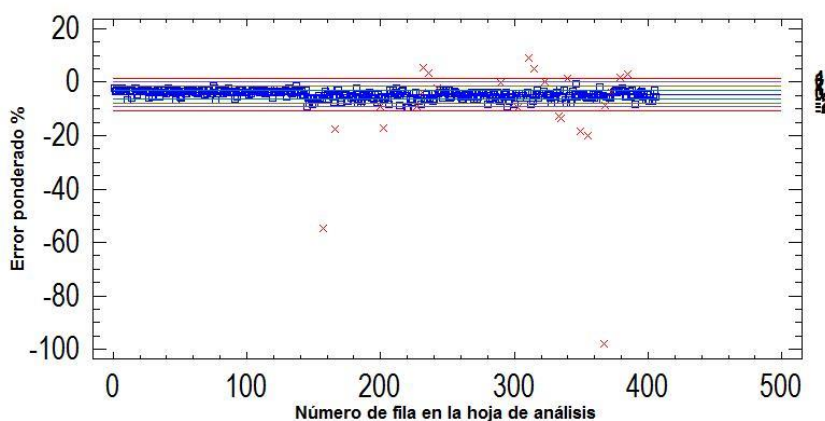
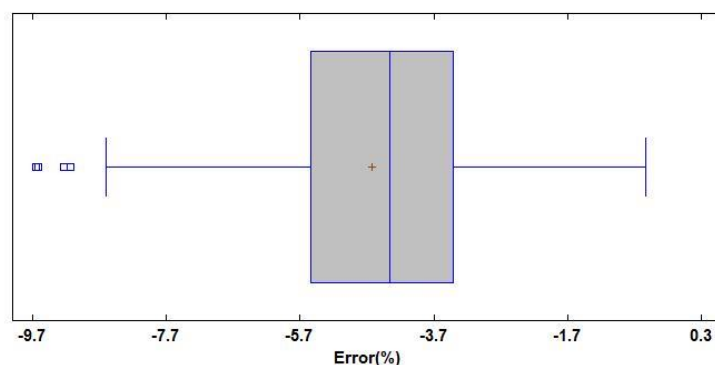
Prueba de Grubbs' (asume normalidad)

Estadístico de prueba = 3.24215

Valor-P = **0.421471****El StatAdvisor**

Este análisis identifica y trata posibles valores aberrantes en muestras de poblaciones normales. La parte superior de la página muestra los estimados comunes de la media y la desviación estándar, junto con estimados diseñados para ser resistentes a observaciones aberrantes. Por ejemplo, para los 382 valores de Error(%), la media y sigma son -4.62276 y 1.54972, respectivamente. Los correspondientes estimados Winsorizados, en los cuales se ha reemplazado el 15.0% de los valores más grandes y más pequeños con valores del interior de la muestra, son -4.52822 y 1.63212. Note el impacto de los estimados Winsorizados sobre el intervalo de confianza para la media.

La tabla en la mitad de la salida muestra los valores más pequeños y los más grandes de Error(%), después de haber excluido 24 valores. Los valores Estudentizados miden a cuántas desviaciones estándar se encuentra cada valor de la media muestral de -4.62276. El valor más extremo se encuentra en la fila 220, el cual es 3.24215 desviaciones estándar de la media. Puesto que el valor-P para la prueba de Grubb es mayor o igual que 0.05, ese valor no es un aberrante significativo con un nivel de significancia del 5.0%, asumiendo que todos los demás valores siguen una distribución normal. Se muestran calificaciones similares al calcular las estadísticas muestrales después de eliminar cada punto, uno a la vez, al igual que cuando la media y la desviación estándar están basadas en la desviación absoluta de la mediana (DAM). Valores de las calificaciones modificadas mayores que 3.5 en valor absoluto, de las cuales hay 0, bien podrían ser observaciones aberrantes.

Identificación de valores atípicos**Gráfica de Caja y Bigotes**

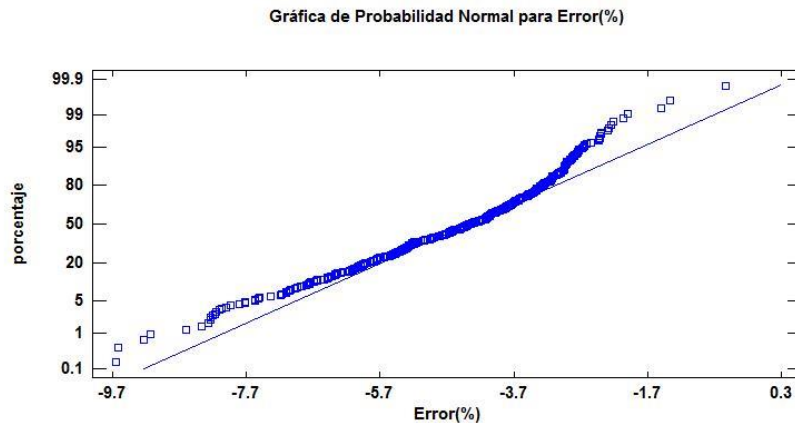
Pruebas de Normalidad

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.953506	1.18394E-12

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si Error(%) puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuantiles de la distribución normal ajustada con los cuantiles de los datos.

