

Trabajo Fin de Máster

*ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO METROLÓGICO DE LOS
CONTADORES DE AGUA BAJO UN RÉGIMEN DE
FUNCIONAMIENTO VARIABLE.*

Intensificación: HIDRÁULICA URBANA

Autor:

ANGEL VALENTIN MERCEDES GARCIA

Tutor:

DR. FRANCISCO ARREGUI DE LA CRUZ

Cotutor:

DR. FRANCESC JOSEP GAVARA TORTES

FEBRERO,2020



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: Estudio del comportamiento metrológico de los contadores de agua bajo un régimen de funcionamiento variable.

Título del TFM en inglés: Study of the metrological behavior of water meters under a variable operating regime.

Título del TFM en Valenciano: Estudi del comportament metrològic dels comptadors d'aigua sota un règim de funcionament variable

Alumno: Angel Valentín Mercedes García

Tutor: Dr. Francisco Arregui de la Cruz

Cotutor: Dr. Francesc Josep Gavara Tortes

Fecha de Lectura: Marzo, 2020.

Resumen

En español (máximo 5000 caracteres)

Las pérdidas de agua comúnmente conocidas de manera técnica como Agua No Contabilizada (ANC), se definen como la diferencia entre el volumen de agua inyectado a la red, desde la planta de potabilización, y el volumen registrado por los contadores de agua de los usuarios (Alegre, 2006). Numerosos estudios hacen referencia al deficiente estado de muchos sistemas de distribución y se reporta la existencia de abastecimientos donde el porcentaje de ANC alcanzan cifras de hasta un 70% del volumen inyectado.

El ANC se puede subdividir, a su vez, en dos componentes: las pérdidas físicas y las pérdidas comerciales. Las primeras, tienen habitualmente más peso en términos de volumen. No obstante, las pérdidas comerciales son equiparables en términos de coste para la empresa, de ahí su importancia. Una gran parte de las pérdidas comerciales son debidas a errores de

medición, por subcontaje, de los contadores de agua (Arregui et al. 2006, Fontanazza et al, 2013).

Para que los contadores de agua en una red puedan ser utilizados, deben cumplir con especificaciones y parámetros establecidos por entidades como: La Organización Internacional para la Estandarización (ISO), la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), el Comité Europeo de Normalización (CEN), entre otros. Estas organizaciones evalúan metrológicamente los contadores en condiciones de flujo permanente, es decir, ensayando los contadores de agua haciendo circular un caudal constante. Sin embargo, este tipo de funcionamiento difiere del modo en el que reamente trabajan estos aparatos en campo, pues lo habitual es que el régimen de caudales a través del contador sea variable y se observe un régimen de funcionamiento intermitente.

Hasta la fecha, la mayor parte de los medidores que se han utilizado son medidores con un principio de funcionamiento mecánico. Actualmente se están empezado a instalar contadores con un principio de medición que no emplea piezas móviles. Son los denominados contadores no mecánicos o contadores de estado sólido. De los aparatos más utilizados de este tipo se encuentran los electromagnéticos y de ultrasonido.

Una característica común a todos ellos es que los medidores para funcionar requieren la utilización de una batería. Con el fin de reducir el consumo de energía y aumentar la durabilidad de las baterías, los fabricantes programan los contadores para muestrear el flujo de agua con diferentes intervalos de tiempo (según el algoritmo propietario de cada fabricante). Debido al intervalo de toma de muestra, en condiciones de flujo no estacionario o cuando las duraciones de los consumos son cortas, estos contadores podrían presentar medidas por encima o por debajo de lo que en realidad se está consumiendo.

Este efecto que provoca el flujo intermitente podría también aparecer en contadores mecánicos de velocidad. Estos cuentan con hélices de cierto peso que, al girar, contabilizan la cantidad de agua que se trasiega. Estas pequeñas turbinas poseen cierta inercia, la cual podría mantenerse girando al finalizar un consumo. Esta circunstancia podría ser significativa de cara a la medición de los consumos de agua, pudiendo provocar, según el diseño del medidor, un error de medida importante.

Con los condicionantes comentados, un técnico en metrología podría plantearse si evaluar un contador bajo condiciones de caudal permanente es suficiente para garantizar que los consumos de los usuarios, que se producen en condiciones de caudal variable, es adecuado. Precisamente en este trabajo se analizará cuándo un contador bajo condiciones de funcionamiento no estables, podría presentar cambios en la curva de error que condujesen a una medición de la exactitud con la que se registran los consumos. Adicionalmente, se evaluará desde un punto de vista estadístico, la significancia y repercusiones que podrían darse al existir una alteración en la curva de error por este concepto.

Buscando proteger al consumidor y a la empresa de errores de medida de los instrumentos, y de misma manera, garantizar la selección de un modelo óptimo para determinados patrones de consumo, se realizará una evaluación en un banco de ensayos montado, específicamente, para producir variabilidad en el flujo, mediante el cierre y apertura de diversos circuitos. Dicho banco está compuesto de electroválvulas y un controlador lógico programable, y a su vez, preparado para simular diferentes patrones de consumo, los que se asemejan a reproducir un modelo de la demanda doméstica, y de esta forma, examinar el comportamiento metrológico real de los contadores de agua bajo condiciones de flujo variables.

Los resultados obtenidos en este experimento serán analizados estadísticamente, estos datos podrán dar conclusiones que permitan determinar la eficiencia de cada contador bajo régimen

de funcionamiento variable. De la misma forma, dicha experimentación se utilizará para crear un programa de ensayo que sirva como referencia para futuras evaluaciones del comportamiento de los contadores de agua bajo condiciones de flujo transitorio.

En valenciano (máximo 5000 caracteres)

Les pèrdues d'aigua comunament conegudes de manera tècnica com a Aigua No Comptabilitzada (ANC), es defineixen com la diferència entre el volum d'aigua injectat a la xarxa, des de la planta de potabilització, i el volum registrat pels comptadors d'aigua dels usuaris (Alegre, 2006). Nombrosos estudis fan referència al deficient estat de molts sistemes de distribució i es reporta l'existència de proveïments on el percentatge de ANC aconseguixen xifres de fins a un 70% del volum injectat.

El ANC es pot subdividir, al seu torn, en dos components: les pèrdues físiques i les pèrdues comercials. Les primeres, tenen habitualment més pes en termes de volum. No obstant això, les pèrdues comercials són equiparables en termes de cost per a l'empresa, d'ací la seua importància. Una gran part de les pèrdues comercials són degudes a errors de mesurament, per subcontaje, dels comptadors d'aigua (Arregui et al. 2006, Fontanazza et al, 2013).

Perquè els comptadors d'aigua en una xarxa puguen ser utilitzats, han de complir amb especificacions i paràmetres establits per entitats com: L'Organització Internacional per a l'Estandardització (ISO), l'Organització Internacional de Metrologia Legal (OIML), el Comité Europeu de Normalització (CEN), entre altres. Aquestes organitzacions avaluen metrològicament els comptadors en condicions de flux permanent, és a dir, assajant els comptadors d'aigua fent circular un cabal constant. No obstant això, aquest tipus de funcionament difereix de la manera en què en realitat han de treballar en camp, perquè l'habitual és que el règim de cabals a través del comptador siga variable i s'observe un règim de funcionament intermitent.

Fins hui, la major part dels mesuradors que s'han vingut utilitzat són mesuradors amb un principi de funcionament mecànic. Actualment s'estan començant a instal·lar comptadors amb un principi de mesurament que no emprava peces mòbils. Són els denominats comptadors no mecànics o comptadors d'estat sòlid. Dels aparells més utilitzats d'aquest tipus estan els de tipus electromagnètics i d'ultrasò.

Una característica comuna a tots ells és que els mesuradors per a funcionar requereixen la utilització d'una bateria. Amb la finalitat de reduir el consum d'energia i augmentar la durabilitat de les bateries, els fabricants programen els comptadors per a mostrejar el flux d'aigua amb diferents intervals de temps (segons l'algorisme propietari de cada fabricant). A causa de l'interval de presa de mostra, en condicions de flux no estacionari o quan les duracions dels consums són curtes, aquests comptadors podrien presentar mesures per damunt o per davall del que en realitat s'està consumint.

Aquest efecte que provoca el flux intermitent podria també aparèixer en comptadors mecànics de velocitat. Aquests compten amb hèlices de cert pes que, en girar, comptabilitzen la quantitat d'aigua que es trasiega. Aquestes xicotetes turbines posseeixen certa inèrcia, la qual podria mantindre's girant en finalitzar un consum. Aquesta circumstància podria ser significativa de cara al mesurament dels consums d'aigua, podent provocar, segons el disseny del mesurador, un error de mesura important.

Amb els condicionants comentats, un tècnic en metrologia podria plantejar-se si avaluar un comptador sota condicions de cabal permanent és suficient per a garantir que els consums dels usuaris, que es produeixen en condicions de cabal variable, és adequat. Precisament en aquest treball s'analitzarà quan un comptador sota condicions de funcionament no estables, podria presentar canvis en la corba d'error que conduïren a un mesurament de l'exactitud amb la qual es registren els consums. Addicionalment, s'avaluarà des d'un punt de vista estadístic,

la significança i repercussions que podrien donar-se d'existir una alteració en la corba d'error per aquest concepte.

Buscant protegir al consumidor i a l'empresa d'errors de mesura dels instruments, i de mateixa manera, garantir la selecció d'un model òptim per a determinats patrons de consum, es realitzarà una avaluació en un banc d'assajos muntat, específicament, per a produir variabilitat en el flux, mitjançant el tancament i obertura de diversos circuits. Aquest banc està compost d'electrovàlvules i un controlador lògic programable, i al seu torn, preparat a simular diferents patrons de consum, els que s'assemblen a reproduir un model de la demanda domèstica, i d'aquesta forma, examinar el comportament metrològic real dels comptadors d'aigua sota condicions de flux variables.

Els resultats obtinguts en aquest experiment seran analitzats estadísticament, aquestes dades podran donar conclusions que permeten determinar l'eficiència de cada comptador sota règim de funcionament variable. De mateixa forma, aquesta experimentació s'utilitzarà per a crear un programa d'assaig que servisca com a referència per a futures avaluacions del comportament dels comptadors d'aigua sota condicions de flux transitori.

En inglés (máximo 5000 caracteres)

Water losses commonly known in a technical way as Non-Revenue Water (NRW), are defined as the difference between the volume of water injected into the network, from the water treatment plant, and the volume recorded by users' water meters (Alegre, 2006). Numerous studies refer to the poor state of many distribution systems and the existence of supplies is reported where the percentage of NRW reaches figures of up to 70% of the injected volume.

The RNW can be subdivided, in turn, into two components: physical losses and commercial losses. The former usually have more weight in terms of volume. However, commercial

losses are comparable in terms of cost to the company, hence its importance. A large part of the commercial losses is due to measurement errors, by sub-accounting, of the water meters (Arregui et al. 2006, Fontanazza et al, 2013).

For water meters in a network to be used, they must comply with specifications and parameters established by entities such as: The International Organization for Standardization (ISO), the International Organization of Legal Metrology (OIML), the European Committee for Standardization (CEN), among others. These organizations metrologically evaluate the meters in permanent flow conditions, that is, by testing the water meters by circulating a constant flow rate. However, this type of operation differs from the way in which they should actually work in the field, since it is customary for the flow rate regime to be variable and a system of intermittent operation to be observed.

So far, most of the meters that have been used are meters with a mechanical operating principle. Currently, meters with a measuring principle that does not use moving parts are being installed. They are called non-mechanical counters or solid-state counters. Of the most used devices of this type are those of electromagnetic and ultrasound type.

A characteristic common to all of them is that the meters to operate require the use of a battery. In order to reduce the energy consumption and increase the durability of the batteries, the manufacturers program the meters to sample the water flow with different time intervals (according to the proprietary algorithm of each manufacturer). Due to the sampling interval, in conditions of non-stationary flow or when the consumption durations are short, these meters could present measures above or below what is actually being consumed.

This effect that causes intermittent flow could also appear in mechanical speed counters. These have propellers of a certain weight that, when turned, account for the amount of water that is transferred. These small turbines have some inertia, which could keep turning at the

end of consumption. This circumstance could be significant in the face of the measurement of water consumption, and can cause, according to the design of the meter, an important measurement error.

With the aforementioned conditions, a metrology technician could consider whether evaluating a meter under permanent flow conditions is sufficient to ensure that user consumption, which occurs under conditions of variable flow, is adequate. Precisely in this work it will be analyzed when a counter under non-stable operating conditions could present changes in the error curve that lead to a measurement of the accuracy with which the consumption is recorded. Additionally, it will be evaluated from a statistical point of view, the significance and repercussions that could occur if there is an alteration in the error curve for this concept.

Seeking to protect the consumer and the company from measurement errors of the instruments, and in the same way, to guarantee the selection of an optimal model for certain consumption patterns, an evaluation will be carried out in a test bench mounted specifically to produce variability in the flow, by closing and opening various circuits. This bank is composed of solenoid valves and a programmable logic controller, and in turn, prepared to simulate different consumption patterns, which are similar to reproducing a model of domestic demand, and in this way, examining the actual metrological behavior of the meters of water under variable flow conditions.

The results obtained in this experiment will be analyzed statistically, these data may give conclusions that allow determining the efficiency of each meter under a variable operating regime. Similarly, such experimentation will be used to create a test program that serves as a reference for future evaluations of the behavior of water meters under transient flow conditions.

Palabras clave español (máximo 5): Contadores de agua, Caudal Transitorio, Curva de error, Funcionamiento de contador, Calidad metrológica

Palabras clave valenciano (máximo 5):

Palabras clave inglés (máximo 5): Water meters, Transient Flow, Error curve, Meter operation, Metrological quality

**“El conocimiento no solo
descansa sobre la verdad sino
también sobre el error”**

C.J

Agradecimientos

El amor recibido, la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaban mis padres: Angel y Magda, y mis hermanos: Martin y Rosangel, por mi avance en el desarrollo de este proyecto, es simplemente inexplicable; por lo que nunca terminare de agradecerles. Ustedes siempre han sido los principales promotores de mis sueños, gracias por creer en mí, por motivarme, por aconsejarme a lo largo de mi vida y por enseñarme a confiar en mí, como ustedes lo hacen.

A Aimee, por apoyarme en todo lo que fue mi decisión de hacer el master lejos de casa y aun con la distancia hacerte sentir tan cerca de mí. Gracias por siempre estar a la disposición de ayudarme en cualquier momento que lo he necesitado y ser un motor que me motiva a continuar y a dar lo mejor de mí en todo momento.

A mi familia en general, tíos, tías, primos y primas, a todos ustedes que desde el momento que tome la decisión de realizar mis estudios de posgrado me mostraron su apoyo incondicional y estuvieron presente para celebrar mis alegrías y animarme en todas mis tristezas.

A mis Amigos, los nuevos y los viejos, cada uno de ustedes que siempre me mostraron apoyo y con sus chistes lograron hacer que cada día yo tuviera una sonrisa en mi rostro.

Agradezco también a mi tutor, Paco, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis. Gracias, también, por tu confianza y todo tu apoyo en todo este proceso. A mi cotutor Francesc, quien dentro de la empresa Facsa mostraste toda tu disposición en realizar este proyecto y por hacerme sentir que podía contar contigo en todo momento.

Alba, te agradezco enormemente todo el apoyo que me has brindado, así como también tus esfuerzos de subirme el ánimo cuando lo necesite. Gracias por todas tus correcciones y ser como una hermana mayor en el desarrollo de este proyecto.

A mis compañeros del Grupo de Ingeniería y Tecnología del Agua, por hacerme sentir bienvenido y ofrecerme su ayuda de manera desinteresada gracias infinita por su buena voluntad.

A la catedra de Facsa por la iniciativa y por ofrecerme esta gran oportunidad de llevar a cabo esta investigación que me ha permitido crecer tanto de manera profesional como personal.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.2	JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3	OBJETIVOS	5
1.3.1	OBJETIVO GENERAL	5
1.3.2	OBJETIVO ESPECIFICOS.....	5
1.4	LIMITACIONES	6
2	MARCO TEORICO	9
2.1	CONTADORES.....	9
2.1.1	CONTADORES MECÁNICOS	11
2.1.1.1	<i>Contadores de chorro único</i>	<i>11</i>
2.1.1.2	<i>Contadores de pistón rotativo.....</i>	<i>13</i>
2.1.2	CONTADORES DE AGUA NO MECÁNICOS.....	14
2.1.2.1	<i>Los contadores ultrasónicos.....</i>	<i>15</i>
2.1.2.2	<i>Los contadores electromagnéticos.....</i>	<i>16</i>
2.2	PARÁMETROS METROLÓGICOS	17
2.3	CURVA DE ERROR.....	19
2.4	NORMATIVAS INTERNACIONALES	21
2.4.1	UNE-EN ISO	22
2.4.2	Organización Internacional de Metrología Legal (OIML).....	22
2.4.3	ANSI & AWWA.....	23
3	MATERIALES Y METODOS	25
3.1	DESCRIPCIÓN DE LOS CONTADORES PROPORCIONADOS POR EL FABRICANTE	25
3.1.1	CONTADORES VOLUMÉTRICOS.....	27
3.2	BANCADAS DE ENSAYO	28
3.3	CARACTERÍSTICAS INICIALES DE LOS CONTADORES	28
3.3.1	CONTADORES CALIBRE 15MM.....	29
3.3.2	CONTADORES CALIBRE 20MM.....	38
3.4	BANCADA DE REFERENCIA	42
4	ENSAYOS DE CONTADORES.....	45
4.1	BANCO DE ENSAYOS EN RÉGIMEN PERMANENTE.....	45
4.1.1	COMPONENTES BÁSICOS DEL BANCO DE ENSAYOS DE RÉGIMEN PERMANENTE.....	45
4.1.2	DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS METROLÓGICO EN RÉGIMEN PERMANENTE	48
4.1.3	DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS EN RÉGIMEN PERMANENTE.....	58
4.1.4	CARACTERÍSTICAS DE LOS ENSAYOS EN RÉGIMEN PERMANENTE	61
4.2	ENSAYO EN REGIMEN TRANSITORIO.....	62
4.2.1	COMPONENTES BÁSICOS DE UN BANCO DE ENSAYO PARA RÉGIMEN TRANSITORIO	62

4.2.2	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS PARA RÉGIMEN TRANSITORIO	64
4.2.3	DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS EN RÉGIMEN TRANSITORIO.....	70
4.2.4	CARACTERISTICAS DE ENSAYOS EN RÉGIMEN TRANSITORIO.....	73
4.2.4.1	<i>PRIMER ENSAYO CON RÉGIMEN TRANSITORIO</i>	<i>74</i>
4.2.4.2	<i>SEGUNDO ENSAYO CON RÉGIMEN TRANSITORIO</i>	<i>74</i>
4.2.4.3	<i>TERCER ENSAYO EN RÉGIMEN TRANSITORIO.....</i>	<i>75</i>
4.2.4.4	<i>CUARTO ENSAYO EN RÉGIMEN TRANSITORIO.....</i>	<i>75</i>
4.2.4.5	<i>QUINTO ENSAYO EN RÉGIMEN TRANSITORIO.....</i>	<i>75</i>
4.2.4.6	<i>SEXTO ENSAYO EN RÉGIMEN TRANSITORIO</i>	<i>77</i>
5	RESULTADOS	79
5.1	RESULTADOS CONTADORES MODELO MA	79
5.2	RESULTADOS CONTADORES MODELO MB.....	82
5.3	RESULTADOS CONTADORES MODELO MC.....	83
5.4	RESULTADOS CONTADORES MODELO MD	84
5.5	RESULTADOS CONTADORES MODELO ME.....	86
5.6	RESULTADOS CONTADORES MODELO MF	88
5.7	RESULTADOS CONTADORES MODELO MG	88
5.8	RESULTADOS CONTADORES MODELO MH	89
5.9	RESULTADOS CONTADORES MODELO MV	90
6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS	93
6.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS CONTADORES MODELO MA.....	95
6.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS CONTADORES MODELO MB.....	95
6.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS CONTADORES MODELO MC.....	96
6.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS CONTADORES MODELO MD.....	96
6.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS CONTADORES MODELO ME.....	97
6.6	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS CONTADORES MODELO MG.....	97
6.7	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CONTADOR MODELO MH	98
6.8	ERROR PROMEDIO GLOBAL DE LOS CONTADORES DE AGUA	98
7	CONCLUSIONES.....	104
7.1	LÍNEAS FUTURAS.....	108
8	BIBLIOGRAFIA.....	110
9	ANEXOS.....	II
9.1	ANEXO I – RESULTADOS DE COMPARACIONES ESTADÍSTICAS DE LOS CONTADORES	II
9.2	ANEXO II –ERRORES PRESENTES EN LOS CONTADORES TRAS LA REALIZACIÓN DE LOS DIFERENTES ENSAYOS	XXIII
9.3	ANEXO III – COMPORTAMIENTO METROLÓGICO DE LOS CONTADORES DE AGUA DE MANERA DETALLADA.....	LXII

IMÁGENES

Imagen 1. Rangos fijados de ANR de manera porcentual en diferentes ciudades del mundo. The Smart Water Network Forum (SWAN), 2011, Derechos de Autor [2011] por The Smart Water Network Forum.....	3
Imagen 2. Contador de chorro único. Catálogo de contadores CEPEX (p. 113), 2019, Recuperado de https://www.fluidra.es/2019-catalogo-riego/113/	12
Imagen 3. Principio de funcionamiento de un contador de chorro único. En Gestión Integral de Contadores de Agua (p. 6), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua.....	12
Imagen 4. Principio de funcionamiento de un contador de Pistón Rotativo. En Gestión Integral de Contadores de Agua (p. 29), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua.....	13
Imagen 5. Partes de un Contador de Pistón Rotativo. En Gestión Integral de Contadores de Agua (p. 30), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua.....	14
Imagen 6. Principio de Funcionamiento de contadores de agua de Ultrasonido de tiempo de tránsito. En Gestión Integral de Contadores de Agua (p. 84), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua.....	15
Imagen 7. Principio de funcionamiento de un contador de efecto Doppler. En Gestión Integral de Contadores de Agua (p. 87), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua.....	16
Imagen 8. Principio de funcionamiento de los contadores de agua electromagnéticos. En Gestión Integral de Contadores de Agua (p. 100), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua.....	16
Imagen 9. Detalle de elementos de un contador electromagnético. 2018, Recuperado de http://www.flpcontrol.com/caudalímetros-electromagnéticos-en-línea/	17
Imagen 10. Errores Máximos Permitidos en un Contador de Agua. En Gestión Integral de Contadores de Agua (p. 306), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua.....	20

Imagen 11. Curva de Error de un Contador de Agua. En Gestión Integral de Contadores de Agua (p. 305), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua.....	21
Imagen 12. Contadores de ultrasonido modelo 1	29
Imagen 13. Contador 1 (Vista lateral) y avería en la salida del contador.....	30
Imagen 14. Entrada (izquierda) y salida (derecha) del contador modelo 1.	30
Imagen 15. Contador de ultrasonido modelo 2.	31
Imagen 16. Contador 2 (Vista lateral y entrada del medidor).....	31
Imagen 17. Vista lateral del contador 3 (izquierda) y pantalla principal o display (derecha).	32
Imagen 18. Entrada de contador 3.....	32
Imagen 19. Pantalla principal o display de contadores de ultrasonido modelo 4	33
Imagen 20. Vista lateral de contador 4	33
Imagen 21. Salida (izquierda) y entrada (derecha) de los contadores modelo 4.....	34
Imagen 22. Pantalla principal o display contador modelo 5	34
Imagen 23. Contador 5, vista lateral (izquierda) y entrada del medidor (derecha).....	35
Imagen 24. Contadores modelo 6. Display (izquierda) y vista lateral (derecha).	35
Imagen 25. Contadores 7 (Vista del display).....	36
Imagen 26. Entradas de los contadores 7.....	36
Imagen 27. Vista lateral de los contadores 7.....	37
Imagen 28. Contadores 8 de chorro único.	37
Imagen 29. Vista lateral (izquierda) y entrada (derecha) de los contadores 8 de chorro único.	38
Imagen 30. Pantalla principal o display de contador modelo 9	38
Imagen 31. Vista lateral (izquierda) y entrada (derecha) de contadores modelo 9.....	39
Imagen 32. Totalizador del contador modelo 10 (izquierda) y vista lateral del contador 10 (derecha)	39