El valor-P más bajo de las pruebas realizadas es igual a 1.18394E-12. Debido a que el valor-P para esta es menor que 0.05, se puede rechazar la idea de que Error(%) proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

**Resumen Estadístico para Error(%)**

Recuento	382
Promedio	-4.62276
Desviación estándar	1.54972
Coef. de variación	-33.5238%
Mínimo	-9.6472
Máximo	-0.5365
Rango	9.1107
Sesgo estandarizado	-5.37067
Curtosis estandarizada	0.84447

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para Error(%). Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor de sesgo estandarizado no se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

III. Ajustes del error Ponderado.

a) Ajuste en función de la edad

Regresión Simple - PromedioDeError(%) vs. Edad (años)

Variable dependiente: PromedioDeError(%)

Variable independiente: Edad (años)

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	-3.42425	0.2162	-15.8383	0.0001
Pendiente	-0.434008	0.0714086	-6.07781	0.0037

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	3.29635	1	3.29635	36.94	0.0037
Residuo	0.356943	4	0.0892358		
Total (Corr.)	3.65329	5			

Coefficiente de Correlación = **-0.949892**

R-cuadrada = **90.2296** por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 87.7869 por ciento

Error estándar del est. = 0.298724

Error absoluto medio = 0.211878

Estadístico Durbin-Watson = 2.34243 (P=0.4283)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.32271

El StatAdvisor

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre PromedioDeError(%) y Edad (años). La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{PromedioDeError(\%)} = -3.42425 - 0.434008 \cdot \text{Edad (años)}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre PromedioDeError(%) y Edad (años) con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 90.2296% de la variabilidad en PromedioDeError(%). El coeficiente de correlación es igual a -0.949892, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0.298724. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Pronósticos del menú de texto.

El error absoluto medio (MAE) de 0.211878 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P es mayor que 0.05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95.0%.

Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Lineal	-0.9499	90.23%
Cuadrado de X	-0.9385	88.08%
Raíz Cuadrada de X	-0.8477	71.87%

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo lineal es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 90.2296%. Este es el modelo actualmente seleccionado.

Análisis de Varianza con Carencia de Ajuste

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	3.29635	1	3.29635	36.94	0.0037
Residuo	0.356943	4	0.0892358		
Carencia de Ajuste	0.356943	4	0.0892358		
Error Puro	0	0			
Total (Corr.)	3.65329	5			

El StatAdvisor

La prueba de Falta de Ajuste está diseñada para determinar si el modelo seleccionado es adecuado para describir los datos observados, ó si se debería utilizar un modelo más complicado. La prueba se realiza comparando la variabilidad de los residuos del modelo actual con la variabilidad entre observaciones hechas en valores repetidos de la variable independiente X. Desafortunadamente, la prueba no puede ejecutarse en este caso debido a que no hay observaciones replicadas en los mismos valores de Edad (años).

Residuos Atípicos

			Predicciones	Residuos
Fila	X	Y	Y	Studentizados

El StatAdvisor

La tabla de residuos atípicos enlista todas las observaciones que tienen residuos Estudentizados mayores a 2, en valor absoluto. Los residuos Estudentizados miden cuántas desviaciones estándar se desvía cada valor observado de PromedioDeError(%) del modelo ajustado, utilizando todos los datos excepto esa observación. En este caso, no hay residuos Estudentizados mayores que 2.

Puntos Influyentes

			Predicciones	Residuos	
Fila	X	Y	Y	Studentizados	Influencia

Influencia Media de un punto = **0.333333**

El StatAdvisor

La tabla de puntos influyentes enlista todas las observaciones que tienen valores de influencia mayores que 3 veces la de un punto promedio de los datos. Valor de Influencia es un estadístico que mide que tan influyente es cada observación en la determinación de los coeficientes del modelo estimado. En este caso, un punto promedio de los datos tendría un valor de influencia igual a 0.333333. No hay puntos con más de 3 veces el valor de influencia promedio.

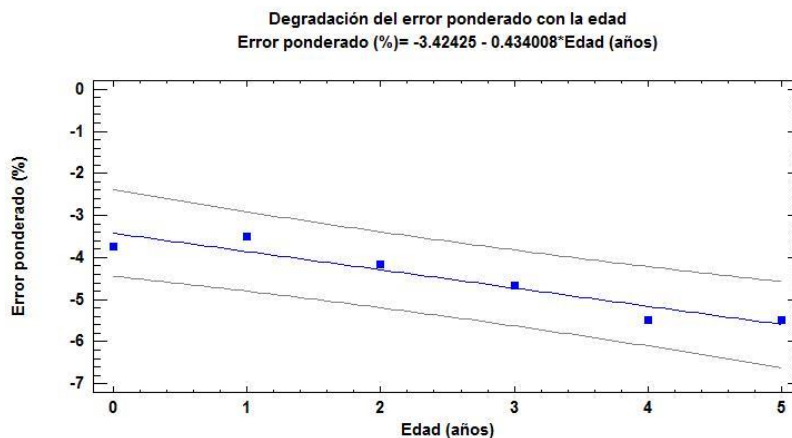


Gráfico de PromedioDeError(%)

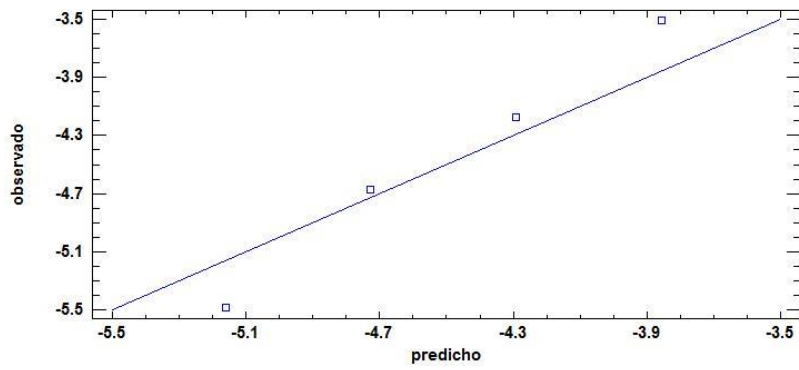


Gráfico de Residuos
PromedioDeError(%) = $-3.42425 - 0.434008 \cdot \text{Edad (años)}$

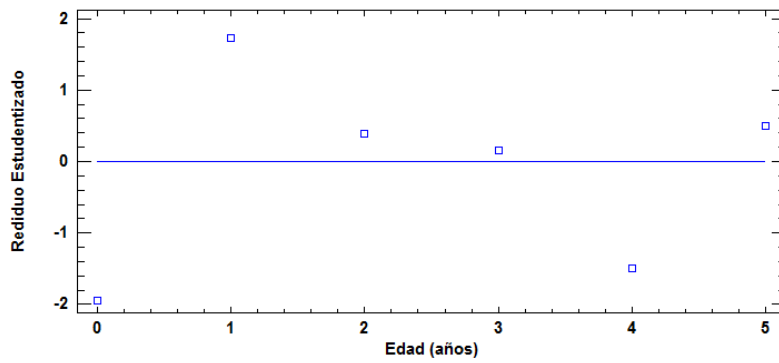
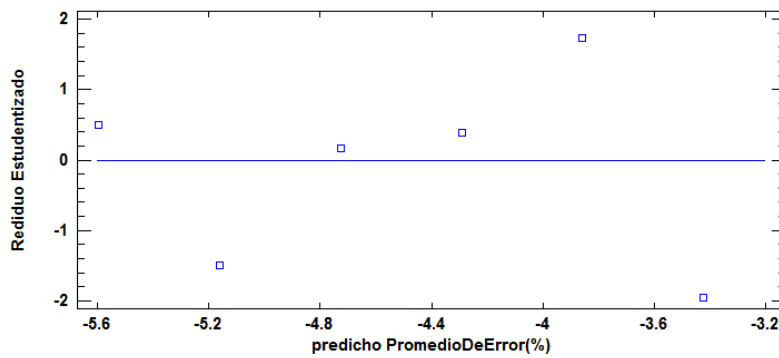


Gráfico de Residuos
PromedioDeError(%) = $-3.42425 - 0.434008 \cdot \text{Edad (años)}$



b) Ajuste en función del Volumen acumulado.

Regresión Simple - Promedio de error vs. Promedio de volumen acumulado (m³)

Variable dependiente: Promedio de error

Variable independiente: Promedio de volumen acumulado (m)

Raíz Cuadrada de X: $Y = a + b \cdot \sqrt{X}$

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	-3.12166	0.225217	-13.8607	0.0000
Pendiente	-0.0689467	0.00503859	-13.6837	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	20.153	1	20.153	187.24	0.0000
Residuo	1.18392	11	0.107629		
Total (Corr.)	21.3369	12			

Coefficiente de Correlación = **-0.971861**

R-cuadrada = **94.4513** por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 93.9469 por ciento

Error estándar del est. = **0.328069**

Error absoluto medio = **0.234189**

Estadístico Durbin-Watson = 2.4874 (P=**0.7243**)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.29758

El StatAdvisor

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo raíz cuadrada-X para describir la relación entre Promedio de error y Promedio de volumen acumulado (m). La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Promedio de error} = -3.12166 - 0.0689467 \cdot \sqrt{\text{Promedio de volumen acumulado (m)}}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre Promedio de error y Promedio de volumen acumulado (m con un nivel de confianza del 95.0%).

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 94.4513% de la variabilidad en Promedio de error. El coeficiente de correlación es igual a -0.971861, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0.328069. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Pronósticos del menú de texto.

El error absoluto medio (MAE) de 0.234189 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P es mayor que 0.05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95.0%.