Imagen 33. Entrada del contador modelo 10 (izquierda) y salida del contador modelo 10(derecha)	40
Imagen 34. Pantalla principal o display de los contadores modelo 11 (izquierda) y entrada de los contadores (derecha).	41
Imagen 35. Salida (izquierda) y vista lateral (derecha) de contadores modelo 9.....	41
Imagen 36. Vista principal de contador volumétrico	42
Imagen 37. Salida (izquierda) y vista lateral (derecha) del contador volumétrico.....	43
Imagen 38. Banco de ensayo de contadores de la Universidad Politécnica de Valencia	45
Imagen 39. Esquema básico de un banco de ensayo de contadores.....	46
Imagen 40. Banco de ensayos de contadores en funcionamiento de la Universidad Politécnica de Valencia.....	49
Imagen 41. Línea de ensayo del banco de evolución de contadores de la Universidad Politécnica de Valencia.....	49
Imagen 42. Válvula TECVEL para caudales medios-altos	50
Imagen 43. Líneas de regulación del banco de ensayos de la UPV	50
Imagen 44. Válvula TECVEL para microcaudales	50
Imagen 45. Equipo de bombeo para el banco de ensayos de contadores de la UPV	51
Imagen 46. Deposito hidroneumático del laboratorio de hidráulica de la UPV	52
Imagen 47. Panel de control de ensayos y display para ver el caudal que pasa por la línea 3	52
Imagen 48. Válvula de seccionamiento en la entrada del banco de ensayo.	53
Imagen 49. Depósitos de volumen conocido del laboratorio de hidráulica de la UPV. Depósito de 200 litros (izquierda) y depósito de 10 litros (derecha).	53
Imagen 50. Tubos y juntas de unión del banco de ensayos de la UPV	54
Imagen 51. Probetas de medida y sensores de corte (rectángulo rojo) en los depósitos de volumen determinado	55
Imagen 52. Manómetros en línea de ensayos del banco.....	55
Imagen 53. Temporizador digital Panasonic, del banco de ensayos de la UPV.	56
Imagen 54. Caudalímetros electromagnéticos Krohne (izquierda) y Siemens (derecha).....	56

Imagen 55. Sensor electromagnético marca Krohne.....	56
Imagen 56. Sensor electromagnético Siemens.....	56
Imagen 57. Válvulas de desagüe de los depósitos de volumen determinado. Depósito de 200 litros (izquierda) y depósito de 10 litros (derecha).....	57
Imagen 58. Válvula neumática (A) y filtro (B).....	58
Imagen 59. Esquema del banco de ensayo para régimen que varíe con el tiempo	62
Imagen 60. Banco de ensayos para régimen transitorio en el laboratorio del ITA en la UPV y acople al banco de ensayos de régimen permanente (A).....	64
Imagen 61. Líneas de ensayos del banco para el análisis metrológico en régimen transitorio en el laboratorio de hidráulica de la UPV.	65
Imagen 62. Válvulas de seccionamiento y/o regulación del banco de ensayos en régimen variable	66
Imagen 63. Accesorios de unión de elementos del banco de ensayos en régimen transitorios. tuercas locas y maguitos (A), conexión en T (B), racor (C) y latiguillos (D).	67
Imagen 64. Electroválvula de 1/2 pulgada de diámetro.....	67
Imagen 65. Controlador lógico programable, marca Unitronics modelo M-90.....	68
Imagen 66. Relevadores marca Telemecanique	69
Imagen 67. Fuente de alimentación marca Grecol, modelo 2410 A.	69
Imagen 68. Variabilidad de flujo de los ensayos en régimen transitorio.....	74
Imagen 69. Primera alteración de flujo y caudal de los ensayos en régimen transitorio.....	76
Imagen 70. Segunda alteración de flujo y caudal de los ensayos en régimen transitorio.....	76
Imagen 71. Tercera alteración de flujo y caudal de los ensayos con régimen transitorio.	76
Imagen 72. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MA1 ...	80
Imagen 73. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MA2...	81
Imagen 74. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MA3...	81
Imagen 75. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MA4...	81
Imagen 76. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MA5...	82

Imagen 77.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MB1 ...	83
Imagen 78.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MB2. ...	83
Imagen 79.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MC1 ...	84
Imagen 80.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MC2 ...	84
Imagen 81.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MD1 ...	85
Imagen 82.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MD2...	85
Imagen 83.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MD3...	85
Imagen 84.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador ME1 ...	86
Imagen 85.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador ME2 ...	86
Imagen 86.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador ME3 ...	87
Imagen 87.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador ME4 ...	87
Imagen 88.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador ME5 ...	87
Imagen 89.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MF	88
Imagen 90.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MG1 ...	89
Imagen 91.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MG2...	89
Imagen 92.	Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MH1 ...	90
Imagen 93.	Curva de error de los contadores de referencia (Volumétricos).	90

TABLAS

Tabla 1. Características físicas de los contadores de agua según el fabricante.....	26
Tabla 2. Características de funcionamiento según el fabricante	27
Tabla 3. Bancadas de los ensayos en régimen permanente	28
Tabla 4. Numero de ensayos en régimen permanente para cada bancada.	62
Tabla 5. Error promedio global de los contadores de agua para los diferentes regímenes de trabajo.	99
Tabla 6. Error promedio global de los contadores de agua en función al modelo.	100
Tabla 7. Error promedio global de los contadores de agua en función de su diámetro y tecnología para los diferentes regímenes de trabajo.....	101
Tabla 8. Error promedio global de los contadores de agua en función de su tecnología para los diferentes regímenes de trabajo.....	101
Tabla 9. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MA1	iii
Tabla 10. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MA2.....	iv
Tabla 11. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MA3.....	v
Tabla 12. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MA4.....	vi
Tabla 13. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MA5.....	vii
Tabla 14. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MB1.	viii
Tabla 15. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MB2.	ix
Tabla 16. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MC1.	x
Tabla 17. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MC2.	xi
Tabla 18. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MD1.....	xii
Tabla 19. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MD2.....	xiii
Tabla 20. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MD3.....	xiv
Tabla 21. Resultados de la comparación estadística del contador modelo ME1.	xv
Tabla 22. Resultados de la comparación estadística del contador modelo ME2.	xvi
Tabla 23. Resultados de la comparación estadística del contador modelo ME3.	xvii

Tabla 24. Resultados de la comparación estadística del contador modelo ME4.	xviii
Tabla 25. Resultados de la comparación estadística del contador modelo ME5.	xix
Tabla 26. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MG1.	xx
Tabla 27. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MG2.	xxi
Tabla 28. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MH.	xxii

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En las redes de distribución de agua potable, los contadores son elementos necesarios para contabilizar el volumen de agua que consumen los usuarios del sistema. Estos aparatos se encuentran en ubicaciones específicas, y comúnmente se colocan en la base de las edificaciones o puntos donde el agua llega a su destino final de consumo. El propósito de los medidores de agua más avanzados, además de medir el volumen, es poder detectar cualquier disfuncionalidad o anomalía existente en la red de distribución (Yong Cho et al. 2017).

En los sistemas de abastecimiento de agua, una considerable cantidad del agua no registrada (ANR) se debe al subcontaje de los contadores de agua. Los errores intrínsecos de los contadores dependen del caudal que esté circulando; además, las partes que conforman estos instrumentos con el paso del tiempo sufren un progresivo deterioro en su capacidad de medida, esta degradación es más evidente en momentos en los que el consumo de agua se produce a caudales bajos, producto del aumento de la rugosidad dentro del instrumento como consecuencia del desgaste sufrido durante los momentos de consumo a altos caudales (Fontanazza et al, 2013).

Los requerimientos de exactitud y márgenes de tolerancia de error de los contadores de agua están especificados en diversos documentos normativos. De todos ellos, la norma más utilizada internacionalmente en su versión española es la UNE-EN ISO 4064-1 2018. El error admisible o, según la normativa, el Error Máximo Permitido (EMP) no debe de superar la medición de un contador bajo condiciones nominales de funcionamiento. Para caudales bajos entre caudal mínimo (Q1) y caudal de transición (Q2), el EMP es de $\pm 5\%$ y para caudales entre caudal nominal (Q3) y caudal máximo (Q4), el valor límite se reduce a $\pm 2\%$ (I UNE-EN ISO 4064-1 2018).

Para ayudar a los servicios de agua a enfrentar el reto de asegurar la precisión y la exactitud de los instrumentos de medida, se desarrollaron estándares, regulaciones y recomendaciones sobre acciones operacionales con respecto a los medidores, como son: el tiempo de prueba y momento de remplazar cada contador de agua (American Water Works Association, 1999).

A no ser que los contadores de agua domésticos sean probados y reciban el mantenimiento adecuado, las pérdidas aparentes de agua, debido a inexactitudes de medida, pueden llegar a ser una porción significativa del total del agua no registrada en la red (Noss et al. 1987).

El avance y desarrollo tecnológico ha dado como resultado un mejoramiento en el análisis y recepción de la información sobre el consumo de agua, lo que ha servido para determinar la existencia de variaciones en el patrón de consumo de agua potable por parte de los usuarios en las redes de abastecimiento de agua (Nguyen et al, 2018).

El error efectivo de medición de los contadores de agua depende de los caudales circulantes. Por tanto, la discrepancia entre los volúmenes registrados por los contadores y los volúmenes realmente consumido por los usuarios no pueden desvincularse de los patrones de consumo derivados de las pautas de uso de agua (Arregui et al, 2015).

Precisamente, los errores de medición de los contadores de agua constituyen una de las principales fuentes de pérdidas económicas a las que se enfrentan las instituciones encargadas de abastecimiento de agua potable. En este sentido, no hay que perder de vista que, en un alto porcentaje de las ocasiones, el mal funcionamiento de los equipos encargados de medir el volumen de agua consumido por los usuarios deriva en errores de subcontaje (Monedero et al, 2016).

1.2 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, se constatan altos niveles de volumen de agua no registrada en redes de abastecimiento de países como: Canadá, México, Japón, Noruega e Italia, entre otros, tal y como se menciona en el artículo “The Smart Water Networks Forum” publicado en el año 2011. Este documento que recalca la existencia de ciudades donde el Agua No Registrada (ANR) ha alcanzado cifras de más del 70%, como es el caso de Guayaquil, Ecuador (**Ver Imagen 1**). Esta ingente cantidad de pérdidas de agua lleva consigo un considerable nivel de pérdidas económicas para los organismos encargados de la distribución de agua. Lamentablemente, el nivel de pérdidas en los abastecimientos de agua sea muy superior a los valores publicados, ya que muchas empresas tienden a “maquillar” sus resultados para presentar una mejor imagen ante la sociedad y la administración.

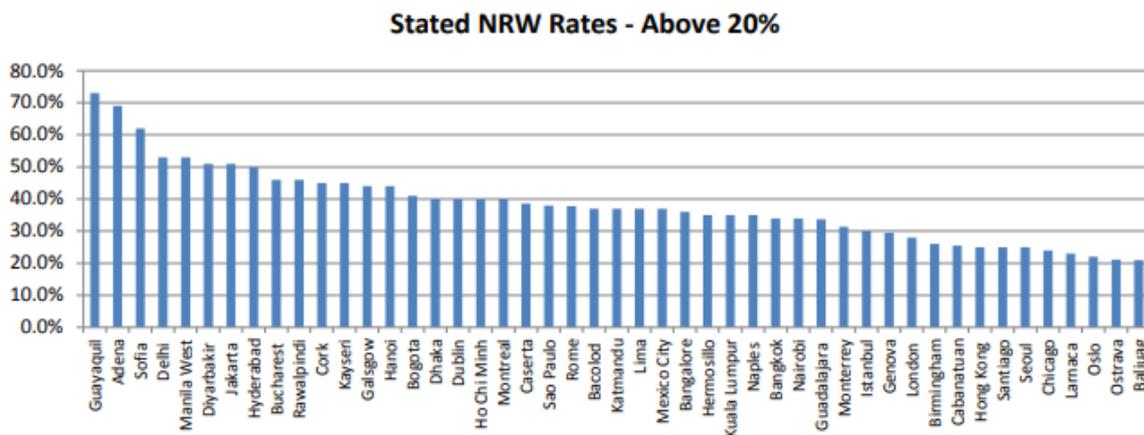


Imagen 1. Rangos fijados de ANR de manera porcentual en diferentes ciudades del mundo. *The Smart Water Network Forum (SWAN), 2011, Derechos de Autor [2011] por The Smart Water Network Forum.*

La modelación de las redes de distribución de agua, es una herramienta esencial para el planeamiento del suministro del recurso, permite que los ingenieros hidráulicos y personal administrativo comprendan cómo el patrón de consumo de agua potable se comporta, lo que les faculta para tomar decisiones informadas con respecto a la operación y planificación de las redes de distribución y que las mismas alcancen los requerimientos de servicio (Ram Gurung,

2014). Uno de los principales elementos utilizados como referencia para la elaboración de los modelos informáticos del comportamiento hidráulico de las redes de distribución de agua, son los registros de los contadores de agua y, gracias a esto, la preservación, el buen estado e ideal funcionamiento de los medidores crea un gran impacto socioeconómico, es por esto que, aparece la necesidad de estudiar el comportamiento de los contadores y factores que afectan a la funcionalidad más a fondo.

Como se ha mencionado anteriormente, el caudal de agua demandado por los residentes de un sector varía con respecto al tiempo, esto puede generar un cambio en el comportamiento metrológico del contador teniendo como secuela la alteración de los errores en las medidas y como resultado una alteración en el balance preestablecido de agua registrada y no registrada (Arregui et al. 2015).

Las normas encargadas de regular la metrología internacionalmente, como son: la norma UNE-EN ISO 4064, AWWA de C700 a C750 y la recomendación OIML R-49, establecen los errores máximos permisibles de los contadores de agua en el rango de medida. Estos errores se determinan haciendo circular por los contadores a caudales constantes, (UNE-EN ISO 4064-2:2018 Artículo 7.4.2.2.7.3), siendo precisamente la estabilidad de caudal durante el ensayo uno de los requisitos del mismo. Actualmente, ninguna norma relacionada con los contadores de agua contempla la determinación de los errores de indicación de un contador sometiendo el instrumento a caudales variables en el tiempo, como los que puedan aparecer, por ejemplo, en una vivienda.

Teniendo en cuenta que el caudal de consumo de agua potable se rige en función de patrones de consumo dependiente de las actividades del ser humano, se puede afirmar que existe una variabilidad con respecto al tiempo de este patrón de consumo. Es por esto que, en este proyecto se plantea la necesidad de estudiar la metrología de los contadores de agua, cuando los mismos

son sometidos a ensayos bajo condiciones de régimen no permanente, y demostrar si existe alguna diferencia significativa entre los errores que presentan los contadores de agua sometidos a los distintos regímenes de funcionamiento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de este proyecto es conocer y analizar el comportamiento metrológico de los contadores de agua (electromagnéticos, de ultrasonido y chorro único), bajo condiciones de funcionamiento ligadas a variaciones en la intensidad de caudal con respecto al tiempo.

1.3.2 OBJETIVO ESPECIFICOS

1. Determinar la curva de error de medida de los contadores, realizando ensayos a régimen estacionario para posteriormente comparar dichos resultados con los obtenidos en la realización de los ensayos a régimen transitorio.
2. Diseñar y crear un banco de ensayo en el laboratorio de contadores de agua de la UPV que permita la realización de ensayos en régimen transitorio.
3. Establecer las características de los ensayos en régimen transitorio con la utilización de un controlador lógico programable (PLC).
4. Determinar el error y analizar el comportamiento de los contadores de agua tras someterlos a diferentes intensidades de caudal de ensayo.
5. Analizar y comparar la variabilidad que existe entre la curva de error de un mismo contador sometido a ensayos en régimen permanente y transitorio.
6. Calcular las diferencias estadísticas existentes en las curvas de error obtenidas tras la realización de ensayos en régimen estacionario y régimen variable.
7. Diseñar una guía descriptiva para la realización de ensayos a contadores de agua en régimen no estacionario o transitorio.

1.4 LIMITACIONES

El desarrollo de este proyecto está sujeto a limitaciones fuera del control de este autor, entre ellas, se destaca la inexistencia de manuales o documentos que definan claramente la manera de realizar ensayos a caudales variables, esto supone una limitación a la hora de concretar los objetivos de este proyecto. Además, actualmente no existen estudios detallados, salvo la información sesgada que muchas veces proporciona el fabricante, ni hay un amplio conocimiento sobre el funcionamiento de los contadores de agua de estado sólido, tanto en régimen estacionario como transitorio. Esto se debe a que este tipo de contadores utilizan una tecnología de medición desarrollada recientemente y las empresas abastecedoras no han podido retirar un número suficiente de contadores de este tipo para realizar estudios de envejecimientos que proporcionen información útil sobre el modo en que se comportan al cabo de cierto tiempo. Debido a esto, en este proyecto nace la necesidad de diseñar y materializar un banco de ensayo apropiado, que permita llevar a cabo pruebas metrológicas en régimen no estacionario, y la necesidad de definir diferentes tipologías de ensayos que permitan conocer con mayor precisión el comportamiento de los contadores de agua en diferentes regímenes de funcionamiento. Del mismo modo, la limitación del número de contadores de estado sólido disponibles genera una limitación en cuanto al tamaño de la muestra de contadores para la realización del presente estudio.

Otra limitación importante que ha surgido durante la realización del trabajo está relacionada con la disponibilidad de diversos modelos de contadores de estado sólido. Estos contadores han sido facilitados por la empresa FACSA, principalmente de muestras disponibles, enviadas por fabricantes, y solamente contempla los modelos que, actualmente, en el momento de llevar a cabo el trabajo, se utilizan en España. Es por ello que el tamaño y variedad de la muestra de contadores para la realización del presente estudio no ha sido lo amplia que hubiera sido deseable. Además, la procedencia de los medidores, que en muchos casos son unidades

facilitadas por los fabricantes como muestras, hace que los resultados puedan estar sesgados y que el comportamiento real en campo de algunos de los medidores ensayados sea diferente al observado en el laboratorio.

Por otro lado, los resultados obtenidos tras la realización de los experimentos descritos en este trabajo no son totalmente extrapolables al comportamiento que tendrían los contadores en otro ambiente. Esto se debe a las particularidades del banco de ensayos ideado para reproducir el comportamiento del consumo en régimen no estacionario. Debido a la elasticidad de la tubería, es posible que los caudales de funcionamiento y el modo en que se producen las transiciones de caudal sean diferentes a las que posteriormente pueden aparecer en una instalación real. Se piensa que este efecto puede ser más acusado en los ensayos realizados a caudales bajos, aunque en caudales altos también puede aparecer cierta afección. El problema está relacionado con los transitorios hidráulicos que se generan cada vez que una electroválvula abre o cierra y los cambios de presión que se producen en el circuito. La elasticidad de las tuberías que conforman el circuito hace que en cada apertura de la electroválvula se produzca un chorro inicial que posteriormente se reduce en magnitud y se equilibra hasta llegar al caudal de régimen.

Por último, la elección de los caudales empleados para la realización de los ensayos en régimen transitorio ésta limitada por la capacidad del banco de ensayos diseñado y, a su vez, el diseño de dicho banco se ve limitado por la disponibilidad de materiales para su elaboración.

CAPITULO II
MARCO TEORICO

2 MARCO TEORICO

Medir una cantidad de una determinada magnitud, es compararla con otra cantidad conocida de esa misma magnitud que se toma como referencia y se denomina unidad, expresando cuantas veces la cantidad desconocida contiene la conocida o unidad. La medición es una operación que debe producir un valor numérico. En el fondo la elección de la unidad que se va a utilizar en una medición es una cuestión arbitraria, aunque conviene tener en cuenta que se adapte al valor a medir de una manera racional (Moro, 1999). Es por esto que existen normas y recomendaciones metrológicas que se encargan de garantizar las magnitudes, los procesos y la calidad de los datos obtenidos por los elementos y personas encargadas de realizar dicha tarea.

Los contadores de agua son elementos hidráulicos encargados de registrar la cantidad de agua que consume un individuo o un grupo de personas, por lo que, estos artefactos deben cumplir con las normativas metrológicas aplicadas y, a su vez, son regulados, probados, examinados y aprobados por las diferentes entidades que rigen las normativas metrológicas en cada país.

Gracias al constante desarrollo de la humanidad, producto de la transformación y evolución de las tecnologías informáticas, las normativas se encuentran en constante evaluación, lo que da como resultado al cambio continuo de las mismas, es por esto, que tomando como referencia bibliografía principal “Gestión integral de Contadores de Agua” (Arregui et al, 2006), este capítulo busca mostrar de manera general los elementos, factores y normativas actuales que relacionados con todo lo correspondiente a la medida de agua.

2.1 CONTADORES

Como antes se menciona, los contadores son dispositivos hidráulicos con la capacidad de contabilizar el volumen de agua que discurre por su interior. Para la selección de estos aparatos se debe de tener en cuenta un conjunto de factores que puedan garantizar el adecuado rendimiento de dicho dispositivo, de los cuales se pueden mencionar:

- 1. Condiciones de funcionamiento e instalación:** La normativa UNE-EN ISO 4064-1: 2018, describe este factor como los distintos rangos de presión, caudal y temperatura para distintos niveles de exigencia propio para cada tipo de contador. Se pueden diferenciar en 3 grupos, condiciones nominales de funcionamiento, condiciones de referencia y condiciones límites. Además, para evitar la alteración en la medición, muestra las características físicas (lugar y posición) donde se debe de instalar cada medidor.
- 2. Máximo error del instrumento:** Un contador debe diseñarse y fabricarse de modo que su error no exceda los errores máximos permitidos. La normativa UNE-EN ISO 4064-1: 2018, en su apartado 4.2, caracteriza este parámetro en función a la clase de precisión que posee cada contador.
- 3. Fiabilidad:** Es la probabilidad de que un contador cumpla con un determinado comportamiento bajo las condiciones específicas de funcionamiento durante un tiempo establecido.
- 4. Posibilidad de calibración:** El instrumento de medida debe tener la capacidad de incorporar dispositivo de corrección que permita ajustar las curvas de error del contador para que, funcionando en campo, la metrología del contador no supere los límites establecidos por las diferentes normativas.
- 5. Coste de adquisición y de operación:** Estos costes comprenden la compra, instalación y gastos administrativos generador por cada medidor. La calidad del mismo se ve directamente relacionada con su coste, por lo que se espera que los contadores más baratos se deterioren en un menor tiempo en comparación con medidores más costosos. De misma forma, el deterioro de estos instrumentos modifica su metrología lo que se puede asociar a un gasto extra relacionado con pérdidas económicas producto de agua no registrada.

En función a su composición, naturaleza y cómo funcionan, estos contadores se pueden dividir en dos grandes familias, que son los contadores mecánicos y los contadores no mecánicos.

2.1.1 CONTADORES MECÁNICOS

Los contadores mecánicos requieren que el flujo de agua movilice algún elemento que conforma al mismo, el cual con su desplazamiento provoca conservar el registro de la cantidad de fluido que ha cruzado a través de dicho contador.

Los contadores de agua mecánicos actualmente más utilizados son:

1. Contadores de chorro único
2. Contadores de chorro múltiple
3. Contadores de pistón rotativo
4. Contadores de disco nutante
5. Contadores Woltmann
6. Contadores Tangenciales
7. Contadores Combinados
8. Contadores Proporcionales

A continuación, se hace hincapié en aquellos tipos de contadores mecánicos que se utilizaron durante los ensayos de este proyecto.

2.1.1.1 *Contadores de chorro único*

Los contadores de chorro único (**Ver Imagen 2**) tienen un funcionamiento basado en la incidencia de un chorro de agua en un punto específico de forma tangencial sobre una turbina (**Ver Imagen 3**). La velocidad de giro de la turbina es proporcional a la fuerza de impacto del agua y, a su vez, el caudal circulante. Dado que la velocidad de rotación de la turbina depende

de la velocidad de impacto del agua, queda claro que los contadores se enmarcan dentro de los medidores de velocidad.



Imagen 2. Contador de chorro único. Catálogo de contadores CEPEX (p. 113), 2019, Recuperado de <https://www.fluidra.es/2019-catalogo-riego/113/>



Imagen 3. Principio de funcionamiento de un contador de chorro único. En *Gestión Integral de Contadores de Agua* (p. 6), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua.

Los contadores de chorro único son fiables y económicos, gracias a esto son comúnmente utilizados como medidores domésticos de agua. Aunque poseen excelente precisión, los caudalímetros de chorro único se deben cuidar ante cualquier alteración en el perfil de

velocidades que posee el agua que se transporta, pues su alteración podría crear errores significativos en la medida. Los contadores de chorro único están diseñados para que su funcionamiento sea totalmente horizontal de forma que la turbina solo se pueda apoyar en un punto específico lo que hace que la zona de rozamiento sea mínima y, de tal manera, se crea menos oposición al movimiento y, así contabilizar los caudales bajos con el menor error posible.

2.1.1.2 Contadores de pistón rotativo

Los contadores de pistón rotativo son un grupo de medidores que pertenecen al tipo de contadores volumétricos, ya que funcionan llenando y vaciando una pequeña cámara en el interior de dicho contador, producto del giro de un elemento móvil que oscila dentro de dicho compartimento (Ver **Imagen 4**).

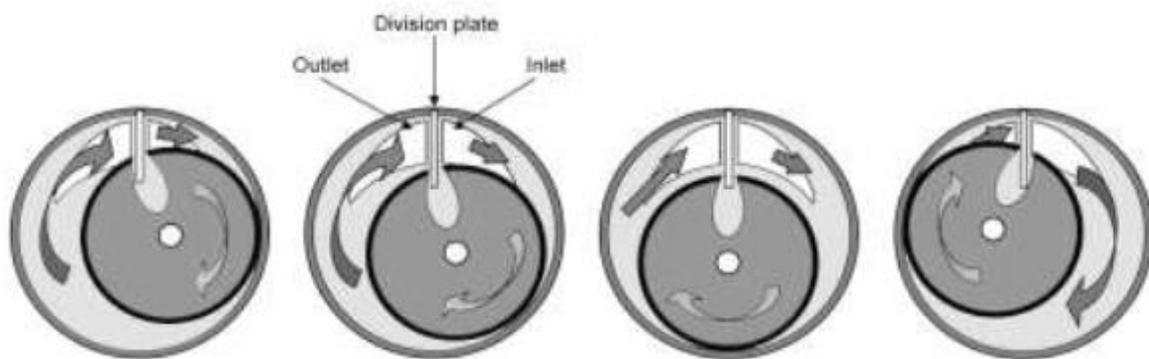


Imagen 4. Principio de funcionamiento de un contador de Pistón Rotativo. En *Gestión Integral de Contadores de Agua* (p. 29), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua.

Los contadores de pistón rotativo poseen la habilidad de resistir cualquier alteración del perfil de velocidades, gracias a esta destreza posibilita a la entidad administrativa a realizar cualquier cambio en la red que pueda alterar el movimiento del fluido, pero garantizando que su medida se realice de manera eficiente.

Para evitar la posibilidad del corte de suministro por alguna partícula que obstruya el movimiento del pistón, el diseño del contador consta con una pequeña malla filtrante que evita

la entrada de sólidos y tiene pequeños orificios que permitan el flujo de cantidades reducidas de agua (**Ver Imagen 5**).

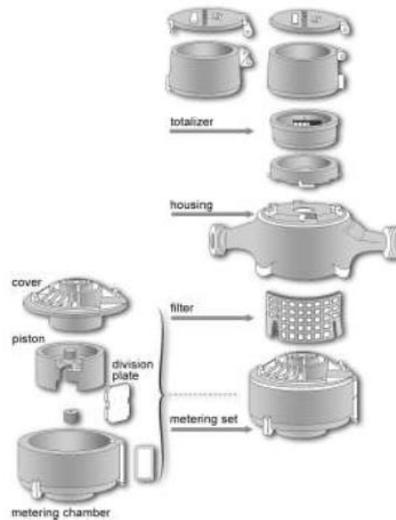


Imagen 5. Partes de un Contador de Pistón Rotativo. En *Gestión Integral de Contadores de Agua* (p. 30), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua.

2.1.2 CONTADORES DE AGUA NO MECÁNICOS

Los contadores no mecánicos se caracterizan por poseer una tecnología más avanzada que los contadores mecánicos; utilizan un conjunto de técnicas para la recopilación de datos que se basa en ondas de sonido o campos electromagnéticos. La mayoría de estos no se entrometen en el movimiento del fluido.

Los contadores no mecánicos son:

- Los contadores ultrasónicos
- Los contadores electromagnéticos
- Los contadores por inserción

A continuación, se describe el funcionamiento de aquellos tipos de contadores no mecánicos que se emplearon durante los ensayos.

2.1.2.1 Los contadores ultrasónicos

El desarrollo de la ciencia ha habilitado el uso de tecnologías para realizar y registrar las actividades humanas. Gracias a este avance se desarrolló la capacidad de utilizar las ondas de sonido para reconocer el volumen de agua que transporta una conducción. Esta innovación permite a las entidades responsables de la administración de las empresas del agua a medir de manera eficiente caudales en conducciones de hasta 8000mm de diámetro.

Existen dos tipos de contadores ultrasónicos: los basados en el tiempo de tránsito y los que utilizan el efecto Doppler.

Los contadores de agua ultrasónicos basados en el tiempo de tránsito aprovechan que la velocidad de propagación del sonido es dependiente del medio transitorio. En general, este tipo posee dos transductores que envían ondas sonoras, y en función al tiempo que le tome en recibir la señal y conociendo el fluido que se transporta, se puede determinar la velocidad del flujo y por consiguiente el caudal del mismo (**Ver Imagen 6**).

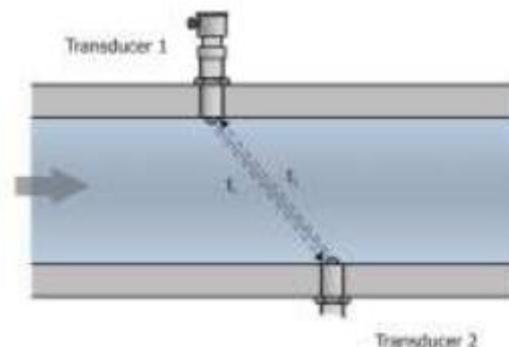


Imagen 6. Principio de Funcionamiento de contadores de agua de Ultrasonido de tiempo de tránsito. En *Gestión Integral de Contadores de Agua* (p. 84), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua.

Los instrumentos de medida basados en el efecto Doppler aprovechan la variación de la frecuencia del sonido en función de las características del medio de transporte que esté utilizando. La variabilidad en la frecuencia entre un emisor y un receptor proporciona la velocidad del fluido y, en función a esto, se determina el caudal circulante (**Ver Imagen 7**).

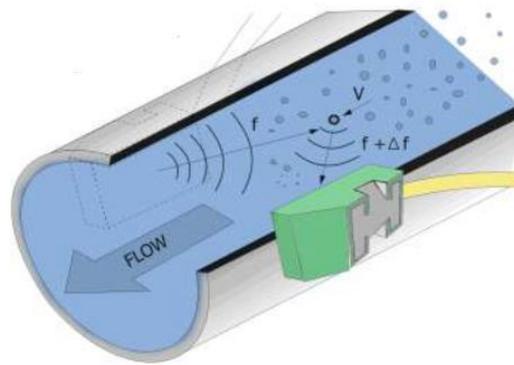


Imagen 7. Principio de funcionamiento de un contador de efecto Doppler. En *Gestión Integral de Contadores de Agua* (p. 87), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua.

2.1.2.2 Los contadores electromagnéticos

El funcionamiento de los contadores electromagnéticos únicamente se puede explicar por la ley de inducción al electromagnetismo de Faraday, la cual menciona que “*un campo magnético que es atravesado por un conductor, induce una fuerza electromotriz proporcional a la velocidad, longitud e intensidad del campo magnético*” es decir, esta tecnología utiliza el agua como el conductor, viajando en una longitud determinada y por un campo magnético determinado por cada fabricante (**Ver Imagen 8**).

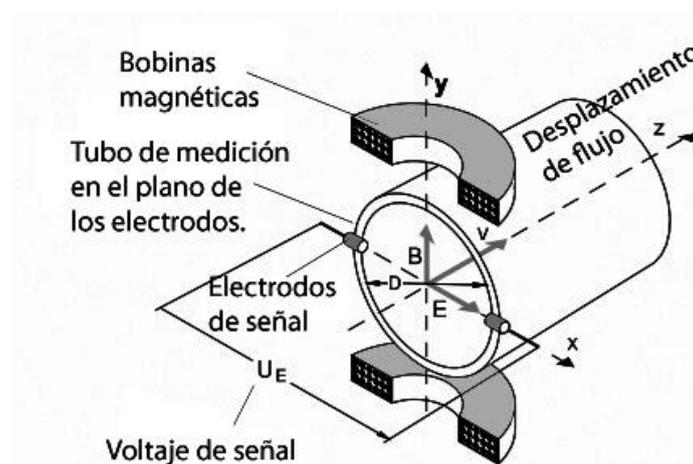


Imagen 8. Principio de funcionamiento de los contadores de agua electromagnéticos. En *Gestión Integral de Contadores de Agua* (p. 100), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua.

La fuerza electromotriz inducida por el agua, puede ser medida con electrodos que están en contacto continuo con el medio conductor (**Ver Imagen 9**). Teniendo en cuenta la relación que hay entre el voltaje producido y la relación velocidad diámetro, se puede determinar el caudal de fluido que atraviesa.

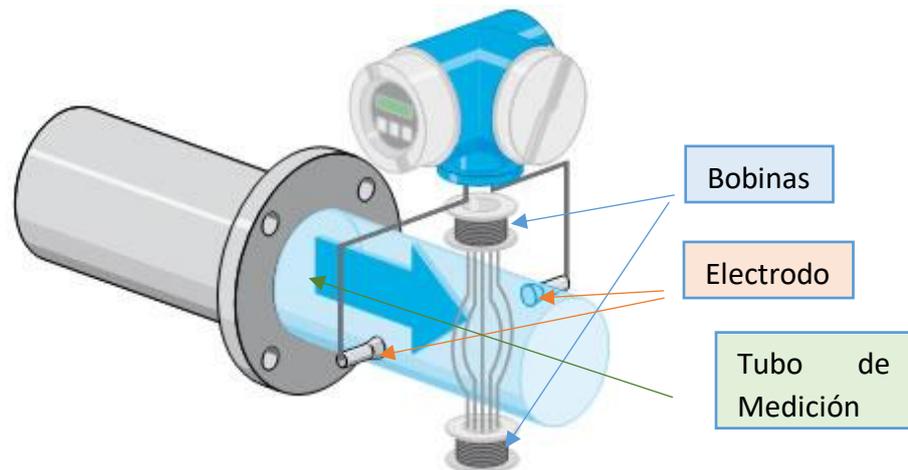


Imagen 9. Detalle de elementos de un contador electromagnético. 2018, Recuperado de <http://www.flpcontrol.com/caudalímetros-electromagnéticos-en-línea/>

2.2 PARÁMETROS METROLÓGICOS

Sin importar la particularidad de cada contador, existen distintos parámetros relacionados directamente con el funcionamiento del mismo que habilita al cuerpo técnico a caracterizar los distintos aspectos de maniobras, estas medidas se utilizan para delimitar las incertidumbres y cuantificaciones resultantes de una experimentación del contador. Estos son:

- **Volumen real:** es el volumen que pasa por un contador independiente del tiempo al que se someta. En caso de un ensayo, el volumen está determinado por un depósito de dimensiones conocidas.
- **Caudal real:** es la relación entre el volumen real y el tiempo que tarda la movilización del mismo.
- **Volumen medido:** es el volumen que mide el contador en representación del volumen real.

- **Caudal medido:** es la relación que hay entre el volumen medido y el tiempo que tarda el transporte del mismo.
- **Error absoluto de medición (Eabs):** Es la diferencia que hay entre el volumen real (Vol. real) y el volumen medido (Vol. med) (**Ver Ecuación Ecuación (1)**). Puede existir un error positivo llamado sobre-contaje y un error negativo denominado sub-contaje.

$$Eabs = Vol\ real - Vol\ med \qquad \text{Ecuación (1)}$$

- **Error de medición relativo (Erel):** Es un valor adimensional que se obtiene al dividir el error absoluto entre el volumen real. En función del error este también puede presentar sub-contaje o sobre-contaje (**Ver Ecuación (2)**).

$$Erel(\%) = \frac{Eabs}{Vol\ real} * 100 \qquad \text{Ecuación (2)}$$

- **Caudal de arranque (Qa):** Es el caudal con el que un contador empieza a tomar medida.
- **Caudal mínimo (Q1):** Es el valor mínimo al que supone debe de trabajar el contador con un error máximo de un $\pm 5\%$, el cual puede ser determinado como la relación entre el caudal nominal (Q3) y el ratio del contador (R) (**Ver Ecuación (3)**).

$$Q1 = \frac{Q3}{R} \qquad \text{Ecuación (3)}$$

- **Caudal de transición (Q2):** Es el caudal que marca la frontera entre la zona con error admisible de $\pm 5\%$ y $\pm 2\%$. El valor de este caudal se puede conocer también como un 160% del caudal mínimo (Q1) (**Ver Ecuación (4)**).

$$Q2 = 1.6 * Q1 \quad \text{Ecuación (4)}$$

- **Caudal Permanente (Q3):** Caudal al que fue diseñado el contador y supone a ser el flujo al que este trabaje la mayor parte del tiempo.
- **Caudal de Sobrecarga (Q4):** Valor máximo de caudal al que puede ser sometido el contador. Este caudal puede comprometer la seguridad del elemento, por lo que se debe evitar que el contador trabaje largas cantidades de tiempo en dicho flujo. De manera numérica se puede conocer el caudal de sobrecarga como el 125% del caudal nominal (**Ver Ecuación (5)**).

$$Q4 = 1.25 * Q3 \quad \text{Ecuación (5)}$$

- **Ratio de Medición (R):** Es el valor adimensional que relaciona al caudal mínimo con el caudal nominal (**Ver Ecuación (6)**). Este se utiliza para conocer la gama de caudales al que puede trabajar el contador.

$$R = \frac{Q1}{Q3} \quad \text{Ecuación (6)}$$

2.3 CURVA DE ERROR

El ser humano como ser viviente falible, debe tratar de conocer los fallos que existen en las herramientas que desarrolla. Saber las equivocaciones ayudará a mejorar y a determinar la eficacia de las tecnologías que se desarrollan.

Como los contadores son artefactos creados por las personas, poseen un error intrínseco, que se debe determinar y, de esa manera, poder evaluar la fiabilidad del elemento de medida.

A la razón de la posibilidad de fallo de los contadores, existen regulaciones internacionales que indican el máximo error permitido (positivo y negativo) para el correcto funcionamiento de estos aparatos.

El error de los contadores se representa mediante una curva, en el eje vertical se figura el error relativo del contador en por ciento y el eje horizontal simboliza el caudal al que se encuentra ese error. De esta manera se puede determinar de manera visual cual fallo posee un contador bajo diferentes alternativas de funcionamiento (**Ver Imagen 10**).

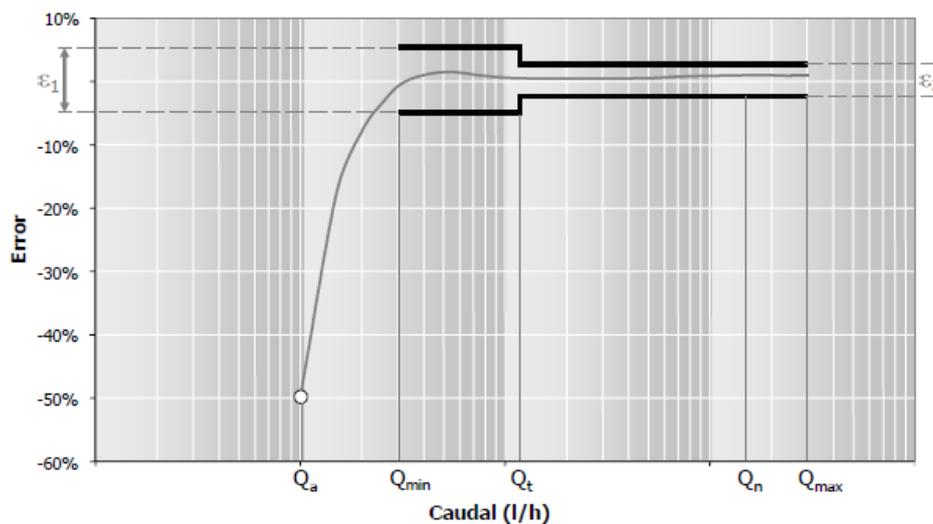


Imagen 10. Errores Máximos Permitidos en un Contador de Agua. En *Gestión Integral de Contadores de Agua* (p. 306), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua

De forma general, en la curva de error se pueden distinguir tres zonas, la primera (Zona 1) el error de medición es inferior al -5%, es decir, el contador posee una variabilidad significativa con respecto al volumen trasegado a este caudal, esto se debe a que el flujo es tan pequeño que no es apreciable por los sensores o no posee la energía suficiente para mover los alabes de una turbina. La segunda zona (Zona 2), el caudal puede ser apreciado por los sensores, turbinas o

hélices de los contadores, pero aun presenta valores de error importantes. En la tercera zona (Zona 3), el error de medición se comporta de manera estable y es casi independiente del caudal circulante (**Ver Imagen 11**).

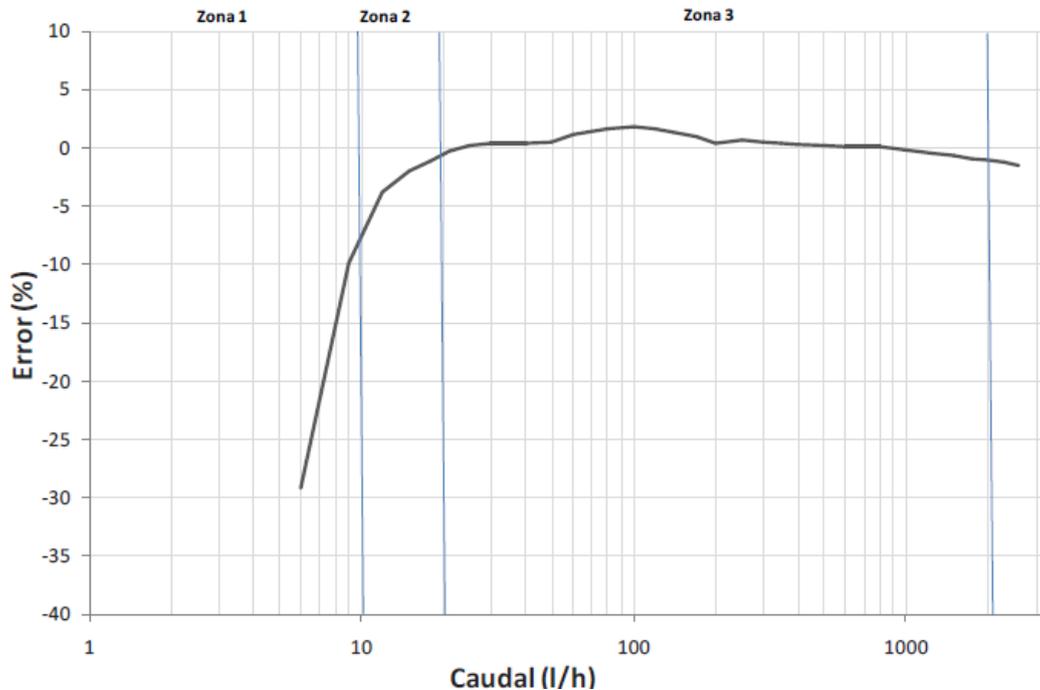


Imagen 11. Curva de Error de un Contador de Agua. En Gestión Integral de Contadores de Agua (p. 305), Por Arregui et al., 2007, Valencia, España, Derechos de Autor [2007] por el Instituto Tecnológico del Agua

2.4 NORMATIVAS INTERNACIONALES

Existen diferentes documentos normativos y entidades internacionales que se encargan de la regularización de los parámetros correspondientes a la toma de medida y, de la misma manera, determinan las características constructivas de los contadores de agua. Estas entidades son:

- Organización Internacional para la Estandarización (ISO)
- Organización Internacional de Metrología Legal (OIML)
- American National Standard Institute (ANSI)
- American Water Works Association (AWWA)

2.4.1 UNE-EN ISO

La normativa UNE-EN ISO4064:2018 es la combinación de las normativas de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) y del Comité Europeo de Normalización (CEN). Tras su última revisión en el año 2018, esta normativa busca garantizar el funcionamiento de los contadores de agua fría y caliente. Este documento se compone de 5 secciones, abarcando todo lo relacionado con los contadores de agua.

De las cinco partes que tiene este documento, se destacan para la elaboración de este proyecto la parte 1 “los requisitos metroológicos y técnicos” y la parte 2 “los métodos de ensayo”.

- UNE-EN ISO 4064:1: Requisitos metroológicos y técnicos
- UNE-EN ISO 4064:2: Métodos de ensayo.
- UNE-EN ISO 4064:3: Formato de informe de ensayo.
- UNE-EN ISO 4064:4: Requisitos no metroológicos no cubiertos por la ISO 4064-1
- UNE-EN ISO 4064:5: Requisitos de instalación.

2.4.2 Organización Internacional de Metrología Legal (OIML)

La Organización Internacional de Metrología Legal es una recomendación internacional cuyo objetivo es unir los reglamentos y controles metroológicos aplicados a los servicios nacionales. La última actualización de esta normativa se realizó en el año 2013. La parte específica de este reglamento encargado del funcionamiento de los contadores de agua es la OIML R-49 y esta se divide en diferentes partes como son:

- OIML R-49-1: Requerimientos técnicos y metroológicos
- OIML R-49-2: Métodos de ensayo
- OIML R-49-3: Formato del informe del ensayo

2.4.3 ANSI & AWWA

En los Estados Unidos, a diferencia de la Unión Europea, no existen normas que regularicen el tema de los contadores de agua. Sin embargo, el AWWA y el ANSI animan y ayudan a los fabricantes a desarrollar las tecnologías que tienen que ver con los medidores de agua y, a su vez, buscar incrementar la eficiencia de estos aparatos, siempre y cuando estén dispuestos a acatar los requerimientos de esas instituciones. Las normas de dicho cuerpo específicas para contadores de agua fría van desde la C700 hasta la C750.

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3 MATERIALES Y METODOS

Cada medidor de agua posee diferentes características, como pueden ser: su capacidad, tamaño, funcionalidad y/o cualquier otra peculiaridad general, es por esto que, el presente trabajo toma como punto de partida la información aportada por cada fabricante, para tener así plena conciencia de las particularidades de cada contador ensayado.

Los contadores estáticos evaluados en el desarrollo de este proyecto son contadores que no han sido instalados antes en campo, es decir, son aparatos sin utilización o con un volumen inicial registrado inferior a un metro cúbico de agua. En cambio, los contadores de chorro único son medidores usados, esto es debido a que se le realizaron los ensayos después de removerlos del campo.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS CONTADORES PROPORCIONADOS POR EL FABRICANTE

Como se señala anteriormente, este proyecto toma como punto de arranque el conocimiento aportado por los fabricantes de los contadores de agua. En función a esta información, se conocen características del contador, como: diámetro, longitud, ratio, caudal de funcionamiento nominal, caudal mínimo de funcionamiento, tecnología del medidor y año de fabricación.

En la tabla que se muestra a continuación (**Ver Tabla 1**), se denotan las particularidades físicas según el fabricante, que posee cada uno de los contadores que forman parte del estudio realizado en el presente proyecto.

Tabla 1. Características físicas de los contadores de agua según el fabricante.