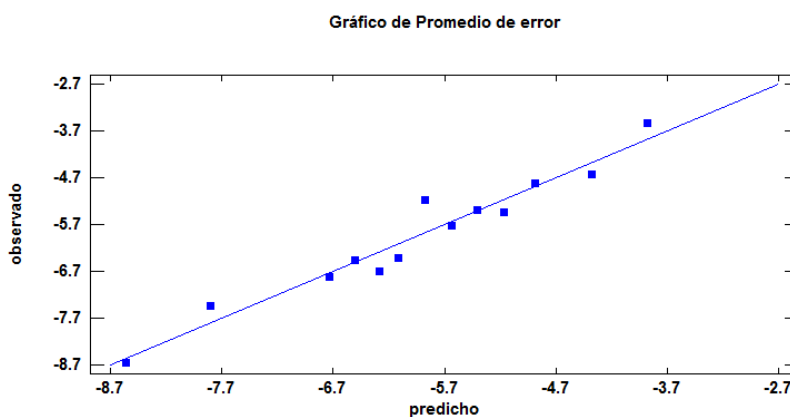
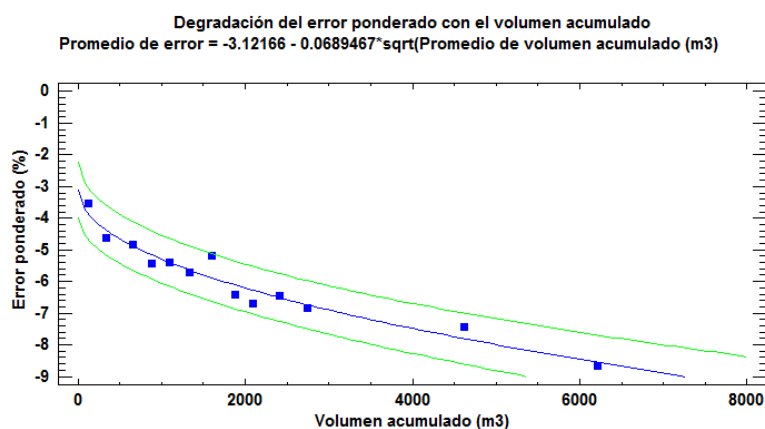
Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Raíz Cuadrada de X	-0.9719	94.45%
Logaritmo de X	-0.9428	88.88%
Lineal	-0.9338	87.20%
Cuadrado de X	-0.8288	68.68%
Inversa de X	0.7201	51.86%
Raíz Cuadrada de Y	<sin ajuste>	
Exponencial	<sin ajuste>	
Inversa de Y	<sin ajuste>	
Cuadrado de Y	<sin ajuste>	
Raíz Cuadrada Doble	<sin ajuste>	
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	
Raíz Cuadrada-Y Log-X	<sin ajuste>	
Multiplicativa	<sin ajuste>	

Inversa-Y Log-X	<sin ajuste>	
Cuadrado-Y Log-X	<sin ajuste>	
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	<sin ajuste>	
Curva S	<sin ajuste>	
Doble Inverso	<sin ajuste>	
Cuadrado-Y Inversa de X	<sin ajuste>	
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	<sin ajuste>	
Log-Y Cuadrado-X	<sin ajuste>	
Inversa-Y Cuadrado-X	<sin ajuste>	
Cuadrado Doble	<sin ajuste>	
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo raíz cuadrada-X es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 94.4513%. Este es el modelo actualmente seleccionado.



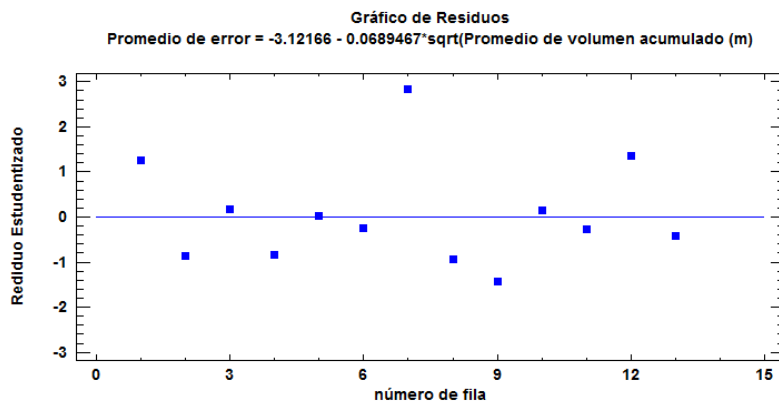
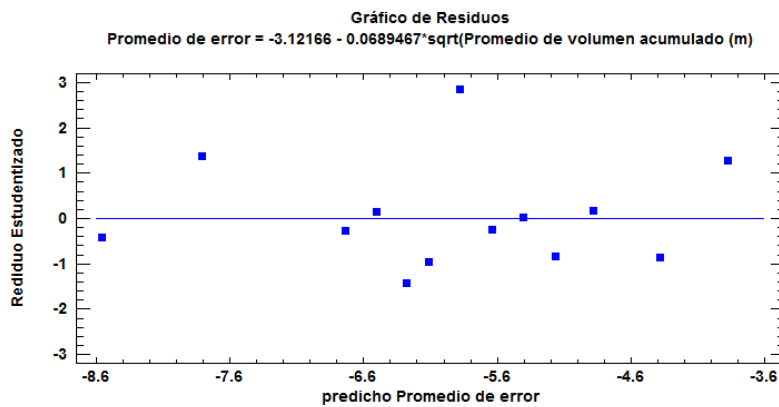
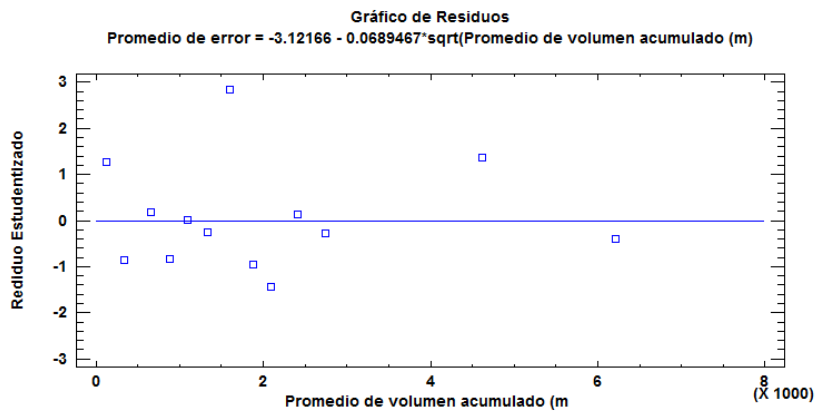
Residuos Atípicos

			Predicciones		Residuos
Fila	X	Y	Y	Residuos	Studentizados
7	1598.73	-5.18	-5.87844	0.698437	2.84

El StatAdvisor

La tabla de residuos atípicos enlista todas las observaciones que tienen residuos Estudentizados mayores a 2, en valor absoluto. Los residuos Estudentizados miden cuántas desviaciones estándar se desvía cada valor observado de Promedio de

error del modelo ajustado, utilizando todos los datos excepto esa observación. En este caso, hay un residuo Estudentizado mayor que 2, pero ninguno mayor que 3.