Modelo de contador	Año de Fabricación	Tecnología	DN (mm)	Longitud (mm)
MD1	2017	Ultrasonido	15	110
ME1	2017	Ultrasonido	15	110
MB1	2018	Ultrasonido	15	110
MC1	2014	Electromagnético	15	110
MB2	2018	Ultrasonido	15	110
MF	2017	Ultrasonido	15	110
ME2	2018	Ultrasonido	15	110
MD2	2019	Ultrasonido	15	110
ME3	2018	Ultrasonido	15	110
MD3	2019	Ultrasonido	15	110
MA1	2017	Chorro Único	15	110
MA2	2014	Chorro Único	15	110
MA3	2014	Chorro Único	15	110
MA4	2014	Chorro Único	15	110
MA5	2014	Chorro Único	15	110
ME4	2019	Ultrasonido	20	190
ME5	2018	Ultrasonido	20	190
MH	2019	Ultrasonido	20	190
MG1	2019	Chorro Único	20	190
MG2	2019	Chorro Único	20	190
MC2	2019	Electromagnético	20	190

Los contadores de agua ensayados en la elaboración de la presente investigación, al igual que poseer particularidades físicas diferentes, poseen características de funcionamiento que difieren unos de otros. A continuación, se muestra una tabla con la información intrínseca, como es el ratio del contador y los caudales que hacen frontera entre las diferentes zonas de funcionamiento de manera detallada para cada medidor (**Ver Tabla 2**).

Tabla 2. Características de funcionamiento según el fabricante

Modelo de contador	Ratio	Q3 (m ³ /h)	Q1 (m ³ /h)	Q2 (m ³ /h)	Q4 (m ³ /h)
MD1	400	2.5	0.006	0.01	3.125
ME1	160	1.6	0.010	0.02	2
MB1	400	2.5	0.006	0.01	3.125
MC1	800	2.5	0.003	0.01	3.125
MB2	400	2.5	0.006	0.01	3.125
MF	800	2.5	0.003	0.01	3.125
ME2	160	1.6	0.010	0.02	2
MD2	400	2.5	0.006	0.01	3.125
ME3	160	1.6	0.010	0.02	2
MD3	400	2.5	0.006	0.01	3.125
MA1	125	2.5	0.020	0.03	3.125
MA2	125	2.5	0.020	0.03	3.125
MA3	125	2.5	0.020	0.03	3.125
MA4	125	2.5	0.020	0.03	3.125
MA5	125	2.5	0.020	0.03	3.125
ME4	160	2.5	0.016	0.03	3.125
ME5	160	2.5	0.016	0.03	3.125
MH	400	4	0.010	0.02	5
MG1	160	4	0.025	0.04	5
MG2	160	4	0.025	0.04	5
MC2	160	4	0.025	0.04	5

3.1.1 CONTADORES VOLUMÉTRICOS

Los contadores volumétricos identificados como MV, son medidores de pistón rotativo que fueron fabricados en el año 2001. Estos contadores en la entrada y en la salida constan de un diámetro igual a 15mm y una longitud de punta a punta de 110mm.

Los contadores volumétricos tienen un ratio de 100, un (Q3) = 1.5 m³/h, (Q1) = 0.015 m³/h, (Q2) = 0.024 m³/h y (Q4) = 3 m³/h.

3.2 BANCADAS DE ENSAYO

Los ensayos se dividen en diferentes grupos de contadores llamados bancadas. El nombre de cada una de estas corresponde al conjunto de contadores que se evaluaron en serie en el banco de ensayo de contadores de la UPV, es decir, medidores que se ensayaron de manera simultánea.

A continuación, se muestra una tabla que describe los contadores que formaron parte de cada bancada.

Tabla 3. Bancadas de los ensayos en régimen permanente

Nº Bancada	Contador 1	Contador 2	Contador 3	Contador 4	Contador 5
1	MD1	ME1	MB1	MC1	MB2
2	MF	ME2	MD2	ME3	MD3
3	MA1	MA2	MA3	MA4	MA5
4	ME4	ME5	MH	MG1	-
5	MG2	MH	ME4	MC2	-
6	MV1	MV2	MV3	MV4	MV5

En la primera columna se muestra el nombre de cada bancada y en las columnas siguientes el identificador de cada medidor de agua que pertenece a dicho grupo. Las bancadas 4 y 5 están conformadas por contadores de mayor longitud, ya que, el banco de ensayos solo posibilita el análisis de cuatro medidores a la vez.

3.3 CARACTERÍSTICAS INICIALES DE LOS CONTADORES

Para asegurar la confidencialidad de los datos de los medidores evaluados en este proyecto, en la descripción que está a continuación, los contadores no poseen los mismos nombres ni orden de presentación que los mostrados en los demás apartados.

3.3.1 CONTADORES CALIBRE 15MM

- **Contador 1**

El contador de agua de ultrasonido 1 fue fabricado en el año 2017 (**Ver Imagen 12**). Tenía un volumen inicial acumulado de 388.556 m³. En principio se iba a ensayar un segundo contador con las mismas características físicas que este, pero con un volumen acumulado de 0 m³; pero debido a una rotura en la rosca de éste, se imposibilitó la evaluación del mismo (**Ver Imagen 13**).



Imagen 12. Contadores de ultrasonido modelo 1

En la entrada del contador se encuentra una rejilla para evitar el paso de partículas sólidas (**Ver Imagen 14**), y en la salida existe una válvula de retención que impide el flujo en dirección contraria a la que admite el medidor. La dirección para la cual está diseñado este contador se ve graficado en forma de flecha en la parte externa de dicho aparato.



Imagen 13. Contador 1 (Vista lateral) y avería en la salida del contador



Imagen 14. Entrada (izquierda) y salida (derecha) del contador modelo 1.

- **Contador 2**

En este proyecto, estuvo presente un contador 2 (**Ver Imagen 15**) fabricado en el año 2017, el volumen de agua que ya había registrado dicho contador es de 1.51m³.



Imagen 15. Contador de ultrasonido modelo 2.

El medidor de agua modelo 2, en la parte lateral externa posee una flecha que indica la dirección del flujo al cual este aparato debe ser sometido (**Ver Imagen 16**), así mismo, en la abertura que funciona como entrada del medidor, se encuentra una rejilla, su función es la de filtro para evitar que cualquier partícula que pueda dañar el contador entre al interior del mismo.



Imagen 16. Contador 2 (Vista lateral y entrada del medidor)

- **Contador 3**

El contador 3 presente en este proyecto es de tecnología electromagnética (**Ver Imagen 17 e Imagen 18**), el mismo fue fabricado el año 2014 y tenía un volumen acumulado de 0.006m^3 de agua.

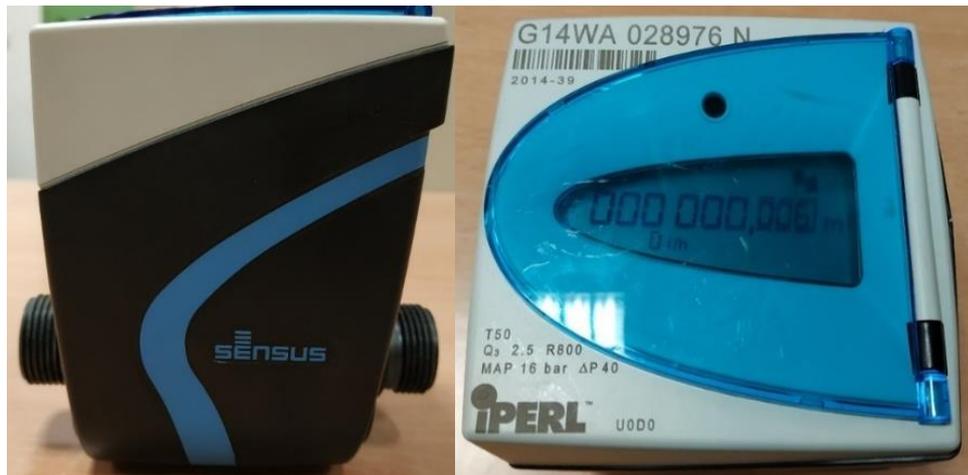


Imagen 17. Vista lateral del contador 3 (izquierda) y pantalla principal o display (derecha).



Imagen 18. Entrada de contador 3

- **Contador 4**

En esta investigación se tienen contadores de ultrasonido modelo 4 ensayados (**Ver Imagen 19**). El primero de ellos tiene un volumen acumulado inicial de 1.170m^3 y el segundo tiene un volumen acumulado inicial de 1.177m^3 .



Imagen 19. Pantalla principal o display de contadores de ultrasonido modelo 4

Los contadores modelo 4 en la parte lateral poseen una flecha que indica la dirección del flujo a la cual estos deben de ser sometidos (**Ver Imagen 20**), a su vez, en la entrada del medidor se encuentra una pequeña rejilla que funciona como filtro para frenar el paso de partículas sólidas que puedan dañar el aparato (**Ver Imagen 21**).



Imagen 20. Vista lateral de contador 4



Imagen 21. Salida (izquierda) y entrada (derecha) de los contadores modelo 4

- **Contador 5**

El contador 5 es un medidor de agua que utiliza tecnología de ultrasonido y fue fabricado en el año 2017 (**Ver Imagen 22**). Este medidor tiene un volumen inicial acumulado de 12.562m³.



Imagen 22. Pantalla principal o display contador modelo 5

Igualmente tiene en el costado una impresión en forma de saeta la cual muestra el sentido del flujo a la cual este aparato fue diseñado (**Ver Imagen 23**).



Imagen 23. Contador 5, vista lateral (izquierda) y entrada del medidor (derecha)

- **Contador 6**

Los contadores 6, ambos fabricados en el año 2018. El primero de estos tenía un volumen acumulado de 3.027m^3 y el segundo tenía un volumen acumulado de 0.494m^3 (Ver Imagen 24).



Imagen 24. Contadores modelo 6. Display (izquierda) y vista lateral (derecha).

- **Contadores 7**

Los contadores 7 fueron fabricados en el año 2019. El primero tenía un volumen acumulado de 1.107m^3 y 1.103m^3 es el volumen inicial del segundo de estos, ambos fueron evaluados en este trabajo (Ver Imagen 25).



Imagen 25. Contadores 7 (Vista del display)

Estos medidores poseen un elemento filtrador en su entrada, que imposibilita el ingreso de partículas sólidas que puedan causar daños al mismo (**Ver Imagen 26**). También, en el costado se encuentra una figura de una flecha que indica la dirección que debe tener el flujo para que se logre contabilizar el volumen de agua que se ha transportado (**Ver Imagen 27**).



Imagen 26. Entradas de los contadores 7.



Imagen 27. Vista lateral de los contadores 7.

- **Contadores 8**

Estos son medidores mecánicos de chorro único (**Ver Imagen 28**). El volumen acumulado de cada uno de los contadores a evaluar es 1096.863m³, 3720.2907m³, 3363.6733m³, 2752.4843m³ y 514.047m³. Solo uno de ellos fue fabricado en el año 2017 mientras que los restantes fueron fabricados en el año 2014.



Imagen 28. Contadores 8 de chorro único.

El contador 8 tiene un triángulo en la superficie lateral externa, la cual indica la dirección del flujo al cual este medidor debe ser sometido para lograr un correcto funcionamiento (**Ver Imagen 29**). Así mismo, en la entrada del contador existe un pequeño tamiz con la

capacidad de frenar cualquier partícula sólida que pueda dañar o alterar el funcionamiento del contador (**Ver Imagen 29**).

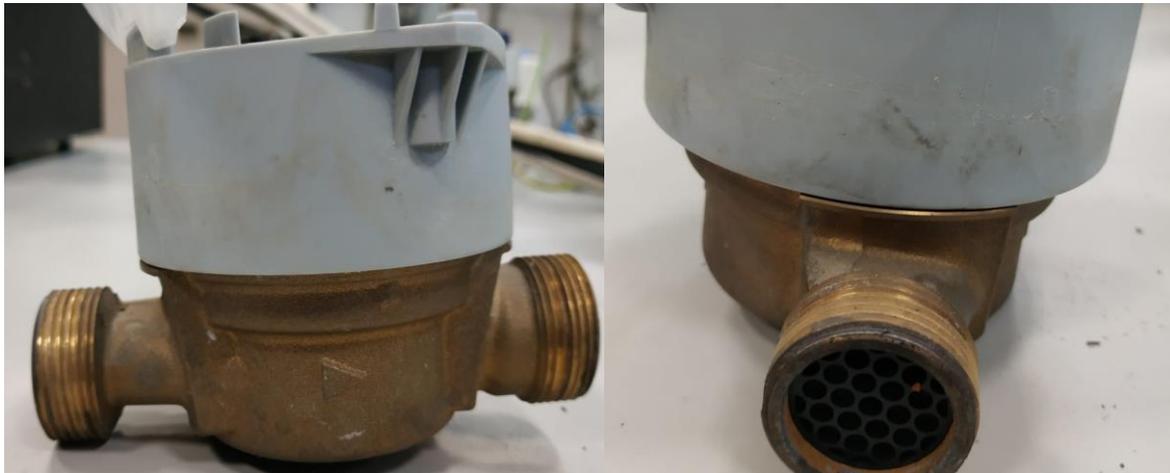


Imagen 29. Vista lateral (izquierda) y entrada (derecha) de los contadores 8 de chorro único.

3.3.2 CONTADORES CALIBRE 20MM

- **Contador 9**

El contador ultrasónico modelo 9 fue fabricado en el año 2019. Este medidor fue ensayado en conjunto con los otros contadores de 1 pulgada de diámetro y el mismo poseía un volumen acumulado inicial de 0.148m^3 (**Ver Imagen 30**).



Imagen 30. Pantalla principal o display de contador modelo 9

Para lograr el funcionamiento efectivo de este contador, el flujo debe seguir el sentido al que está diseñado el medidor. La dirección esta mostrada en la parte lateral del caudalímetro en forma de flecha, la cual está apuntando a la salida aguas abajo del aparato (**Ver Imagen 31**).



Imagen 31. Vista lateral (izquierda) y entrada (derecha) de contadores modelo 9

- **Contador 10**

En el grupo de contadores de 20mm que se evaluó en régimen permanente, estuvo presente un contador mecánico de identificación como contador 10, su año de producción fue 2019 y tuvo volumen acumulado de 0.569m³ (**Ver Imagen 32**).



Imagen 32. Totalizador del contador modelo 10 (izquierda) y vista lateral del contador 10 (derecha)

Este contador posee una reja en la entrada del contador con función de filtro para evitar la entrada de posibles partículas sólidas que puedan ingresar y dañar el contador (**Ver Imagen 33**). También, en la parte lateral dispone de un grabado con forma de flecha que indica la dirección que el flujo debe tener para que el contador actúe de la manera que este fue diseñado (**Ver Imagen 32**).



Imagen 33. Entrada del contador modelo 10 (izquierda) y salida del contador modelo 10(derecha)

- **Contadores 11**

En este proyecto los contadores modelo 11 con un diámetro de 1 pulgada, estuvieron dentro de los contadores ensayados; uno de ellos posee un año de producción de 2018 y tiene un volumen acumulado de 1.458m^3 , el otro fue elaborado en el año 2019 con un volumen acumulado de 0.850m^3 (**Ver Imagen 34**).



Imagen 34. Pantalla principal o display de los contadores modelo 11 (izquierda) y entrada de los contadores (derecha).

Los medidores numero 11 poseen una rejilla aguas arriba del aparato para impedir la entrada de cualquier partícula sólida que pueda causar daños en el contador (**Ver Imagen 34**). En la parte lateral se encuentra estampada una figura con forma de flecha, que apunta a la salida aguas abajo a la que está diseñado este contador (**Ver Imagen 35**).



Imagen 35. Salida (izquierda) y vista lateral (derecha) de contadores modelo 9

3.4 BANCADA DE REFERENCIA

- **Contadores MV**

En la bancada de contadores volumétricos (**Ver Imagen 36**) se examinaron cinco contadores de tipo pistón rotativo con los siguientes identificativos: MV1, MV2, MV3, MV4 y MV5. Cada uno de estos contadores fueron fabricados en el año 2001. Al inicio de los ensayos estos contadores ya tenían un volumen de agua registrado, los cuales fueron: 42.372m³, 26.623m³, 37.037m³, 35.503m³ y 8.237m³ de forma respectiva.



Imagen 36. Vista principal de contador volumétrico

Para que los contadores volumétricos registren el volumen de agua de manera correcta, el sentido que debe tener el flujo debe seguir la dirección a la que indica la flecha grabada en la parte exterior del contador (**Ver Imagen 37**).



Imagen 37. Salida (izquierda) y vista lateral (derecha) del contador volumétrico

CAPITULO IV

ENSAYOS DE CONTADORES

4 ENSAYOS DE CONTADORES

4.1 BANCO DE ENSAYOS EN RÉGIMEN PERMANENTE

Un banco de ensayo es el lugar donde los contadores de agua y caudalímetros son sometidos a evaluaciones para determinar la veracidad de la medida registrada de dichos aparatos.

Un banco de ensayos sirve para obtener valores comparables que permiten determinar la eficiencia de la medida de un contador de agua, comparando el volumen registrado por cada contador con un volumen de referencia conocido.

En la elección de un banco de ensayo se debe tener claro cuáles son los objetivos que persigue dicho laboratorio y la cantidad de instrumentos a los que se les realizaran las pruebas (Arregui et al. 2007).



Imagen 38. Banco de ensayo de contadores de la Universidad Politécnica de Valencia

4.1.1 COMPONENTES BÁSICOS DEL BANCO DE ENSAYOS DE RÉGIMEN PERMANENTE

Existen al menos dos tipos de bancos de ensayos, los gravimétricos y los volumétricos. Un banco volumétrico almacena durante un tiempo un volumen de agua dentro de una toba de volumen conocido, esto permite conocer el error de los contadores comparando el volumen

que registran con el volumen almacenado en la toba y permite además conocer el caudal de ensayo en función a la relación que existe entre el volumen de agua que ha traspasado y la duración de dicho ensayo.

En cambio, los bancos de tipo gravimétrico funcionan pesando el agua que se almacena en una toba.

Un esquema básico de un banco de ensayos consta de diferentes elementos, los cuales deben tener la capacidad suficiente para que pueda cubrir cualquier tipo de ensayo a la que está diseñado (**Ver Imagen 39**).

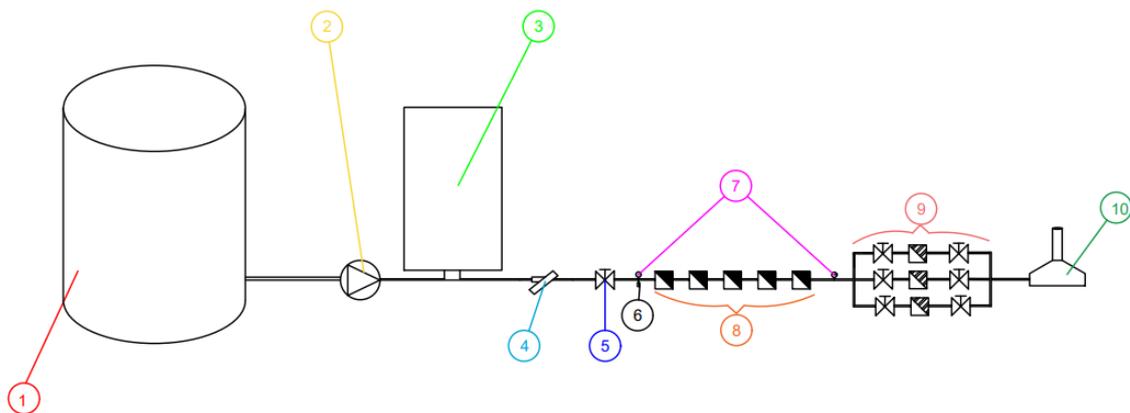


Imagen 39. Esquema básico de un banco de ensayo de contadores

En la **Imagen 39** se pueden apreciar:

1) Depósito de aspiración:

El depósito debe de tener la capacidad suficiente para realizar ensayos en la sección de mayor diámetro, sin situar en peligro el grupo de bombeo debido a la posible cavitación por la disminución del nivel de agua del mismo.

2) Grupo de bombeo:

El grupo de bombeo debe ser capaz de mantener una presión suficiente para vencer las pérdidas de carga de las instalaciones en momentos de caudales altos. Es

recomendable utilizar variadores de frecuencia y, de esta manera, reducir el gasto energético.

3) Calderín:

El calderín o depósito hidroneumático protege la veracidad de los ensayos evitando que los contadores se vean afectados por las vibraciones del grupo de bombeo, sobre todo en momentos que se sometan a ensayos de caudales bajos.

4) Filtro:

El filtro, pudiendo ser uno o varios, evita el paso de partículas sólidas que puedan dañar a cualquier elemento que pertenezca al banco de ensayos y a los propios contadores de agua que se estén ensayando.

5) Válvula de seccionamiento:

Estas sirven para aislar de manera hidráulica a las diferentes secciones del banco.

6) Termómetro:

Son elementos opcionales y sirven para conocer la temperatura del agua y, de esa manera, conocer la densidad. Esta información es fundamental en aquellos casos en los que el registro de comparación (volumen conocido) se realice con un instrumento de pesaje y, también nos asegura que el fluido está dentro de los rangos para los que se han diseñado los contadores ensayados.

7) Medidores de presión:

Los manómetros se utilizan para verificar la presión que están aportando los calderines y el grupo de bombeo.

8) Contadores ensayados:

Los contadores ensayados son aquellos que se someten a pruebas para determinar la eficacia en la medición de los mismos.

9) Válvulas de regulación y caudalímetros de referencia:

Estos permiten ajustar el caudal que está circulando, de manera especial, los contadores de referencia también pueden ser utilizados como elementos de comparación.

10) Depósito de volumen conocido:

El tanque volumétrico es un elemento fabricado comúnmente, con acero inoxidable, con la finalidad de evitar cambios en la geometría del elemento. Se utiliza como dispositivo de control para el cálculo de error de los contadores.

4.1.2 DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS METROLÓGICO EN RÉGIMEN PERMANENTE

El banco de ensayo empleado en este proyecto es el de contadores de agua del Grupo de Ingeniería y Tecnología del Agua (ITA) de la Universitat Politècnica de València (UPV) (**Ver Imagen 40**). Este laboratorio posee diferentes tipos de materiales y equipos que son utilizados para realizar el análisis metrológico de contadores de agua de diámetros entre 15mm y 40mm en régimen permanente. A continuación, se muestran imágenes y descripciones del funcionamiento de cada uno de los elementos del antes mencionado banco de ensayos.



Imagen 40. Banco de ensayos de contadores en funcionamiento de la Universidad Politécnica de Valencia

1. Línea de ensayo:

Es el lugar donde se coloca en serie cada contador a evaluar de manera tal que el flujo que pasa por cada uno es el mismo (**Ver Imagen 41**). Esta línea de ensayos permite, según el diámetro del medidor, evaluar hasta cinco contadores de agua a la vez.



Imagen 41. Línea de ensayo del banco de evolución de contadores de la Universidad Politécnica de Valencia

2. Válvulas y líneas de regulación:

El banco de ensayos de la UPV tiene 3 líneas de regulación (**Ver Imagen 43**), cada una capaz de trasegar diferentes rangos de caudal, las cuales son:

- **Línea 1:** Línea de ½” de diámetro, también conocida como línea de caudales bajos. Esta línea es capaz de trabajar con caudales de hasta a 120 l/h.
- **Línea 2:** Línea de ¾” de diámetro, conducción de caudales medios-altos, tubería diseñada para funcionar con rangos de caudal desde 120 l/h hasta 5000 l/h.
- **Línea 3:** Línea de caudales altos, posee un diámetro de 1 ½” y permite ensayos con valores de caudal que superen los 5000 l/h.

Las válvulas de regulación permiten controlar el caudal al cual se ensayan los contadores. Cada una de las válvulas posee un diámetro diferente que depende de la línea a la cual esté conectada y el rango de caudal para el que está previsto, siempre diseñadas para evitar problemas de cavitación. Las válvulas que regulan son:

- Válvula TECVEL para microcaudales (RG-91):** esta válvula se encarga de la línea 1, correspondiente a caudales bajos (**Ver Imagen 44**).
- Válvula TECVEL (CR-100) para caudales medios-altos:** A esta válvula le corresponde regular el caudal que se transporta por la línea 2 (**Ver Imagen 42**).



Imagen 42. Válvula TECVEL para caudales medios-altos



Imagen 44. Válvula TECVEL para microcaudales



Imagen 43. Líneas de regulación del banco de ensayos de la UPV

3. Equipo de bombeo:

El equipo de bombeo del laboratorio posee dos bombas trabajando de manera paralela (**Ver Imagen 45**), cuya función es aportar energía al flujo en caso de caudales altos, como es el caso de los caudales que pasan por las líneas 2 y 3. Este grupo de bombeo posee un variador de frecuencia el cual posibilita aportar, exclusivamente, la energía necesaria para mantener una presión constante en el circuito.



Imagen 45. Equipo de bombeo para el banco de ensayos de contadores de la UPV

4. Depósito hidroneumático:

Los calderines (**Ver Imagen 46**) buscan proteger la instalación de cualquier golpe de ariete que se pueda presentar por el encendido o apagado de las bombas y también de una apertura o cierre de las válvulas de seccionamiento o regulación, sobre todo en momentos de llenado de las líneas. De igual manera, los depósitos hidroneumáticos se utilizan para realizar ensayos a caudales bajos, pues los mismos son capaces de aportar la energía suficiente al fluido, y así, generar ahorro de energía.



Imagen 46. Deposito hidroneumático del laboratorio de hidráulica de la UPV

5. Panel de control:

Es el centro de mando (**Ver Imagen 47**) de todo el banco de ensayos con respecto al encendido o apagado de los equipos. Por igual, el panel de control permite visualizar el caudal que se transporta por la línea 3.



Imagen 47. Panel de control de ensayos y display para ver el caudal que pasa por la línea 3

6. Válvula de entrada:

Es una válvula de seccionamiento que posibilita la entrada de agua a la línea de ensayo (**Ver Imagen 48**).



Imagen 48. Válvula de seccionamiento en la entrada del banco de ensayo.

7. Depósitos de Volumen Conocido:

Este banco de ensayos posee dos depósitos de volumen conocido, uno de 10 litros y otro de 200 litros (**Ver Imagen 49**). En función del caudal de ensayo y la incertidumbre admisible, se selecciona uno de los dos y este sirve como referencia para comprobar la exactitud o el error de los contadores ensayados.



Imagen 49. Depósitos de volumen conocido del laboratorio de hidráulica de la UPV. Depósito de 200 litros (izquierda) y depósito de 10 litros (derecha).

8. Cánulas y juntas de unión:

Las cánulas son los elementos encargados de unir la entrada y la salida de cada contador en la línea de ensayos, estos poseen la longitud suficiente para permitir que cualquier distorsión que se pueda presentar en el perfil de velocidades, se estabilice y evite crear errores de medida. Las juntas de goma aseguran la estanqueidad en toda la línea de ensayos (**Ver Imagen 50**).



Imagen 50. Tubos y juntas de unión del banco de ensayos de la UPV

9. Probeta de medida y sensor de corte:

Las probetas de medida están presentes en cada uno de los depósitos de volumen conocido, estas sirven para determinar, de manera visual y sencilla, el volumen de agua en litros que posee el depósito (**Ver Imagen 51**).

Los sensores de corte permiten detener el ensayo cuando el depósito de volumen conocido alcanza la cantidad determinada para ese ensayo (**Ver Imagen 51**).



Imagen 51. Probetas de medida y sensores de corte (rectángulo rojo) en los depósitos de volumen determinado

10. Medidores de presión:

Permiten determinar la presión de entrada y salida de la línea de ensayos (**Ver Imagen 52**).



Imagen 52. Manómetros en línea de ensayos del banco.

11. Temporizador digital:

Registra la duración del ensayo en segundos. Este se detiene cuando el volumen de agua se pone en contacto con el sensor de corte (**Ver Imagen 53**). Conociendo el volumen de agua acumulado en el depósito y el tiempo de ensayo se puede comprobar el caudal que estaba pasando por cada contador.



Imagen 53. Temporizador digital Panasonic, del banco de ensayos de la UPV.

12. Caudalímetros de referencia:

- a. **Caudalímetro SINTRANS F M MAG 6000 I/ 6000 I EX DE:** este elemento de tecnología electromagnética posee una precisión del $\pm 0.2\%$, se utiliza para medir el caudal que pasa por la línea 1 (**Ver Imagen 56**).
- b. **Caudalímetro KROHNE IFC100:** es un caudalímetro electromagnético que permite conocer el caudal que viaja en la línea 2 (**Ver Imagen 55**).



Imagen 55. Sensor electromagnético marca Krohne.



Imagen 56. Sensor electromagnético Siemens.



Imagen 54. Caudalímetros electromagnéticos Krohne (izquierda) y Siemens (derecha)

13. Válvula de desagüe de depósitos:

Estas válvulas permiten la salida o retención de todo el volumen de agua que esté presente en el depósito de volumen conocido (**Ver Imagen 57**).



Imagen 57. Válvulas de desagüe de los depósitos de volumen determinado. Depósito de 200 litros (izquierda) y depósito de 10 litros (derecha).

14. Válvula neumática y filtro de latón:

El banco de ensayos de la UPV consta de una válvula de control de tipo neumático que funciona comprimiendo aire para cortar el paso del agua en el momento en que el sensor de paro determina que el volumen trasegado es el determinado para el ensayo (**Ver Imagen 58**).

Para cuidar a todos los elementos de posibles partículas que puedan afectar el buen funcionamiento de las instalaciones, existe un filtro de latón tipo “y” que impide el paso de los sólidos utilizando una malla filtrante (**Ver Imagen 58**).

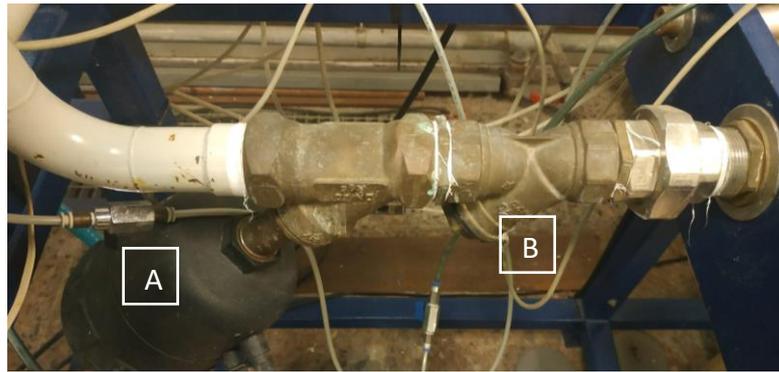


Imagen 58. Válvula neumática (A) y filtro (B)

4.1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS EN RÉGIMEN PERMANENTE

Los contadores de agua tienen como característica la curva de error y, para conocerla, se debe someter el contador a ensayos de caudal con flujo fijo según las normativas internacionales antes mencionadas.

Todos los contadores siguen un proceso semejante de ensayo variando de manera única los caudales cuando se finaliza dicho ensayo. Para lograr realizar un experimento correcto, se deben seguir los siguientes pasos:

- **Montaje de Bancada:**

El montaje de cada bancada se debe realizar con la válvula de entrada cerrada. En primer lugar, cada contador se coloca en la línea de ensayos desde aguas abajo de la bancada hasta aguas arriba, para lograr la conexión entre cada uno de los contadores utilizando las cánulas y juntas de unión. En segundo lugar, se presiona la línea con la palanca que está aguas abajo de la válvula de entrada y, de esta forma, se asegura la estanqueidad de la conducción.

- **Llenado de la línea de ensayos:**

Esta se llena en principio utilizando únicamente la presión aportada por los depósitos hidroneumáticos. Se abre la válvula de entrada poco a poco y, de esta manera, evitar cualquier

golpe de ariete que pueda presentarse en el sistema. También, el llenado paulatino de la línea evita el arrastre de partículas que puedan estar en el interior del contador que estuvo antes en el campo, y así, asegurar que no se dañe y/o cambien las características metrológicas del contador en curso.

Para confirmar que la línea está completamente llena, se debe realizar una purga de aire abriendo cada una de las líneas de manera ordenada por un tiempo de al menos cinco minutos empezando por la línea 1 hasta la línea 3.

El tiempo de llenado se debe utilizar para verificar la ausencia de fugas en la línea de ensayos, es por esto que, después de transcurrir el tiempo de llenado utilizando únicamente el calderín, se somete la conducción a presiones mayores con ayuda del sistema de bombeo, esto se hace para sacar cualquier burbuja de aire que no haya salido al momento de purgar y para volver a inspeccionar la estanqueidad de la línea.

- **Ensayos con caudales bajos:**

Después de tener la línea de ensayos montada y haber confirmado la estanqueidad de la conducción, se puede iniciar a ensayar la bancada de contadores. El ensayo se inicia abriendo la línea correspondiente al caudal que se quiera ensayar, hasta el depósito de volumen conocido que quiera llenar y se presiona el botón de arranque en el panel de control.

Para evaluar contadores a caudales bajos se debe elegir el depósito de volumen conocido en función a la incertidumbre admisible del ensayo y el tiempo que se dispone para realizar el análisis de dichos contadores.

Buscando disminuir la cantidad de tiempo que toma el ensayo de contadores mecánicos, se utiliza como referencia el depósito de 10 litros y, de la misma manera, los contadores ensayados de chorro único poseen mayor número de cifras en el totalizador, lo que provoca una incertidumbre menor.

Los contadores electromagnéticos y de ultrasonido poseen tres cifras después del punto decimal, significando que registran el volumen de agua cada vez que pasa un litro completo. A caudales bajos, debido a la incertidumbre producida por el conteo de los contadores estáticos, se toma como volumen de referencia el depósito de 200 litros, lo que disminuye la incertidumbre presente en los resultados de los ensayos.

- **Ensayos con caudales medios-altos:**

Los ensayos de caudales medios-altos, al igual que los ensayos de caudales bajos, se inician después de que se verifique y compruebe la estanquidad en la línea de ensayos sometiendo la conducción a una presión aportada por el grupo de bombeo. A esto le sigue abrir la línea 2 o 3 (dependiendo del caudal del ensayo) e iniciar dicha evaluación pulsando el botón de inicio del panel de control.

200 litros es el volumen del depósito de referencia utilizado para determinar el error de los contadores bajo condiciones de caudales medios-altos. Los valores de la incertidumbre son menores mientras mayor sea el volumen de agua trasegada. Cuando se realiza un ensayo en este rango de caudales, la duración de dicha evaluación es significativamente corta.

- **Toma de resultados:**

Cuando en el ensayo se consigue el llenado del depósito de volumen conocido, el sensor de paro en la probeta detiene el temporizador y, al mismo tiempo, cierra la válvula neumática para cortar el flujo de agua.

Cuando el ensayo se detiene, se toma medida de los volúmenes registrado por cada contador, marcados en el totalizador; también se toma la duración del ensayo y el volumen total trasegado que está en el depósito de volumen conocido. Con estos resultados se puede comprobar que el caudal al que se realizó el ensayo no varía en gran medida al flujo objetivo y, de esa forma, se

puede determinar la curva de error correspondiente a cada contador en función del error presente en la medida de dicho aparato.

- **Desmontar la línea de ensayos:**

Una vez terminada todas las pruebas en la bancada de contadores, se prosigue a desmontar todos los medidores ya ensayados, y así, permitir el ensayo de otros medidores de agua.

Para desmontar los contadores, primero se debe cerrar la válvula de entrada. A continuación, se abre la válvula neumática y, de esta manera, libera toda la presión que se encuentra en la línea. Una vez se verifique que no hay presión en la línea de ensayos con ayuda de los manómetros, se procede a quitar los contadores, desaprensando la línea de ensayo de la fuerza que ejerce la palanca en la entrada del banco.

4.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS ENSAYOS EN RÉGIMEN PERMANENTE

Para determinar la curva de error de cada contador en régimen permanente se debe seguir los pasos explicados anteriormente en el apartado 3.7. Establecer la metrología de los contadores bajo régimen estacionario proporciona la información necesaria utilizada como referencia para determinar la existencia de alguna variabilidad entre las curvas de error, bajo condiciones de régimen transitorio y régimen permanente.

Los medidores fueron sometidos a pruebas con diferentes intensidades de caudal entre el rango de Q1 a Q4 en el banco de ensayos de contadores de la UPV. Los estudios se realizaron cumpliendo con las características de los ensayos de contadores en la normativa UNE-EN ISO 4064.

A continuación, se muestra la tabla descriptiva de los ensayos en régimen estacionario especificando la bancada, el caudal de ensayo y el número de repeticiones de cada prueba (**Ver Tabla 4**).

Tabla 4. Numero de ensayos en régimen permanente para cada bancada.

BANCADA \ Q ensayo (l/h)	Q ensayo (l/h)											
	20	50	200	500	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000	
1	4	-	5	7	7	7	7	9	9	-	-	
2	4	-	5	7	7	7	7	9	9	-	-	
3	5	-	6	7	7	7	7	9	9	-	-	
4	-	4	4	7	7	7	7	9	9	9	9	
5	-	4	4	7	7	7	7	9	9	9	9	

4.2 ENSAYO EN REGIMEN TRANSITORIO

4.2.1 COMPONENTES BÁSICOS DE UN BANCO DE ENSAYO PARA RÉGIMEN TRANSITORIO

El banco de ensayos para régimen transitorio, debe tener la capacidad de resistir cambios de caudal y de presión que se puedan presentar en una diferencia corta de tiempo.

Para garantizar la funcionalidad de este banco, se requiere utilizar dispositivos y/o elementos que puedan trabajar de manera electrónica. Así mismo, es recomendable utilizar otros contadores con metrología conocida que sirvan como referencia (contadores volumétricos) y verificación de los resultados que arrojan los contadores ensayados.

Los elementos básicos que compone el banco de análisis de régimen transitorio son los siguientes:

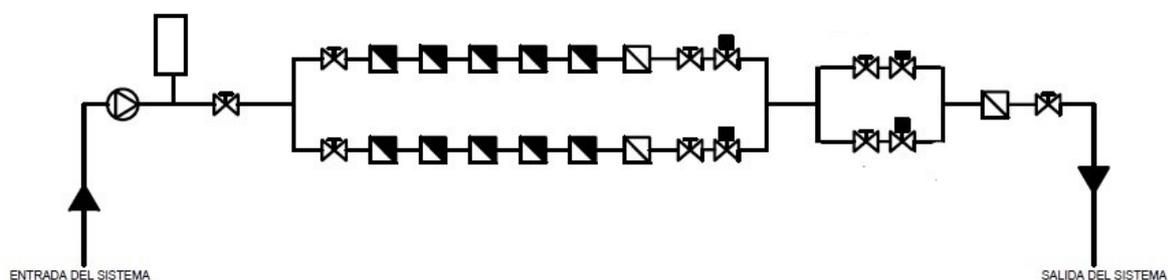


Imagen 59. Esquema del banco de ensayo para régimen que varíe con el tiempo

- 1) **Grupo de Bombeo:** El grupo de bombeo debe ser capaz de aportar la suficiente energía para que el fluido pueda transportarse por dentro de la conducción. Así mismo, es recomendable poseer un variador de frecuencia en las bombas y, de esta manera, reducir el gasto energético de dichos elementos.
- 2) **Deposito Hidroneumático:** El calderín debe poder aportar energía suficiente al agua para realizar ensayos a bajos caudales. También, el depósito hidroneumático, protege a todos los elementos que componen el banco de las presiones que se puedan presentar, producto del golpe de ariete que se genera por la apertura o cierre de las líneas de tubería.
- 3) **Válvula de Seccionamiento:** Se colocan como elementos de seguridad en diferentes puntos de las conducciones para poseer un menor nivel de riesgo en caso de que ocurra una eventualidad inesperada.
- 4) **Contadores de ensayo:** Son los que se someterán a prueba para determinar la metrología de los mismos. Las características de estos se describen en el apartado de características del fabricante (**Ver Tabla 3**) del presente documento.
- 5) **Contadores de Referencia:** Son contadores volumétricos con curva de error conocida que sirven para determinar el error presente en la medida de los contadores de agua ensayados. Las particularidades de los mismos se describen en el apartado de las características de los contadores volumétricos del presente trabajo.
- 6) **Electroválvulas:** Elementos hidráulicos y electrónicos que permiten regular la intensidad y duración del caudal o de los caudales a los que se realizan los ensayos mediante la apertura o cierre de un circuito.

4.2.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS PARA RÉGIMEN TRANSITORIO

Dada la inexistencia de un banco de ensayos cuyas características permitan la realización de pruebas en régimen no estacionario, para este proyecto se diseñó y construyó un nuevo banco de ensayos que permita alterar el régimen de ensayo variando durante su realización parámetros como el caudal y el tiempo de flujo.

El banco de ensayos que se construyó es capaz de trasegar caudales de diferentes intensidades y de manera discontinua, utilizando elementos hidráulicos conectados al grupo de bombeo y calderines del laboratorio del Grupo de Ingeniería y Tecnología del Agua (ITA) de la UPV (**Ver Imagen 60**).



Imagen 60. Banco de ensayos para régimen transitorio en el laboratorio del ITA en la UPV y acople al banco de ensayos de régimen permanente (A).

Las partes que integran el banco de ensayos para régimen variable, son:

1) Líneas de ensayo:

Estas son los lugares donde se colocan los contadores para realizarle las pruebas correspondientes a cada estudio. El nuevo banco de ensayo cuenta con dos líneas paralelas nombradas como: Línea 1 y Línea 2, cada una capaz de conectar 6 contadores de calibre 15mm o 20mm en serie en si misma mediante la utilización de elementos hidráulicos de unión (**Ver Imagen 61**).



Imagen 61. Líneas de ensayos del banco para el análisis metrológico en régimen transitorio en el laboratorio de hidráulica de la UPV.

2) Grupo de Bombeo y Calderines:

El grupo de bombeo y depósitos hidroneumático son los mismos que los mencionados en la descripción del banco de ensayos para el análisis metrológico en régimen permanente antes mencionado.

3) Contadores de Referencia:

Los contadores que se usan para comparar son los volumétricos. Estos son descritos en el apartado 3.4 antes mencionado en la bancada de contadores volumétricos.

4) Válvulas de Seccionamiento:

Las que tiene el banco que tiene el banco son cinco válvulas Turia 3000 de bola de ½ pulgada que sirven para regular la cantidad de agua que se transporta por

la conducción, así mismo, sirven para evitar el paso a diferentes secciones del banco (**Ver Imagen 62**). Estas válvulas de seccionamiento se encuentran en la entrada del sistema y aguas arriba de las electroválvulas que posee el banco de ensayos.



Imagen 62. Válvulas de seccionamiento y/o regulación del banco de ensayos en régimen variable

5) Accesorios de Unión:

Las piezas utilizadas para unir los contadores y las conducciones, como las conexiones en T, codos, manguitos y racores son de latón y varían el diámetro entre $\frac{1}{2}$ pulgada, $\frac{3}{4}$ de pulgada y 1 pulgada (**Ver Imagen 63**). Para conectar las mismas y garantizar la estanqueidad de la unión se utiliza teflón.

Además, para unir los elementos que necesitan una mayor separación, existen latiguillos de $\frac{1}{2}$ pulgada, $\frac{3}{4}$ de pulgada y 1 pulgada en función de los elementos que unan. Los latiguillos poseen una goma en las uniones capaz de impedir la fuga de agua.

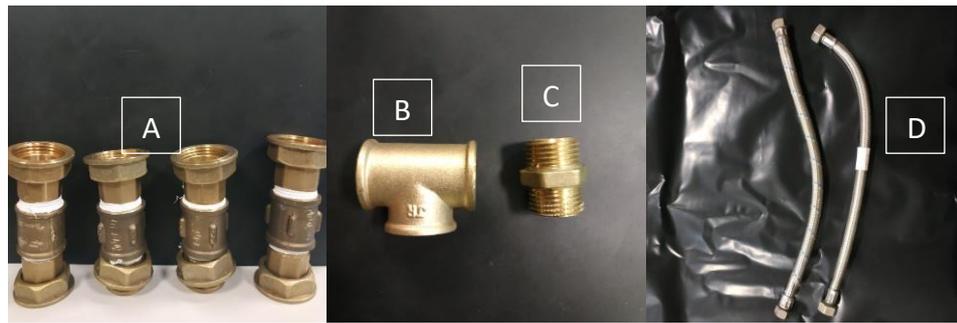


Imagen 63. Accesorios de unión de elementos del banco de ensayos en régimen transitorios. tuerca loca y maguitos (A), conexión en T (B), racor (C) y latiguillos (D).

6) Electroválvulas:

Las electroválvulas que tiene el banco de ensayos para el análisis metrológico en régimen transitorio, son de 1/2 pulgada de diámetro (**Ver Imagen 64**). Estas válvulas trabajan con 24 voltios de corriente directa y su función es abrir o cerrar los circuitos en base de lo programado para el ensayo que se va a realizar.

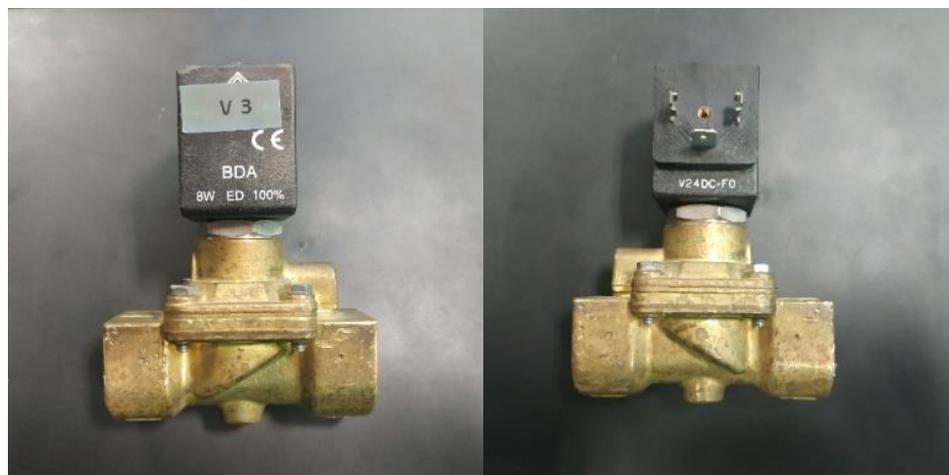


Imagen 64. Electroválvula de 1/2 pulgada de diámetro.

7) Controlador Lógico Programable:

El controlador lógico programable (PLC) utilizado para los ensayos es de la marca Unitronics y modelo M91-2-T1 (**Ver Imagen 65**). Este PLC funciona con

24 voltios de corriente directa y posee 12 entradas y 12 salidas digitales, capaz de enviar y recibir señales de manera simultánea.

El PLC es un artefacto programado en lenguaje de programación LADDER y es el encargado de dar las órdenes de apertura o cierre a las electroválvulas en un tiempo establecido en base al ensayo que se esté realizando en ese momento.



Imagen 65. Controlador lógico programable, marca Unitronics modelo M-90

8) Relés:

Los relés o relevadores son dispositivos electromagnéticos que actúan como interruptor de energía al estimular una bobina que poseen en su interior con corriente eléctrica (**Ver Imagen 66**). Estos relevadores son fabricados por la empresa Telemecanique y son parte del sistema de automatismo para la apertura y cierre de circuitos. Los relés funcionan con 24 voltios de corriente directa y transmiten o impiden la recepción de energía por parte de las electroválvulas.



Imagen 66. Relevadores marca Telemecanique

9) Fuente de alimentación:

Es la encargada de suministrar la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de los elementos electrónicos que posee el banco de ensayos de flujo variable (Ver **Imagen 67**). La fuente de alimentación del banco es de la marca GRECOL y modelo 2410 A, la cual dispone de 24 voltios de corriente directa a la salida de dicho elemento.

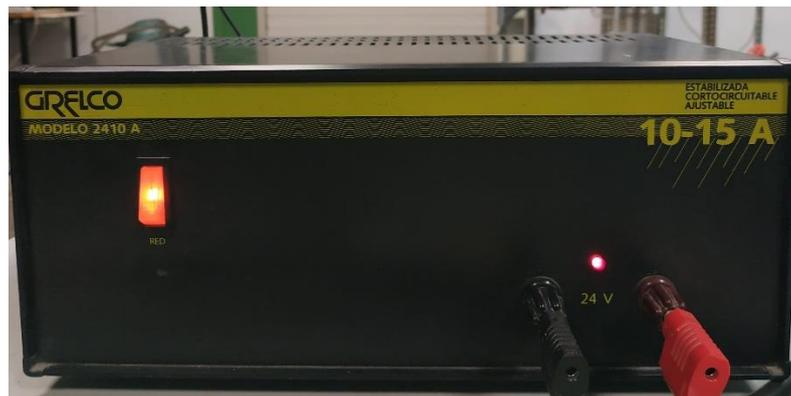


Imagen 67. Fuente de alimentación marca Grecol, modelo 2410 A.