Puntos Influyentes

			Predicciones	Residuos	
Fila	X	Y	Y	Studentizados	Influencia

Influencia Media de un punto = **0.153846**

El StatAdvisor

La tabla de puntos influyentes enlista todas las observaciones que tienen valores de influencia mayores que 3 veces la de un punto promedio de los datos. Valor de Influencia es un estadístico que mide que tan influyente es cada observación en la determinación de los coeficientes del modelo estimado. En este caso, un punto promedio de los datos tendría un valor de influencia igual a 0.153846. No hay puntos con más de 3 veces el valor de influencia promedio.

c) Ajuste en función de la edad y volumen acumulado.

Ajuste modelo No lineal

Regresión No Lineal - Error

Variable dependiente: Error

Variables independientes:

edad

volumen

Función a estimar: $a+b*Edad^c+d*Volumen^e+f*(Edad^c)*(Volumen)^e$

Estimaciones iniciales de parámetros:

a = 3.0

b = 0.1

c = 1.0

d = 0.02

e = 0.5

f = 0.0007

Método de estimación: Marquardt

La estimación se detuvo después de alcanzar el número máximo de iteraciones.

Número de iteraciones: 31

Número de llamadas de la función: 241

Resultados de la Estimación

			Intervalo Confianza a	95.0%
		Error Estándar	Asintótico	
Parámetro	Estimado	Asintótico	Inferior	Superior
a	3.04258	0.628147	1.7758	4.30936
b	0.149879	0.42865	-0.714578	1.01434
c	0.942662	1.56709	-2.21767	4.103
d	0.0244568	0.0389468	-0.0540871	0.103001
e	0.582178	0.172818	0.233657	0.930698
f	0.00160855	0.00916493	-0.0168743	0.0200914

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio
Modelo	1642.56	6	273.76
Residuo	25.326	43	0.588977
Total	1667.88	49	
Total (Corr.)	112.182	48	

R-Cuadrada = **77.4242** por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = **74.7991** por ciento

Error estándar del est. = **0.767449**

Error medio absoluto = **0.55382**

Estadístico Durbin-Watson = 1.70386

Autocorrelación residual de retardo 1 = 0.123932

Análisis de Residuos

	Estimación	Validación
n	49	
CME	0.588977	
MAE	0.55382	
MAPE	10.0046	
ME	0.000262014	
MPE	-1.5352	

El StatAdvisor

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión no lineal para describir la relación entre Error y 2 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es

Error =

$3.04258+0.149879*Edad^{0.942662}+0.0244568*Volumen^{0.582178}+0.00160855*(Edad^{0.942662})*(Volumen)^{0.582178}$

Al realizar este ajuste, el proceso de estimación fue detenido antes de convergir debido a que se había excedido el número máximo de iteraciones. Para continuar con el proceso, establezca los estimados iniciales de los parámetros desconocidos con los estimados actuales y comience el proceso de estimación nuevamente.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 77.4242% de la variabilidad en Error. El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes es 74.7991%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.767449. Este valor puede utilizarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones seleccionando la opción de Pronósticos del menú de texto. El error absoluto medio (MAE) de 0.55382 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada e el orden en que se presentaron en su archivo de datos.

La salida también muestra los intervalos asintóticos del intervalos de confianza del 95.0% para cada uno de los parámetros desconocidos. Estos intervalos son aproximados y más precisos para tamaños de muestra grandes. Puede determinar si los estimados son estadísticamente significativos, o no, examinando tales intervalos para ver si contiene el valor 0. Los intervalos que cubren el 0 corresponden a coeficientes que bien podrían eliminarse del modelo sin afectar el ajuste substancialmente.

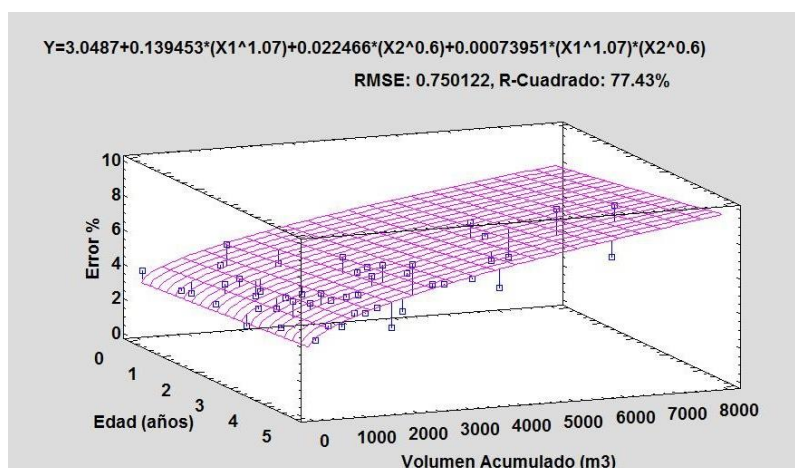
Matriz de correlación asintótica para los coeficientes estimados