4.2.3 DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS EN RÉGIMEN TRANSITORIO

Para determinar el comportamiento metrológico de los contadores de agua en régimen de flujo variable se siguió una serie de procedimientos que garantizaron la veracidad de los resultados arrojados por los mismos. Los pasos y el orden para la realización de los ensayos de esta índole fueron:

- **Montaje de bancada:**

Para conectar los contadores en las líneas de ensayo, la entrada de agua al sistema permaneció cerrada. Los medidores contaban con roscas a la entrada y la salida, lo que permitió la unión de estos elementos usando racores unidos con otros racores mediante la utilización de manguitos, quedando como resultado un enlace entre todos los contadores de cada línea de forma continua.

- **Conexiones eléctricas:**

Los elementos electrónicos deben recibieron energía desde la fuente de alimentación de 24 voltios, esto se hizo conectando el PLC y los relés con cables de cobre de sección $1 \times 1.5 \text{mm}^2$ hasta la salida de la fuente de alimentación. El PLC contó con dos circuitos diferentes, uno en la entrada y otro en la salida, por lo que fue necesario conectarlo a la fuente de alimentación por ambos lugares.

Las electroválvulas se conectaron a la salida de los relés y, a su vez, las salidas del PLC estaban conectadas con las entradas de excitación de las bobinas de los relés. Cuando el PLC enviaba una señal que estimula la bobina del relevador, cortaba la comunicación hasta las electroválvulas provocando de esta manera el cierre de las mismas, la apertura se consiguió con la acción contraria, dejando de estimular la bobina y el contacto volvía hasta su posición original.

Las conexiones que tuvieron lugar en el grupo de elementos electrónicos se realizaron usando cables de cobre de sección de $1 \times 1.5 \text{ mm}^2$ y, por la función que tenía cada uno, se identificaron con un color respectivo en la parte externa.

- **Llenado de líneas:**

Al asegurar la unión de cada uno de los contadores, se verificó la inexistencia de fugas en los circuitos, es por esto que, se permitió que el flujo ingresara a las conducciones y aumentara de forma paulatina. Cuando este caudal llegó a tener un valor de 2000 litros/hora, se permitió que el fluido viajara por dentro de las conexiones durante al menos 600 segundos, esto para asegurar que al inicio de los ensayos no existieran burbujas de aire dentro de las líneas que pudieran modificar los resultados de los ensayos.

- **Programación de PLC:**

Para que el ensayo cumpla con la alteración de caudal y tiempo planeada para cada prueba, se alimentó el PLC, el cual, al ser un aparato electrónico, su programación se realizó con el software del fabricante llamado U90ladder con el lenguaje de programación tipo Ladder.

El programa diseñado en un ordenador para conseguir los requerimientos del ensayo, se instaló en el PLC utilizando un cable tipo RS485 con adaptación a USB.

- **Regular la apertura de válvulas de seccionamiento:**

Al conocer el orden en que el PLC realizaba la apertura y cierre de las electroválvulas, se reguló el caudal que se transporta por cada línea. El flujo se controló en función del grado de apertura que poseían las válvulas de seccionamiento, es por esto que, se ajustó la palanca en la parte superior de las válvulas de seccionamiento y de esta forma controlar la cantidad de agua que se transporta por las conducciones (**Ver Imagen 62**).

- **Ensayos a caudales bajos:**

Al verificar la inexistencia de fugas en la conducción, se continuó con la realización de los ensayos en régimen variable. Cuando se determinó que todos los caudales del ensayo tenían un

valor menor o igual a 200 litros/hora se realizó la prueba utilizando únicamente la presión aportada por los depósitos hidroneumáticos.

Se abrió la válvula de seccionamiento en la entrada del sistema, lo cual activó la fuente de alimentación a los dispositivos electrónicos permitiendo el flujo de agua.

La duración del ensayo dependía del volumen de agua transportado. Asegurando que por cada contador pasara un mínimo de 200 litros por prueba.

- **Ensayos a caudales medios-altos:**

Al determinar en la prueba la existencia de un caudal mayor a 200 litros/hora fue necesario la utilización del grupo de bombeo para realizar dicho ensayo. Al igual que para el ensayo a caudales bajos se hizo, en primer lugar, la estanqueidad de los elementos hidráulicos, posterior a esto, se activaba la fuente de alimentación para encender los elementos electrónicos y dar inicio al ensayo.

Al igual que para los ensayos con caudales bajos, la duración de cada prueba dependió del volumen de agua trasegado. Para garantizar que el valor de la incertidumbre sea lo menor posible, los ensayos de caudal medio-alto cumplieron con un tiempo mínimo de 1 hora y un volumen mínimo transportado de 200 litros.

- **Toma de resultados y determinación del error:**

Una vez determinado que el ensayo cumplía con las características de volumen y tiempo necesarias, se prosiguió al corte de la energía eléctrica, dando como resultado el cierre del sistema y por ende la terminación del ensayo.

Al imposibilitar el paso del agua, se pudo tomar medida de la duración del ensayo y de los volúmenes de agua registrado para cada uno de los contadores.

Para conocer el volumen real de agua transportada, se tomó la medida de los contadores volumétricos de metrología conocida y se ajustó el volumen de agua medido utilizando el valor

de error que poseen los contadores de referencia a dicho caudal. Este volumen real ajustado se tomó como referencia para determinar el error de cada contador que utilizado en la prueba.

- **Desmontar la línea:**

Concluidos los ensayos de los contadores en el banco de análisis en régimen transitorio, se procedió a cerrar la válvula de seccionamiento en la entrada del sistema, seguidamente, se abrieron todas las electroválvulas y válvulas de seccionamiento del banco y, se liberó de esta forma la presión existente dentro de las líneas. Una vez despresurizado el sistema, se desenroscó cada uno de los contadores de los elementos hidráulicos de unión, permitiendo de esta forma la libertad de remover cada uno de los contadores de las líneas de ensayo.

4.2.4 CARACTERÍSTICAS DE ENSAYOS EN RÉGIMEN TRANSITORIO

Para determinar el comportamiento metrológico de los contadores de agua sometidos a condiciones variables con el tiempo, se debe realizar un conjunto de ensayos que modifiquen el comportamiento del flujo, como pueden ser: la intensidad, el tiempo de funcionamiento o la combinación de ambas.

Debido a lo antes expuesto, este trabajo busca abarcar todas las variaciones posibles de funcionamiento, dividiendo el proyecto en seis ensayos en régimen transitorio y, de esta forma, recopilar información precisa del comportamiento de los medidores bajo estas condiciones. Dicha información posibilita realizar comparaciones estadísticas sobre el comportamiento entre la metrología de los contadores con ensayos en régimen transitorio y en régimen permanente.

4.2.4.1 PRIMER ENSAYO CON RÉGIMEN TRANSITORIO

El primer ensayo en régimen variable (T1), poseía una discontinuidad de flujo de 10 segundos, es decir, en los primeros 10 segundos pasaba un caudal determinado y en los siguientes 10 segundos no hay movimiento. Para optimizar el tiempo de ensayo, en el momento en que la línea 1 del banco estaba cerrada, el flujo comenzaba a pasar por la línea 2 y viceversa (**Ver Imagen 68**).

Este ensayo buscaba conocer la metrología de los contadores sometidos a discontinuidad de flujo, sin modificar el caudal.

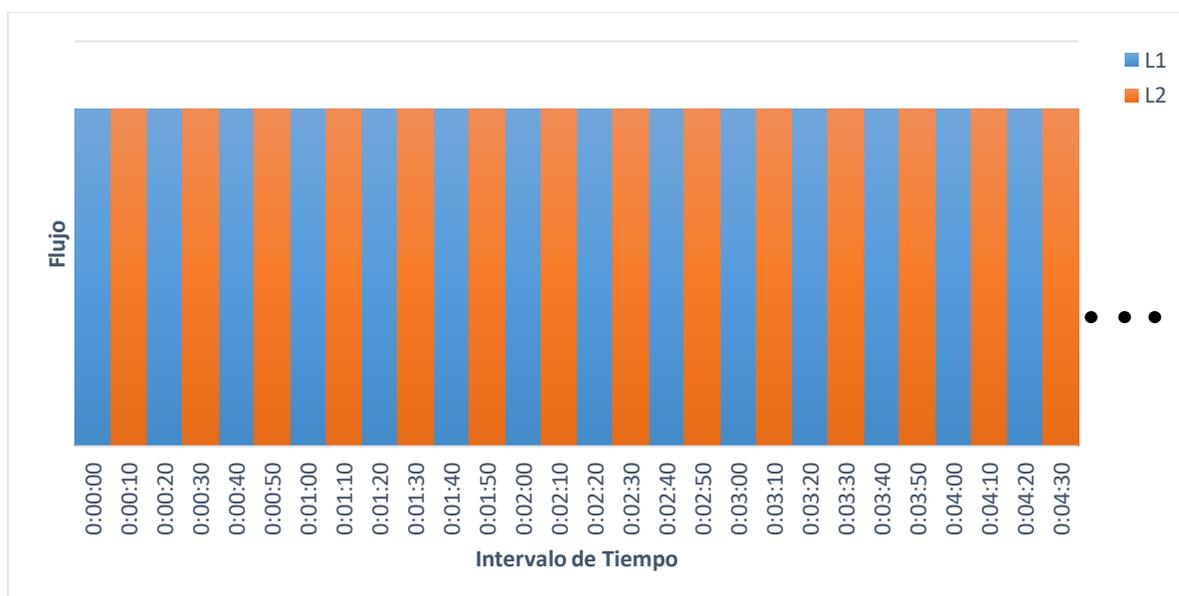


Imagen 68. Variabilidad de flujo de los ensayos en régimen transitorio.

4.2.4.2 SEGUNDO ENSAYO CON RÉGIMEN TRANSITORIO

El segundo ensayo con régimen variable (T2), al igual que el primer ensayo en régimen transitorio, determinó el comportamiento metrológico de los contadores de agua sometidos a discontinuidad de flujo. Este ensayo de régimen variable siguió un patrón parecido al mostrado en la **Imagen 68** pero las intermitencias se produjeron cada 5 segundos.

4.2.4.3 TERCER ENSAYO EN RÉGIMEN TRANSITORIO

El tercer ensayo en régimen transitorio (T3), tuvo como objetivo conocer la curva de error del contador de agua sometiéndolo a ensayos con una discontinuidad de flujo cada 20 segundos, permitiendo así, el paso del flujo durante los 20 primeros segundos y evitando el paso del mismo durante los siguientes 20 segundos.

4.2.4.4 CUARTO ENSAYO EN RÉGIMEN TRANSITORIO

El cuarto ensayo con variabilidad de régimen (T4), fue la prueba con mayor número de arranques y paros de caudal dentro del circuito, esto es debido a que este ensayo buscó determinar el comportamiento metrológico que presenta un contador de agua cuando se somete a intermitencias de flujo de 2 segundos.

4.2.4.5 QUINTO ENSAYO EN RÉGIMEN TRANSITORIO

El quinto ensayo en régimen transitorio (T5), tuvo como objetivo determinar el comportamiento metrológico de los contadores de agua cuando se someten a una discontinuidad de flujo de 10 segundos de paro y 10 segundos de paso de caudal. Además, estas intermitencias de flujo fueron combinadas con una variación de caudal determinada para cada ensayo.

El ensayo T5 poseyó tres variaciones de caudal. En la primera variación se modifica el caudal con valores de 600 l/h, 400 l/h y 200 l/h de manera sucesiva (**Ver Imagen 69**). La segunda variación con intercambios de caudal de 1100 l/h, 900 l/h y 200 l/h (**Ver Imagen 70**). Y en la última variación se altera el caudal con valores de 2000 l/h y 1500 l/h (**Ver Imagen 71**).

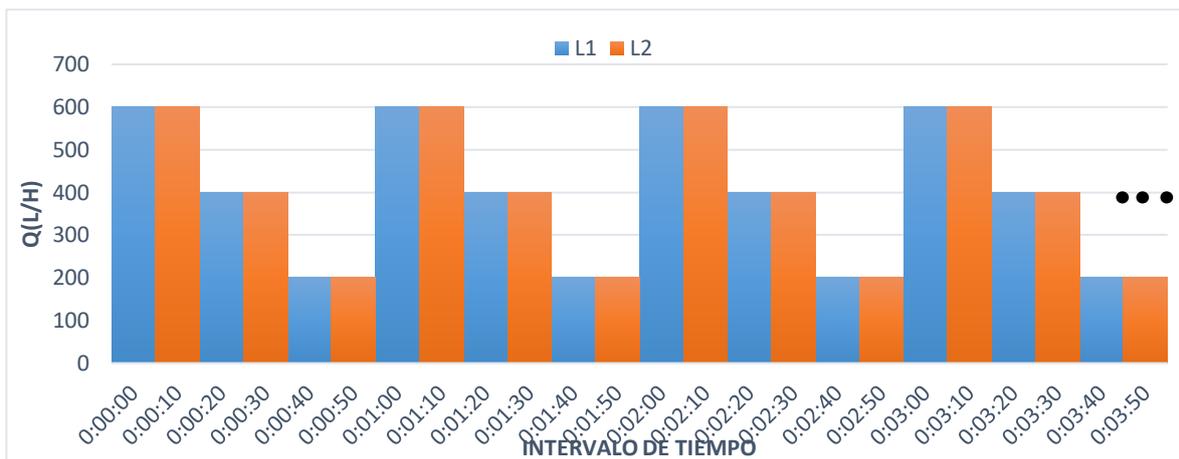


Imagen 69. Primera alteración de flujo y caudal de los ensayos en régimen transitorio.

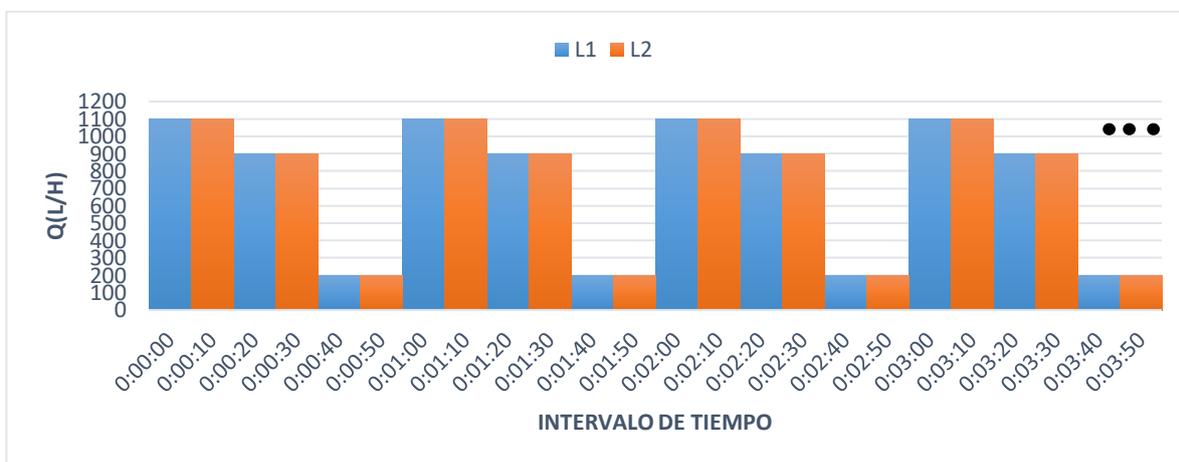


Imagen 70. Segunda alteración de flujo y caudal de los ensayos en régimen transitorio.

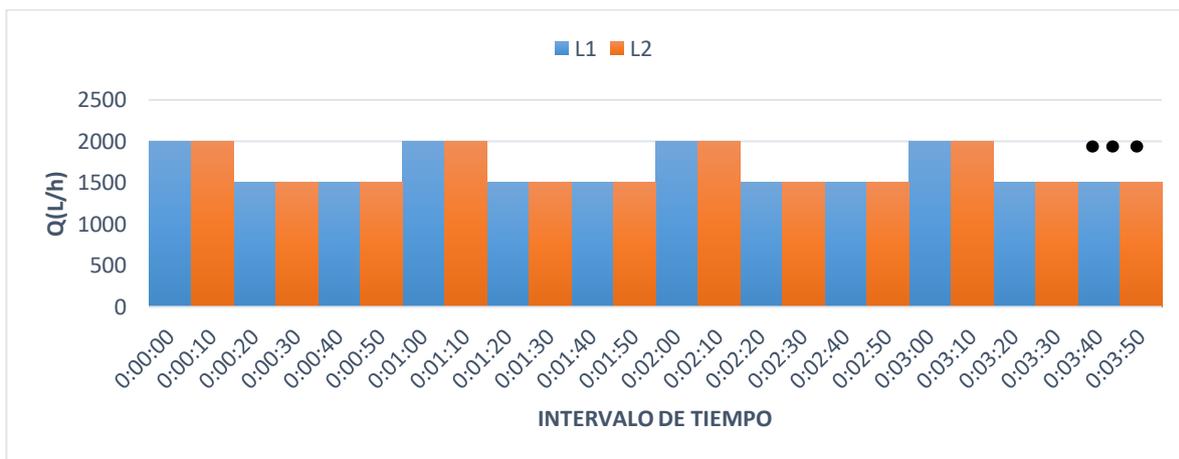


Imagen 71. Tercera alteración de flujo y caudal de los ensayos con régimen transitorio.

4.2.4.6 SEXTO ENSAYO EN RÉGIMEN TRANSITORIO

El sexto ensayo bajo condiciones de régimen variable (T6), se diseñó para determinar la veracidad de los contadores de agua cuando se les somete a variabilidades de caudal junto con intermitencias de flujo de 5 segundos de paro y 5 segundos permitiendo el paso del fluido.

El ensayo T6 tiene dos variaciones de caudal, ambas se asemejan al funcionamiento descritos en los esquemas de primera y tercera alteración explicados en el apartado de los ensayos T5. En la primera variación se altera la intensidad del caudal con los valores de 600 l/h, 400 l/h y 200 l/h similar a la mostrada en la **Imagen 69** pero, a diferencia de esta imagen, en este ensayo la alternancia se produce cada 5 segundos. Lo mismo pasa con la segunda variación de este ensayo, la cual, sigue un esquema semejante al mostrado en la **Imagen 71**, alternando el caudal de ensayo entre 2000 l/h y 1500 l/h, pero la duración del ciclo es de 5 segundos en vez de 10 segundos.

CAPITULO V

RESULTADOS

5 RESULTADOS

Siguiendo el esquema de ensayos anteriormente expuesto en el apartado 4.1.4 sobre las características de los ensayos en régimen permanente y en el apartado 2.4 sobre las peculiaridades de ensayos en régimen transitorio, se determinó el comportamiento metrológico de los contadores de agua bajo dichas condiciones. Al someter a cada contador a múltiples ensayos a un mismo caudal, existe un conjunto de errores anclados al mismo, por lo que, la representación de dicho comportamiento es mostrada a continuación mediante gráficos de caja y bigotes. De esta forma, se expone gráficamente el rango de error que posee cada medidor de agua para cada caudal.

A continuación, se muestran los gráficos del análisis metrológico en régimen permanente y régimen transitorio de los contadores de agua. En la leyenda se puede apreciar el nombre del contador con un sufijo con las letras “E” o “T”, simbolizando los resultados del análisis en régimen estacionario y los resultados de los ensayos en régimen transitorio, respectivamente. También, el gráfico muestra una línea, como resultado de unir los valores promedio del error bajo condiciones de régimen permanente de dicho caudal.

A su vez, los datos utilizados para crear los gráficos de caja y bigotes de este capítulo, se muestran de manera detallada en el anexo II. De igual forma, los gráficos se muestran de manera individual para cada contador, caudal y régimen de ensayo en el anexo III en el capítulo 9 del presente documento.

5.1 Resultados contadores modelo MA

En las gráficas que se muestran a continuación se observan, para cada contador ensayado de los modelos MA, los resultados de error de medición a cada caudal de prueba, tanto en régimen estacionario (indicado en la leyenda como MA_E) como en régimen transitorio (indicado en la leyenda como MA_T). Los contadores del modelo A sometidos a los ensayos de régimen

permanente presentan, para todos los caudales de ensayo, resultados de error de medición dentro de los rangos límites permitidos por la normativa de contadores UNE-EN ISO 4064 (Ver errores límites en el apartado 2.3 de este documento). Sin embargo, se puede observar cómo esos mismos contadores sometidos a los ensayos en régimen transitorio, tienen un comportamiento metrológico totalmente diferente a los resultados obtenidos durante el régimen estacionario. Un contador da resultados más aleatorios al ser sometido a condiciones de ensayos variables, como es la intermitencia del flujo durante periodos de tiempo predeterminados. En el caso de ensayos transitorios, el comportamiento metrológico de los contadores a determinados caudales supera los límites de error establecidos por la normativa, siendo este caso más frecuente a caudales bajos (**Ver desde Imagen 72 hasta Imagen 76**).

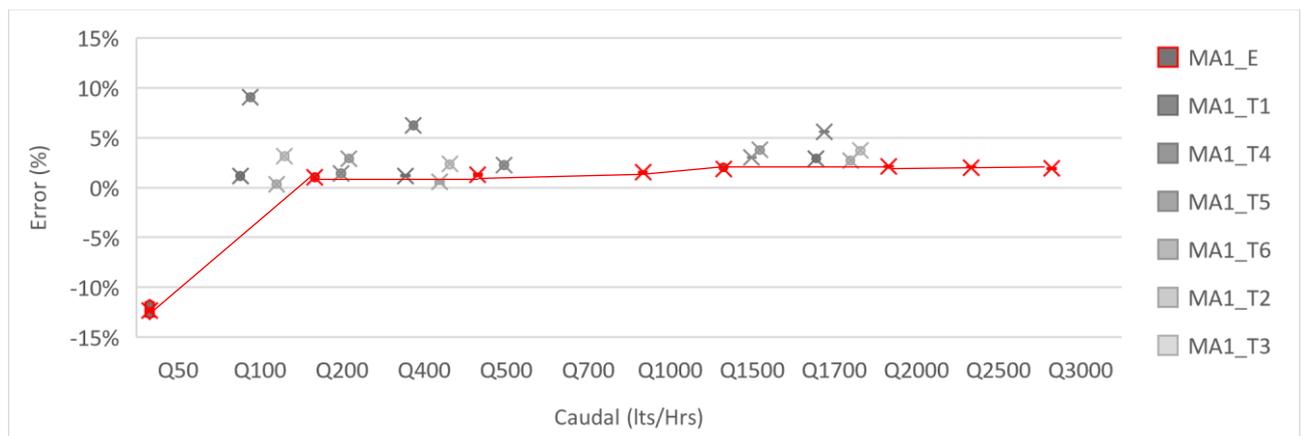


Imagen 72. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MA1

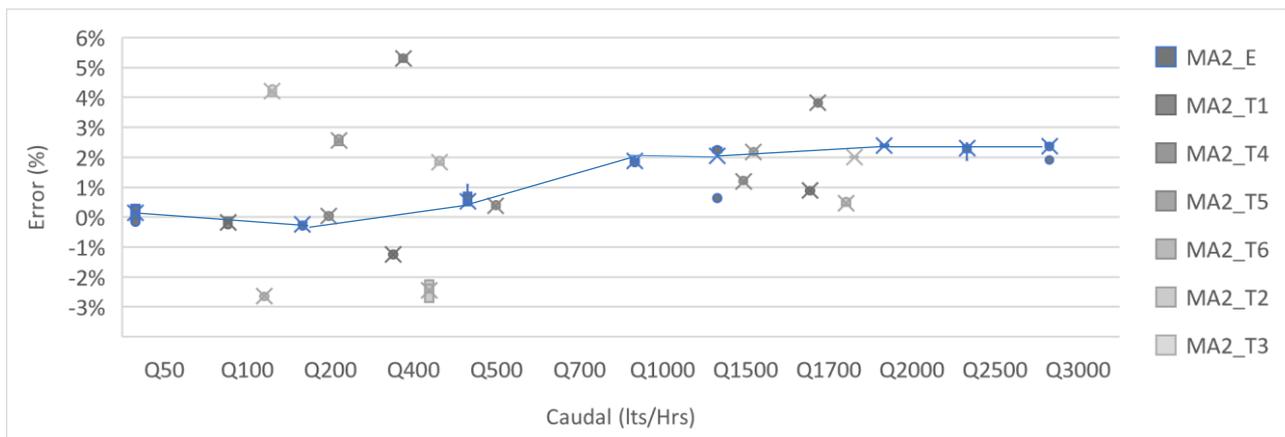


Imagen 73. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MA2

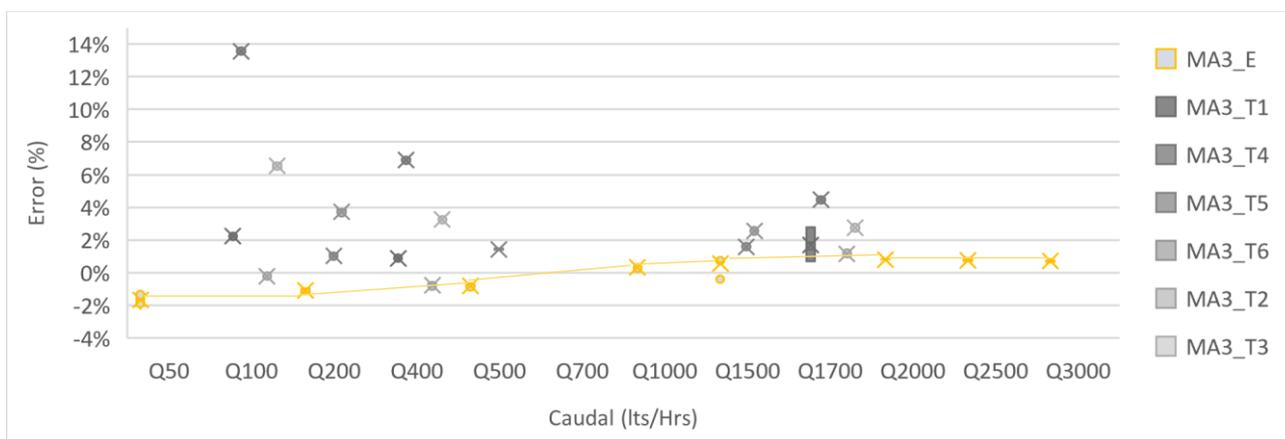


Imagen 74. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MA3

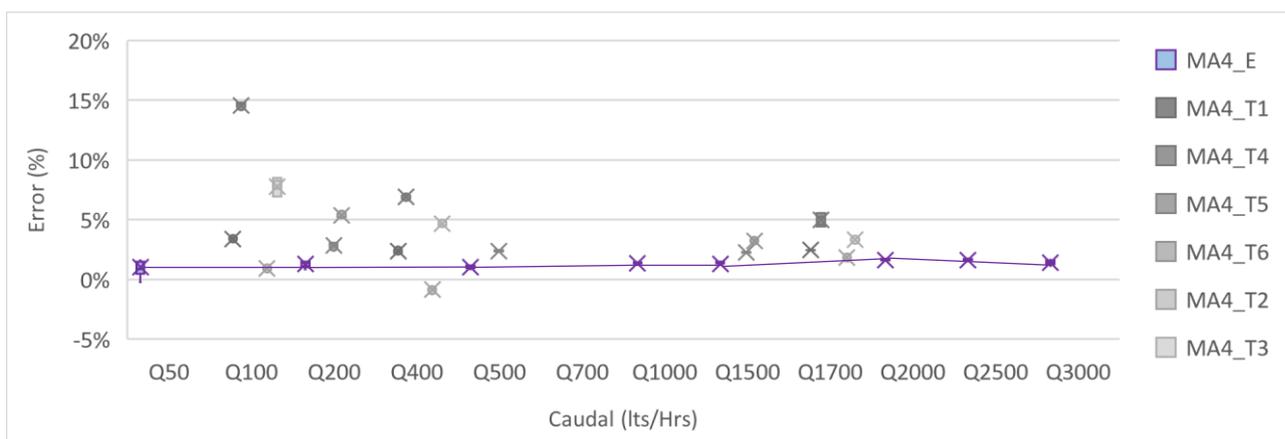


Imagen 75. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MA4

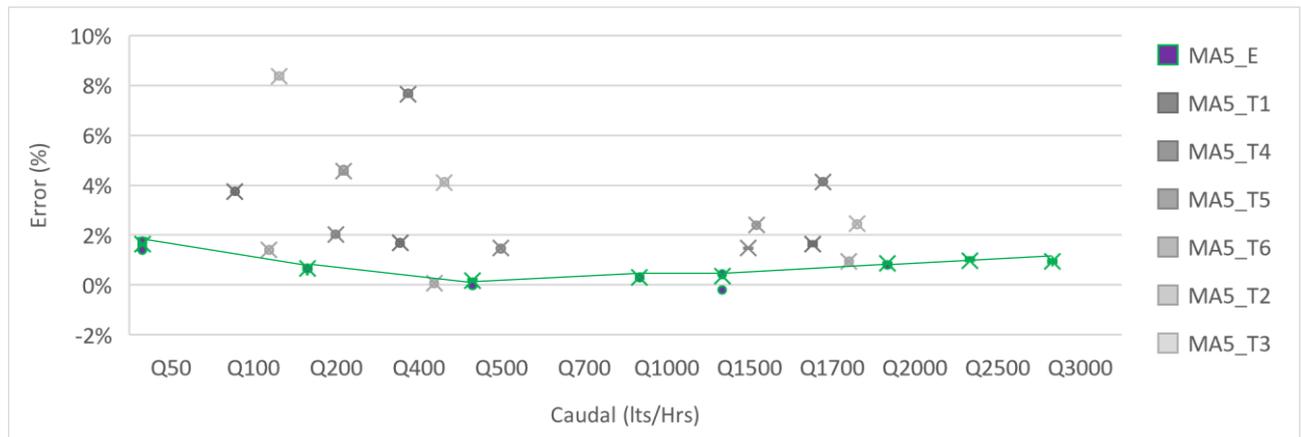


Imagen 76. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MA5

5.2 Resultados contadores modelo MB

La amplitud del diagrama de caja y bigotes de los contadores ensayados modelo MB es pequeña, demostrando que el error de medición a cada caudal de ensayo en régimen estacionario se repiten los resultados en cada evaluación. Asimismo, los ensayos en régimen permanente poseen valores dentro de los márgenes permitidos por las normativas internacionales mencionadas en el apartado 2.4. Sin embargo, se puede observar cómo esos mismos contadores sometidos a los ensayos en régimen transitorio, tienen un comportamiento metrológico totalmente diferente a los resultados obtenidos durante el régimen permanente. Un contador da resultados más aleatorios al ser sometido a condiciones de ensayos variables, como es la intermitencia del flujo y variabilidad del caudal. En el caso de ensayos transitorios, el comportamiento metrológico de los contadores a determinados caudales supera los límites de error establecidos por la normativa, siendo este caso más frecuente a caudales bajos (**Ver Imagen 77 e Imagen 78**).

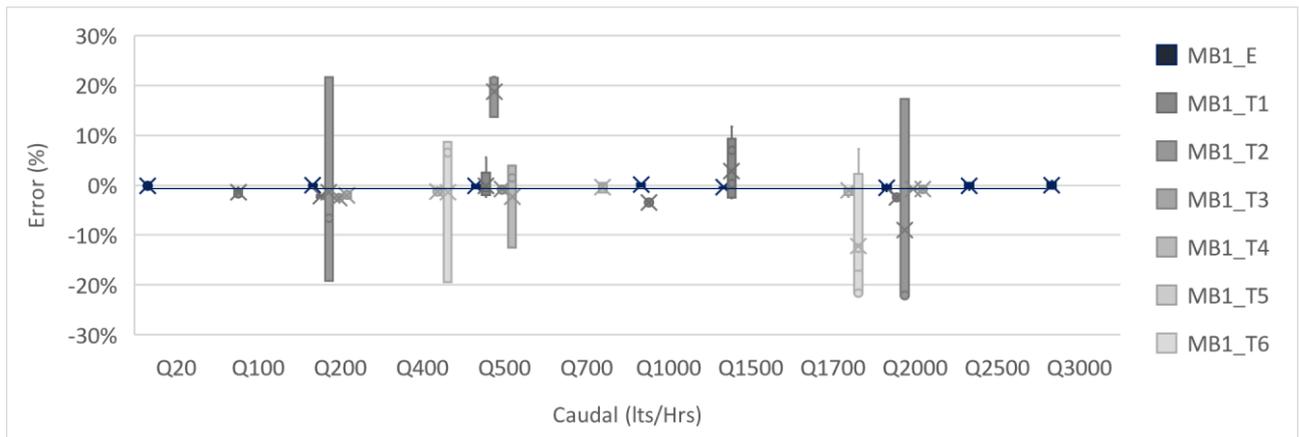


Imagen 77. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MB1

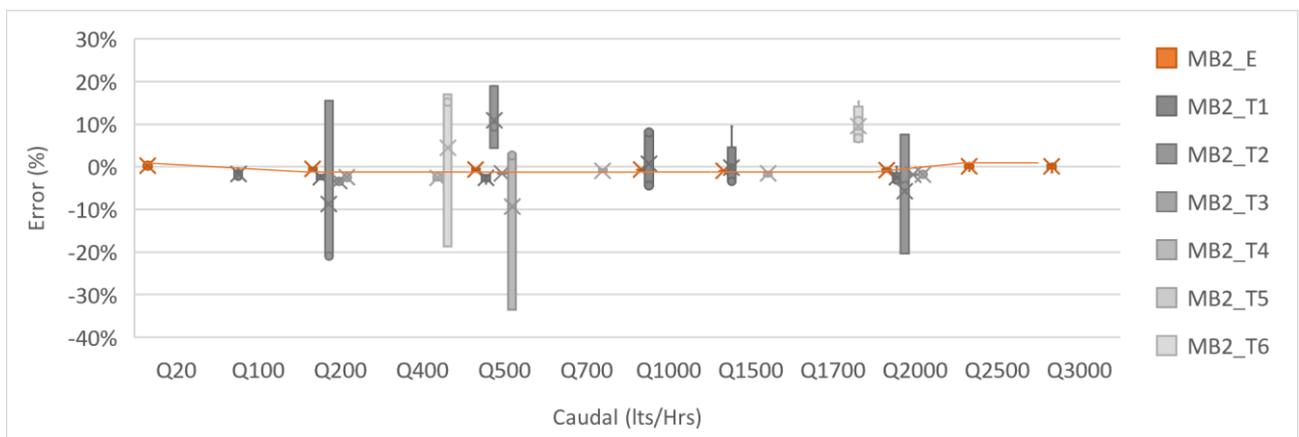


Imagen 78. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MB2.

5.3 Resultados contadores modelo MC

En las graficas de caja y bigotes que se presentan a continuación, se puede apreciar que cuando los contadores MC son sometidos a ensayos con régimen permanente, el error que produce dicho aparato cumple con los parámetros admitidos por los organismos internacionales mencionados en el apartado 2.4. De la misma manera, cuando estos medidores son sometidos a ensayos con variabilidad del flujo, presentan un comportamiento metrológico diferente. Los ensayos en régimen transitorio, como se muestra también en las siguientes gráficas, presentan ocasiones donde los errores superan los valores permitidos por la normativa internacional (**Ver Imagen 79 e Imagen 80**).

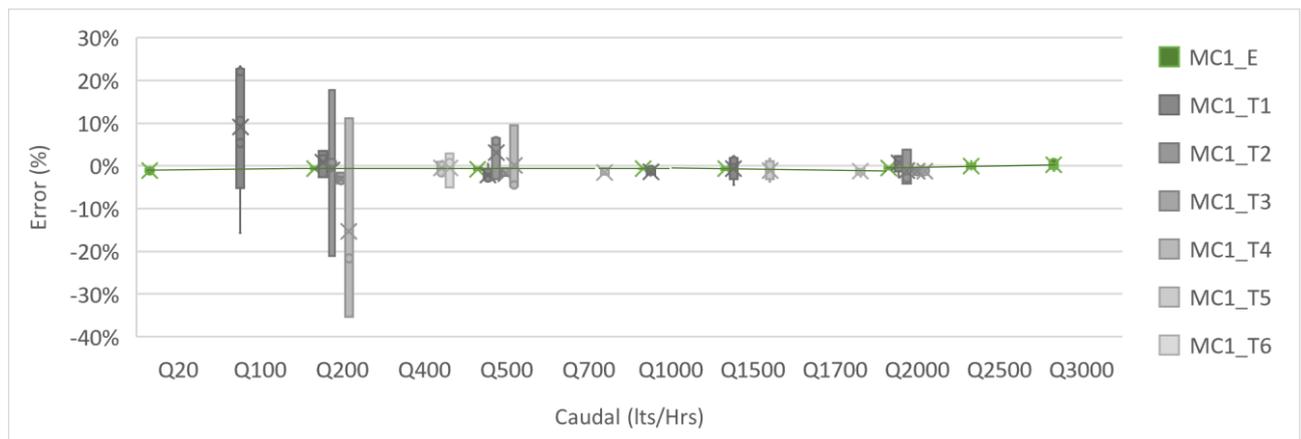


Imagen 79. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MC1

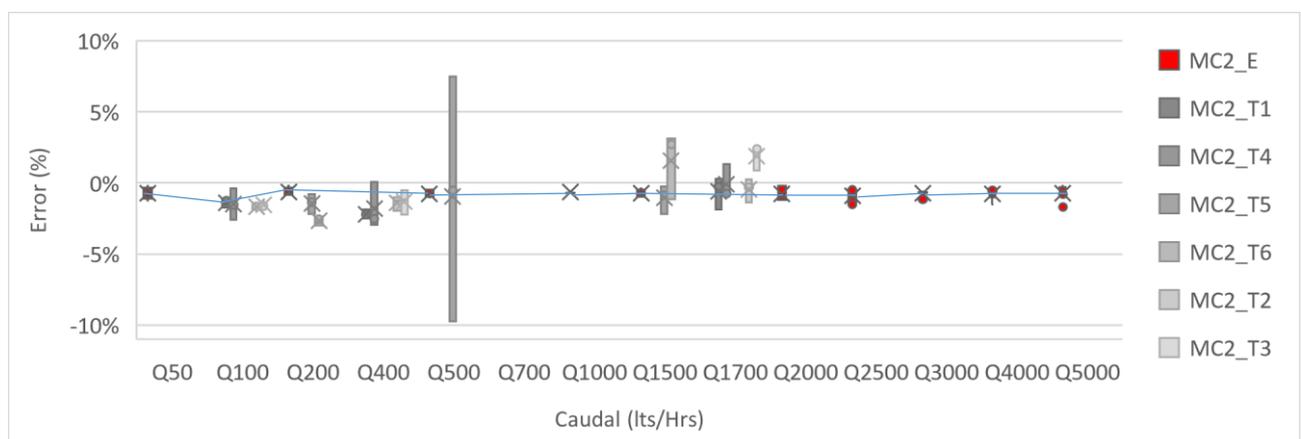


Imagen 80. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MC2

5.4 Resultados contadores modelo MD

El error asociado a cada caudal para los contadores modelo MD, cuando se les somete a pruebas de régimen estacionario muestran valores dentro del rango admitido por las normativas internacionales mencionadas en el apartado 2.2 y 2.4. Los errores presentes en los contadores sometidos a régimen transitorio, exponen valores que exceden los límites establecidos por las mencionadas normativas (**Ver desde Imagen 81 hasta Imagen 83**).

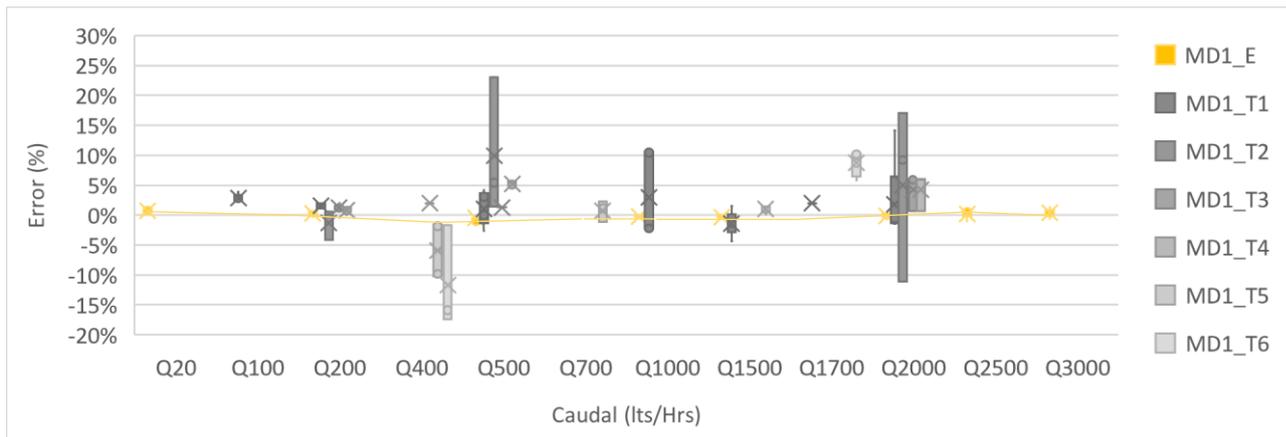


Imagen 81. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MD1

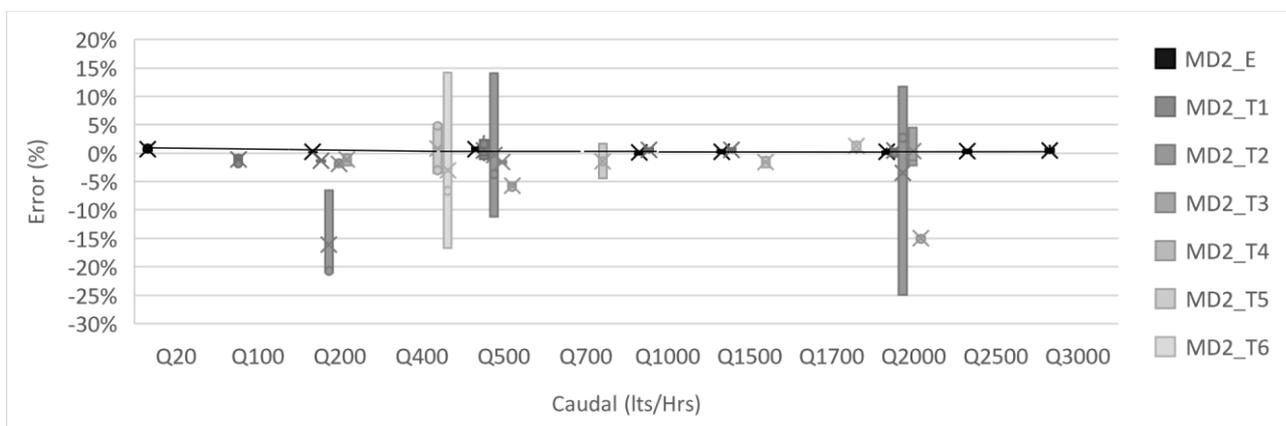


Imagen 82. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MD2

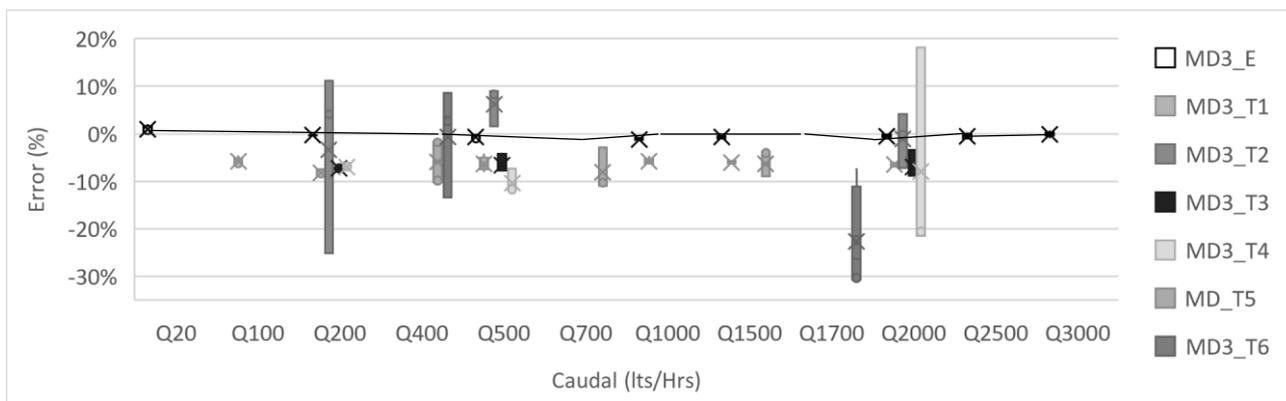


Imagen 83. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MD3

5.5 Resultados contadores modelo ME

El comportamiento metrológico de los contadores modelo ME, según el error asociado a dicho caudal, presentan resultados dentro de los rangos permitidos por la normativa UNE-EN ISO 4064 cuando se les somete a pruebas de caudales en régimen permanente. A diferencia del comportamiento bajo caudales en régimen estacionario, los contadores modelo ME presentan errores excesivos de hasta un +/- 100% de la medida real del volumen cuando estos medidores se someten a ensayos con régimen variable en el tiempo (Ver desde **Imagen 84** hasta **Imagen 88**).