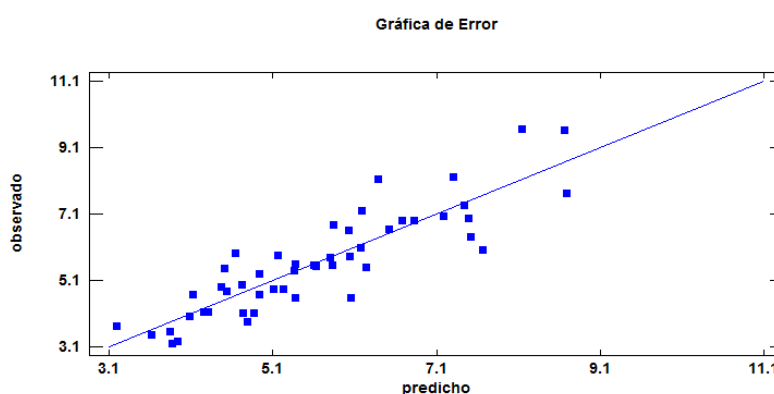
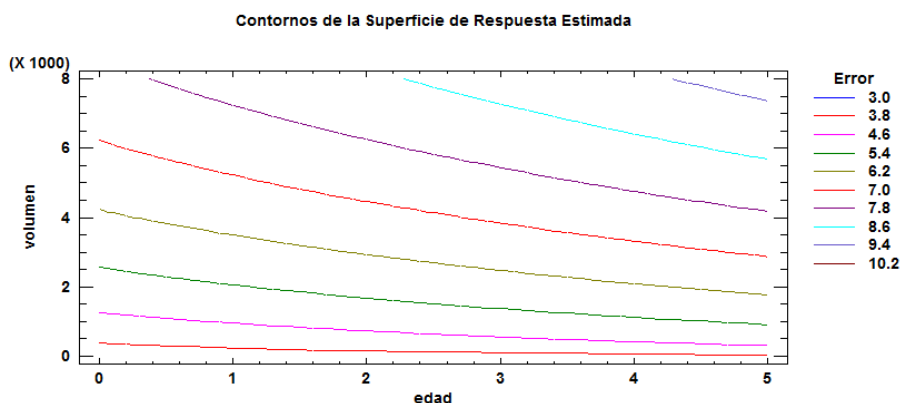
	a	b	c	d
a	1.0000	-0.5094	0.3460	-0.4414
b	-0.5094	1.0000	-0.8862	-0.4090
c	0.3460	-0.8862	1.0000	0.2796
d	-0.4414	-0.4090	0.2796	1.0000
e	0.4321	0.1587	0.0984	-0.8972
f	-0.2622	0.5796	-0.8705	0.0566

	a	b
a	0.4321	-0.2622
b	0.1587	0.5796
c	0.0984	-0.8705
d	-0.8972	0.0566
e	1.0000	-0.4790
f	-0.4790	1.0000

El StatAdvisor

Esta tabla muestra las correlaciones estimadas entre los coeficientes en el modelo ajustado. Estas correlaciones pueden usarse para detectar la presencia de multicolinealidad seria, es decir, correlación entre las variables predictoras. En este caso, hay 3 correlaciones con valores absolutos mayores que 0.5.



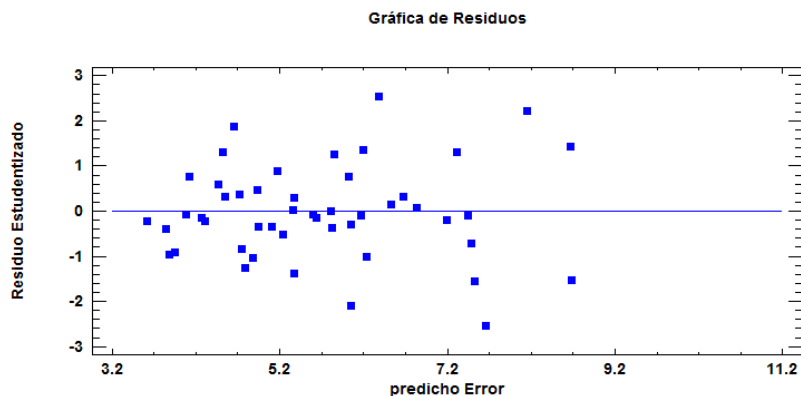


Residuos Atípicos para Error

	<i>Y</i>			<i>Residuo</i>
<i>Fila</i>	<i>Y</i>	<i>Predicha</i>	<i>Residuo</i>	<i>Estudentizado</i>
22	6.0328	7.66477	-1.63197	-2.53
34	9.6472	8.14445	1.50275	2.21
42	4.56493	6.05556	-1.49063	-2.10
44	8.1505	6.38658	1.76392	2.54

El StatAdvisor

La tabla de residuos atípicos lista todas las observaciones que tienen un residuo Estudentizado mayor que 2 en valor absoluto. Los residuos Estudentizados miden cuántas desviaciones estándar se desvía cada valor observado de Error de un modelo ajustado utilizando todas las observaciones menos esa. En este caso, hay 4 residuos Estudentizados mayores que 2, pero ninguno mayor que 3.



Puntos Influyentes para Error

		<i>Distancia de</i>		<i>Distancia</i>
<i>Fila</i>	<i>Leverage</i>	<i>Mahalanobis</i>	<i>DFITS</i>	<i>de Cook</i>
1	0.568793	61.0173	1.23065	0.25155
5	0.165024	8.30989	0.83632	0.110073
6	0.438332	35.7001	-1.22802	0.246004
22	0.205792	11.1993	-1.28878	0.245888
34	0.143697	6.90794	0.90511	0.125232
35	0.262274	15.7301	0.85794	0.119697
44	0.0781557	3.00558	0.739947	0.0809754
49	0.292491	18.4511	-0.976115	0.154124

Leverage promedio de un solo punto = 0.122449

El StatAdvisor

La tabla de puntos influyentes lista todas las observaciones que tienen valores de leverage mayores que 3 veces el de un punto promedio, o que tengan un valor inusualmente grande de DFIT o de distancia de Cook. Leverage es un estadístico que mide que tanta influencia tiene cada observación en la determinación de los coeficientes del modelo estimado. DFITS es un estadístico que mide que tanto podrían cambiar los coeficientes estimados si la observación se hubiese eliminado del conjunto de datos. La distancia de Cook mide la distancia entre los coeficientes estimados con y sin cada observación. En este caso, un punto promedio tendría un valor de leverage igual a 0.122449. Hay 2 puntos con más de 3 veces el leverage promedio, pero ninguno con más de 5 veces. Hay 8 puntos con valores inusualmente grandes de DFITS. No hay puntos con valores inusualmente grandes de distancia de Cook.

Ajuste modelo Regresión múltiple.

Regresión Múltiple - Error

Variable dependiente: Error

VARIABLES INDEPENDIENTES:

Edad

Volumen

Parámetro	Estimación	Error		Estadístico	Valor-P
		Estándar	T		
CONSTANTE	3.46091	0.30324	11.4131	0.0000	
Edad	0.260265	0.0838023	3.10571	0.0032	
Volumen	0.000710138	0.0000698018	10.1736	0.0000	

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	84.7353	2	42.3676	71.01	0.0000
Residuo	27.4469	46	0.596672		
Total (Corr.)	112.182	48			

R-cuadrada = **75.5336** por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = **74.4699** por ciento

Error estándar del est. = **0.772445**

Error absoluto medio = **0.583262**

Estadístico Durbin-Watson = 1.58615 (P=**0.0430**)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.179631

El StatAdvisor

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Error y 2 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Error} = 3.46091 + 0.260265 * \text{Edad} + 0.000710138 * \text{Volumen}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 75.5336% de la variabilidad en Error. El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 74.4699%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.772445. Este valor puede usarse para construir límites para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Reportes del menú de texto. El error absoluto medio (MAE) de 0.583262 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, hay indicación de una posible correlación serial con un nivel de confianza del 95.0%. Grafique los residuos versus el número de fila para ver si hay algún patrón que pueda detectarse.

Para determinar si el modelo puede simplificarse, note que el valor-P más alto de las variables independientes es 0.0032, que corresponde a Edad. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, ese término es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95.0%. Consecuentemente, probablemente no quisiera eliminar ninguna variable del modelo.

Intervalos de confianza del 95.0% para las estimaciones de los coeficientes

Parámetro	Estimación	Error		
		Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
CONSTANTE	3.46091	0.30324	2.85052	4.0713
Edad	0.260265	0.0838023	0.0915799	0.428951
Volumen	0.000710138	0.0000698018	0.000569634	0.000850643

El StatAdvisor

Esta tabla muestra intervalos de confianza del 95.0% para los coeficientes en el modelo. Los intervalos de confianza muestran con qué precisión pueden estimarse los coeficientes dados la cantidad de datos disponibles, y el nivel de ruido que está presente.

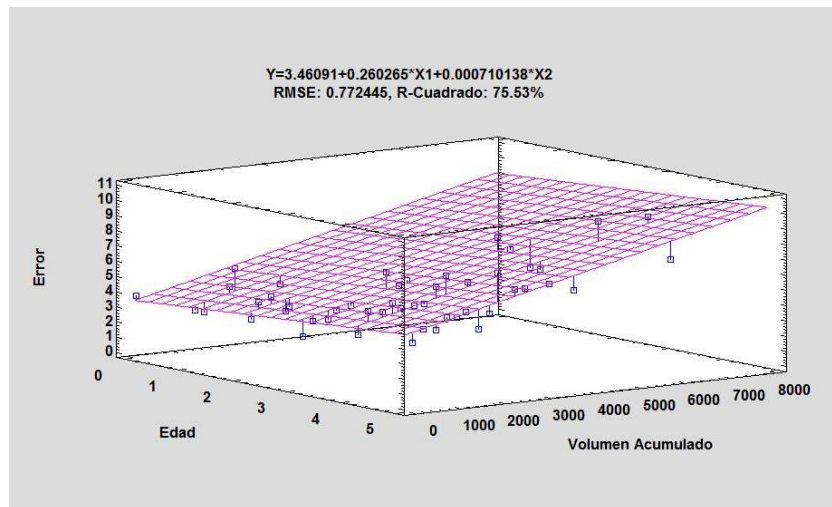
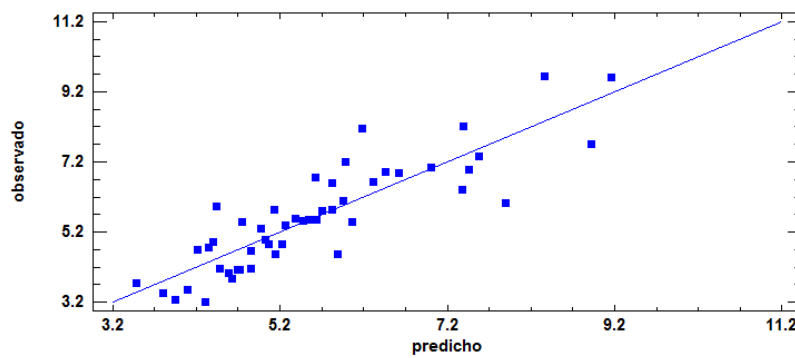


Gráfico de Error



Matriz de Correlación para las estimaciones de los coeficientes

	CONSTANTE	Edad	Volumen
CONSTANTE	1.0000	-0.8433	-0.1432
Edad	-0.8433	1.0000	-0.2803
Volumen	-0.1432	-0.2803	1.0000

El StatAdvisor

Esta tabla muestra las correlaciones estimadas entre los coeficientes en el modelo ajustado. Estas correlaciones pueden usarse para detectar la presencia de multicolinealidad severa, es decir, correlación entre las variables predictoras. En este caso, no hay correlaciones con valores absolutos mayores que 0.5 (sin incluir el término constante).

Puntos Influyentes

		Distancia de	
Fila	Influencia	Mahalanobis	DFITS
5	0.0865611	3.47474	0.647464
22	0.124008	5.67429	-1.03969
34	0.12213	5.55954	0.675376
35	0.195809	10.4646	0.312675
44	0.0465384	1.3149	0.615803
49	0.148642	7.22673	-0.716445

Influencia media de un solo punto = **0.0612245**

El StatAdvisor

La tabla de puntos influyentes enlista todas las observaciones que tienen valores de influencia mayores que 3 veces la de un punto promedio de los datos, ó que tienen un valor inusual de DFITS. Valor de Influencia es un estadístico que mide que tan influyente es cada observación en la determinación de los coeficientes del modelo estimado. DFITS es un estadístico que

mide que tanto podrían cambiar los coeficientes estimados si la observación se eliminara del conjunto de datos. En este caso, un punto promedio de los datos tendría un valor de influencia igual a 0.0612245. Hay un punto con más de 3 veces el valor de influencia promedio, pero ninguno con más de 5 veces. Hay 5 datos con valores inusualmente grandes de DFITS.

Residuos Atípicos

	Y		Residuo	
Fila	Y	Predicha	Residuo	Estudentizado
5	5.9336	4.4356	1.498	2.10
22	6.0328	7.9004	-1.8676	-2.76
44	8.1505	6.18761	1.96289	2.79

El StatAdvisor

La tabla de residuos atípicos enlista todas las observaciones que tienen residuos Estudentizados mayores a 2, en valor absoluto. Los residuos Estudentizados miden cuántas desviaciones estándar se desvía cada valor observado de Error del modelo ajustado, utilizando todos los datos excepto esa observación. En este caso, hay 3 residuos Estudentizados mayores que 2, pero ninguno mayor que 3.

Gráfico de Residuos

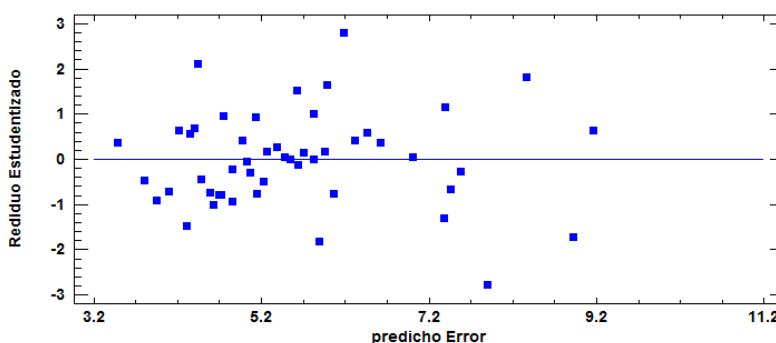


Gráfico de Residuos

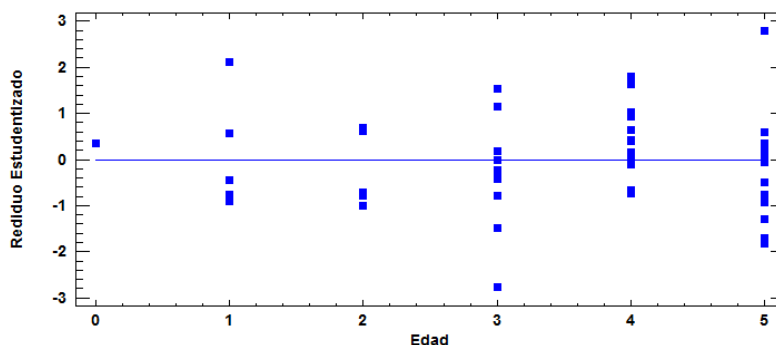


Gráfico de Residuos