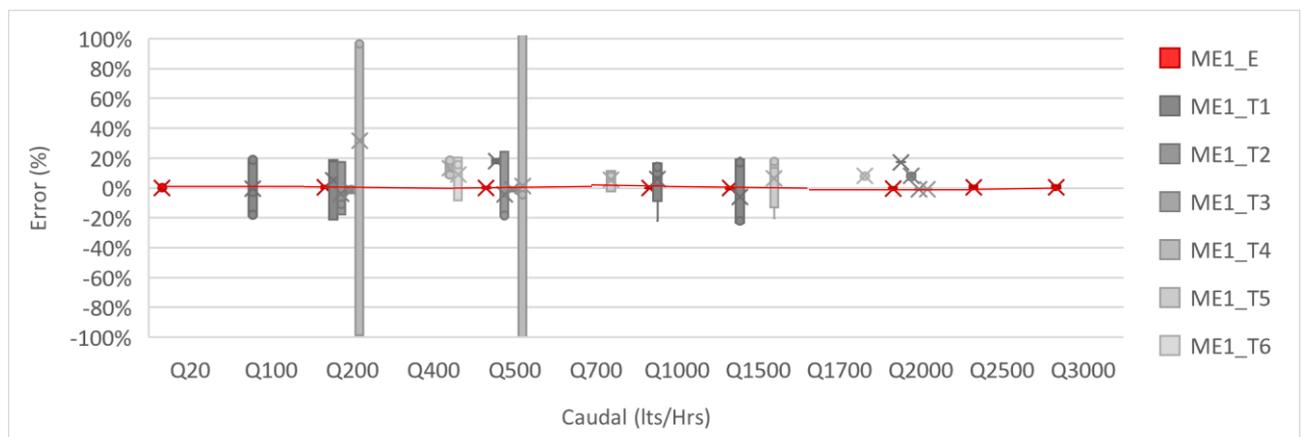


Imagen 84. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador ME1

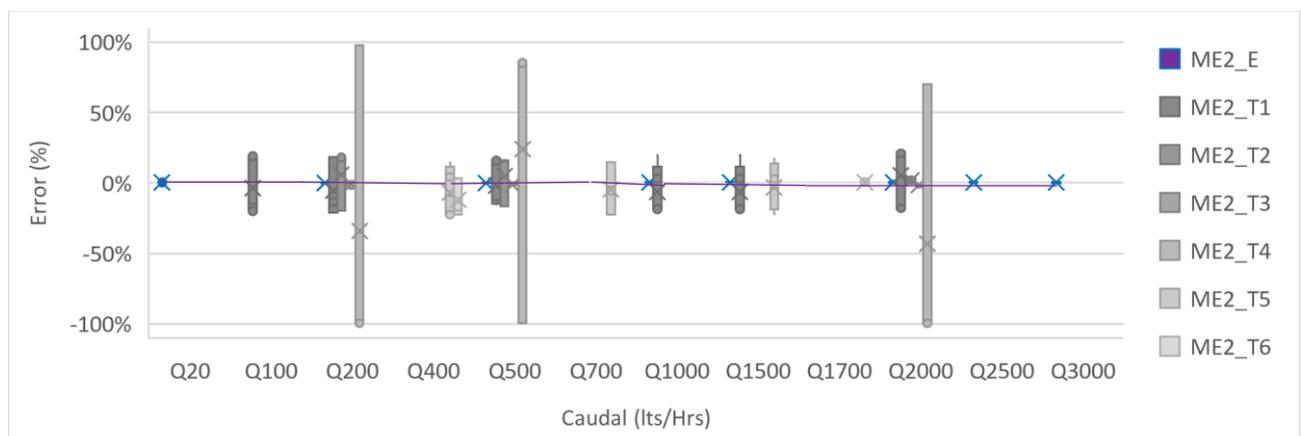


Imagen 85. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador ME2

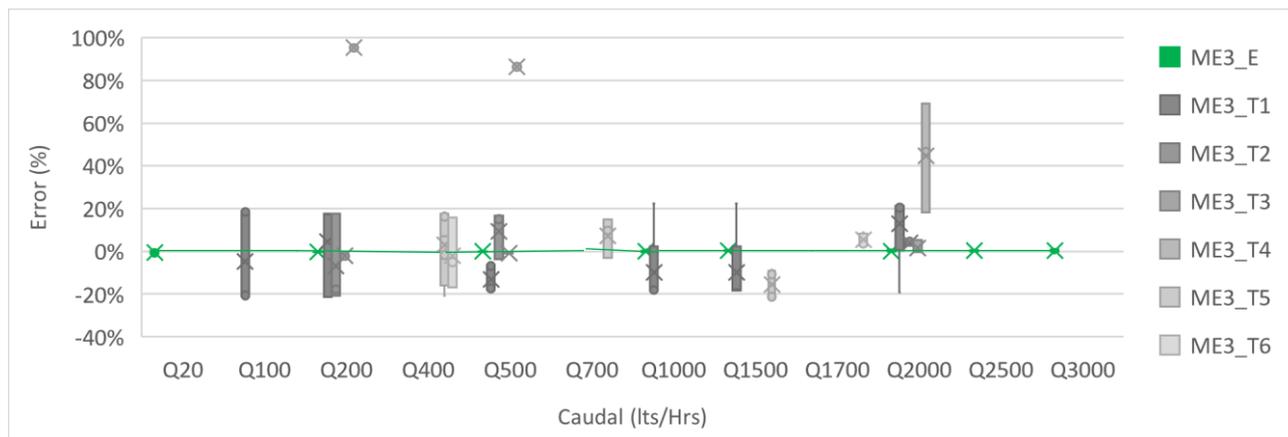


Imagen 86. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador ME3

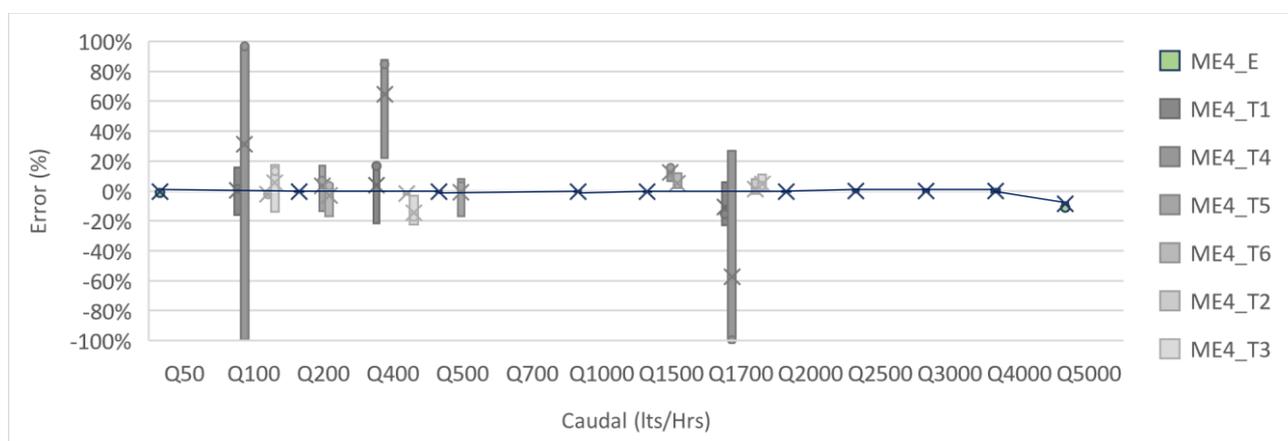


Imagen 87. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador ME4

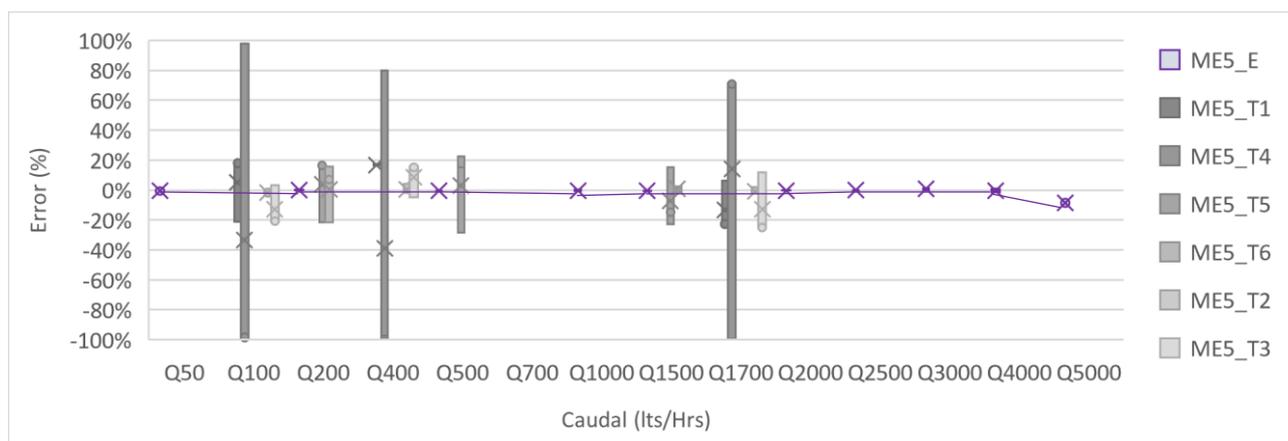


Imagen 88. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador ME5

5.6 Resultados contadores modelo MF

El modelo MF, como se puede apreciar en la gráfica (**Ver Imagen 89**), posee valores de error del -100%, lo que indica que el elemento de medida es disfuncional y no mide volumen de agua a ningún caudal al que se le someta, sin importar si el régimen es permanente o transitorio.

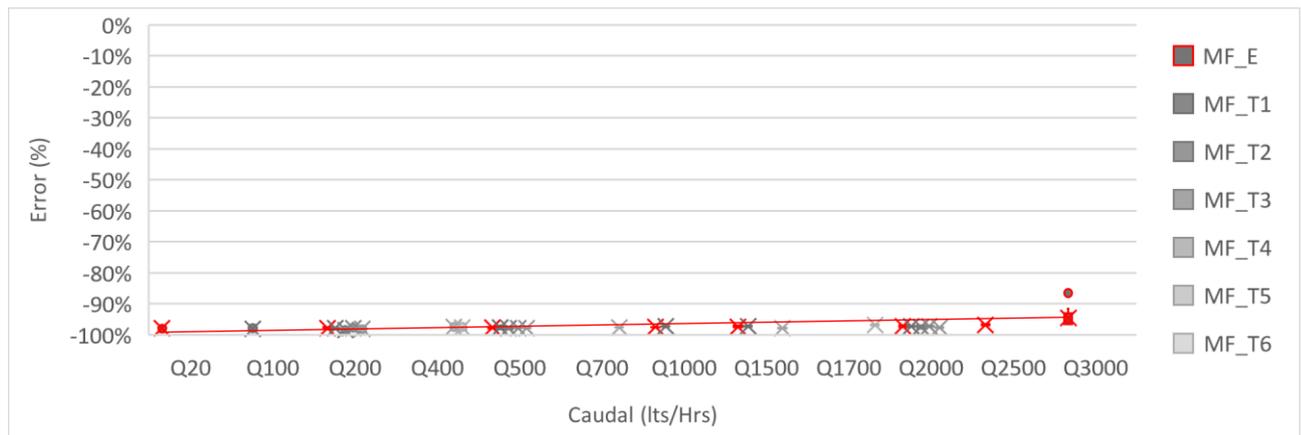


Imagen 89. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MF

5.7 Resultados contadores modelo MG

La curva de error de los contadores modelo MG tiene un comportamiento que cumple con las normativas metrológicas internacionales. La metrología de estos contadores varía cuando a los mismos se someten a cambios en el régimen de flujo. Los errores de estos medidores de agua en régimen transitorio tienden a tener valores por encima de la curva de error obtenida en ensayos con régimen estacionario, es decir, el error siempre suele a ser con valores positivos (**Ver Imagen 90 e Imagen 91**).

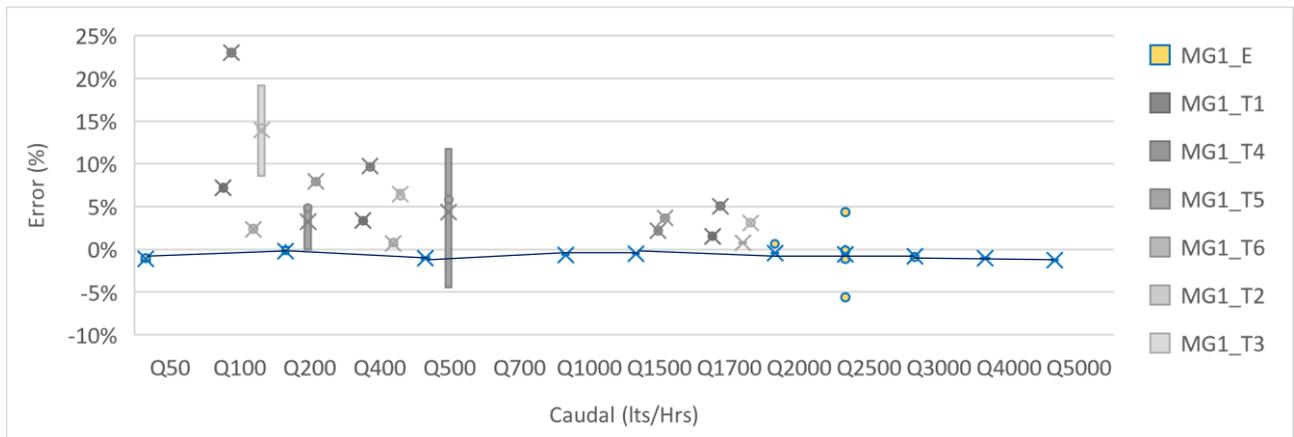


Imagen 90. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MG1

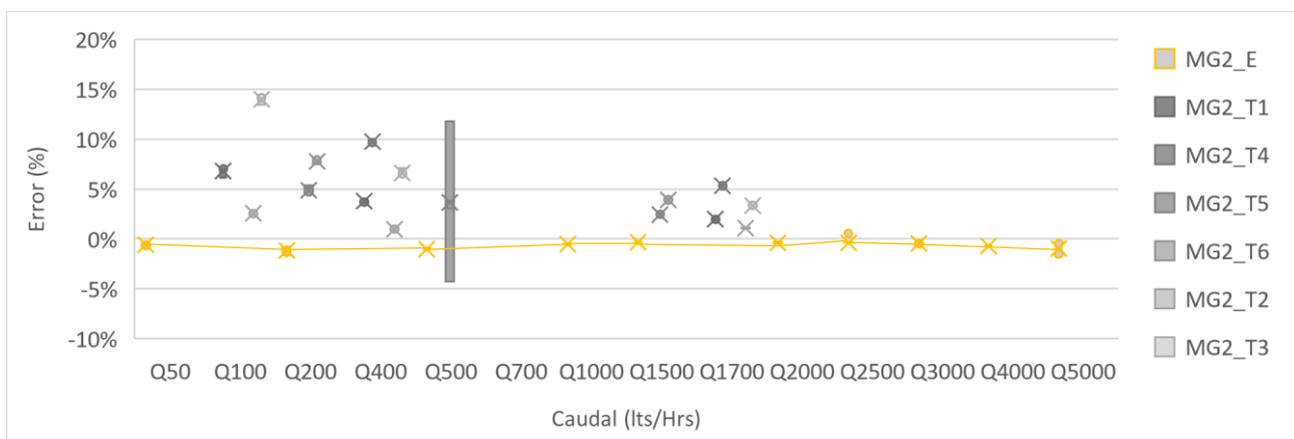


Imagen 91. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MG2

5.8 Resultados contadores modelo MH

El contador modelo MH posee una curva de error que cumple con los parámetros admisibles por la normativa UNE-EN ISO 4064, cuando al mismo se le somete a prueba en régimen permanente. Al este medidor ser sometido a transiciones en el flujo con respecto al tiempo, se modifica la metrología del mismo, de tal manera que, da lugar a errores que exceden el rango permitido por la normativa antes mencionada (**Ver Imagen 92**).

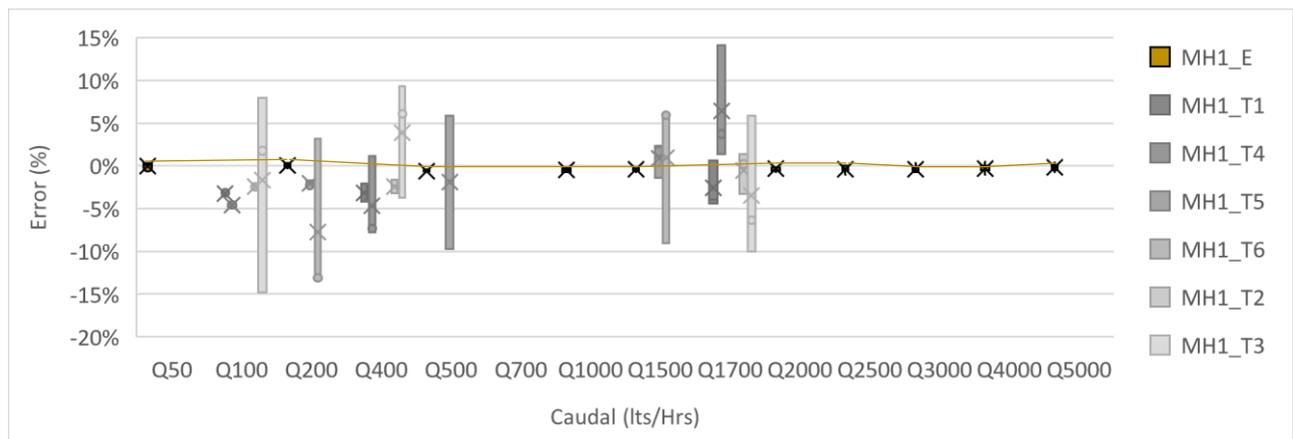


Imagen 92. Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico del contador MHI

5.9 Resultados contadores modelo MV

Los contadores de agua de tecnología volumétrica se tomaron como medidores de referencia en los ensayos de régimen variable, es por esto que, dichos contadores se han sometido a ensayos que permitan determinar el comportamiento metrológico de los mismos.

A continuación, se muestra el comportamiento metrológico de los contadores volumétricos utilizados como referencia en el análisis en régimen transitorio.

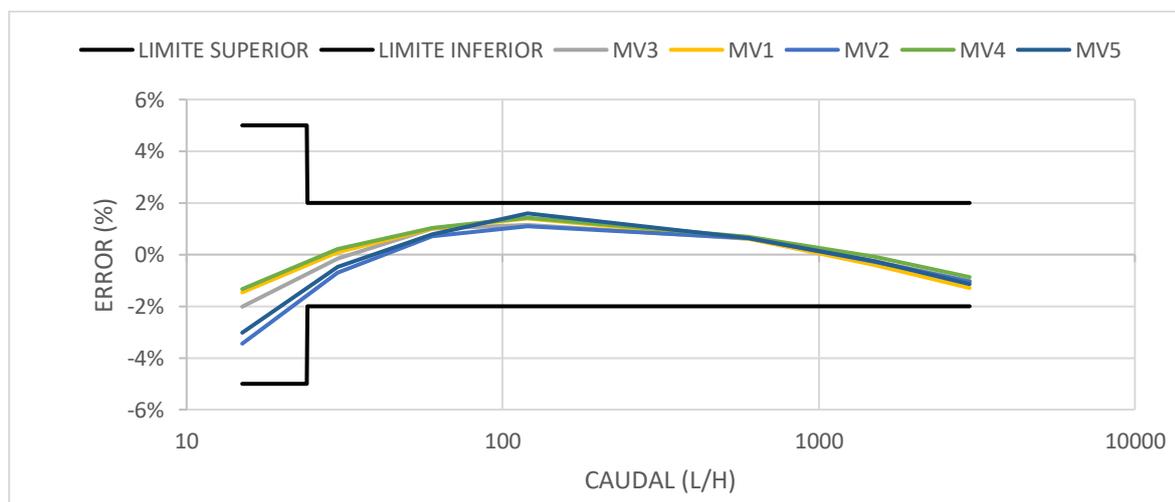


Imagen 93. Curva de error de los contadores de referencia (Volumétricos).

Como se puede apreciar en la figura (**Ver Imagen 93**), los contadores volumétricos poseen una curva de error en forma de “U” invertida, la cual es la forma típica que posee este tipo de

contador (Valera, O. 2016). El comportamiento del error de estos contadores a diferentes caudales cumple con las normativas internacionales, gracias a que los errores siempre se encuentran dentro de los valores límite determinados en la normativa UNE-EN ISO 4064.

CAPITULO VI

ANALISIS DE RESULTADOS

6 ANALISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Para determinar la existencia de alguna variabilidad significativa en el comportamiento metrológico de los contadores, bajo los diversos regímenes de funcionamiento a los que fueron ensayados, mencionados en el apartado 4 “ENSAYO DE CONTADORES”, se ha recurrido a realizar un análisis estadístico de los resultados de las pruebas.

En este proyecto se busca determinar la diferencia de la metrología de los contadores funcionando con régimen permanente, comparada con cada uno de los grupos de errores presentes en los medidores cuando están trabajando en condiciones variables.

Los datos que se obtuvieron en las diferentes pruebas, una vez analizados, ha permitido determinar que los mismos no poseen distribución normal, homocedasticidad de los datos y tampoco tienen la misma distribución de los grupos.

La carencia de una distribución normal de los datos, ocasiona que se opte por utilizar la prueba alternativa de variabilidad de medias o prueba no paramétrica, conocida también como el *test de Kruskal-Wallis*. Esta prueba es una extensión de la prueba *Mann-Whitney* para más de dos grupos. Este test es utilizado para contrastar las muestras que han sido obtenidas de una misma población, en este caso, los resultados conseguidos de los ensayos para cada contador.

Una de las características que deben tener los datos analizados con el test de *Kruskal-Wallis* es que los mismos deben poseer una distribución parecida, es decir, todos los datos deben tener una tendencia de desplazamiento similar. Es por ello que, los resultados fueron sometidos a un pretratamiento de datos y, de esta forma, asegurar dicha tendencia. Los datos fueron tratados con “ $X = X^2$ ” gracias a que esta función elimina la posibilidad de tener valores negativos para analizar.

Debido a que la prueba *Kruskal-Wallis* solo indica si existe una discrepancia significativa entre los grupos, para este proyecto también se utilizó como herramienta las *Comparaciones Pos Hoc*, que permiten identificar la diferencia existente entre cada una de las muestras.

Buscando mantener la probabilidad por debajo del 5% de cometer un error tipo I o error tipo Alpha, lo que sería equivalente a ofrecer una conclusión falso positivo de los resultados, en este proyecto se utiliza la corrección de Bonferroni, la cual consiste en dividir el nivel de significancia entre el número de comparaciones realizadas.

Para determinar la diferencia existente entre los resultados de dos muestras, se realiza un contraste de hipótesis estableciendo una hipótesis nula (H_0) y una hipótesis alternativa (H_1). En este trabajo se asume un nivel de seguridad de un 95%, lo que rige el valor conocido como α , el cual es límite entre asumir la H_0 o H_1 .

$$\alpha = 1 - 95\% = 0.05.$$

El *test de Kruskal-Wallis* en conjunto con la *comparación Pos Hoc* y la *corrección de Bonferroni* dan como resultado el valor de significancia, también llamado “P-valor”, el cual es comparado con el valor de α asumido; confrontación que permite determinar la validez de H_0 .

Si los resultados de significancia obtenidos en las pruebas arrojan datos por debajo de α , se rechaza H_0 o hipótesis de semejanza y se asume la diferencia de varianzas (resultados estadísticamente diferentes).

Todos los análisis estadísticos realizados en este trabajo, se hicieron siguiendo los pasos antes explicados y utilizando el software de análisis estadístico SPSS.

En el Anexo I, se muestran las tablas con los diferentes valores de significancia obtenidos en el análisis de las muestras, destacando los valores de significancia que rechazan la validez de H_0 (muestras estadísticamente diferentes).

6.1 Análisis de resultados de los contadores modelo MA

Los contadores modelo MA presentan valores de significancia menores a 0.05, lo que indica que se no se acepta la hipótesis nula. Debido al rechazo de H_0 , se afirma la existencia de diferencias estadísticamente significativas en la comparación de los resultados de los ensayos en régimen permanente y régimen transitorio (**Ver desde Tabla 9 hasta Tabla 13 en el Anexo I**).

El análisis de significancia de los contadores modelo MA determina que, el 18% de los resultados obtenidos para el modelo MA1 muestran valores estadísticamente diferentes, para el modelo MA2 el 36% de los ensayos poseen variabilidad de resultados significativos, para el modelo MA3 el 60% de los casos poseen variabilidad significativa, en el modelo MA4 un 55% de los ensayos tienen valores de significancia importantes y para el modelo MA5 el 65% de los resultados poseen valores de significancia menor que el 5%, por lo que son estadísticamente variables.

6.2 Análisis de resultados de los contadores modelo MB

Ambos contadores modelo MB presentan resultados de *P-valor* menores a 0.05, lo que indica que se rechaza la hipótesis nula. Se afirma la existencia de diferencias estadísticamente significativas en la comparación de los resultados de los ensayos en régimen permanente y régimen transitorio, debido a que no se acepta la H_0 (**Ver Tabla 14 y**

Tabla 15 en el Anexo I).

Como se muestra en las tablas 14 y 15 en el Anexo I, el análisis de significancia de los contadores modelo MB, el 33% de los resultados obtenidos para el contador modelo MB1 muestran valores estadísticamente diferentes y, de la misma manera, el medidor modelo MB2 presenta un 33% de valores de variabilidad significativa.

6.3 Análisis de resultados de los contadores modelo MC

Gracias a que el medidor MC2 acepta la hipótesis nula en todos los casos, se puede afirmar que el mismo no posee diferencia significativa entre los resultados obtenidos bajo condiciones de régimen permanente y régimen no permanente (**Ver Tabla 17 en el Anexo I**). En cambio, el contador modelo MC1 presenta instantes donde el *P-valor* es menor a 0.05, lo que indica que se rechaza la H_0 , por lo que se puede afirmar la existencia de diferencias estadísticas significativas en la comparación de los resultados de los ensayos en diferentes regímenes de funcionamiento (**Ver Tabla 16 en el Anexo I**).

La prueba de hipótesis de variabilidad de medias con el que se analizaron los resultados obtenidos para los contadores modelo MC bajo los diferentes regímenes de trabajo, determinó que el 42% de los ensayos para el contador modelo MC1 poseen una variabilidad significativa, pero a diferencia de este, el modelo MC2 no posee en ningún caso resultados estadísticamente diferentes.

6.4 Análisis de resultados de los contadores modelo MD

Al comparar los resultados de los valores obtenidos en los ensayos a los que se sometieron los contadores de agua modelo D, se puede afirmar que existe diferencias estadísticamente significativas debido a que estos contadores presentan resultados que rechazan la hipótesis de semejanza, como resultado de que estos medidores presentan valores de significancia menores a 0.05 (**Ver desde Tabla 18 hasta**

Tabla 20 en el Anexo I).

Los resultados obtenidos en el análisis estadístico de variabilidad medias para determinar la existencia de alguna inconsistencia en comportamiento de los contadores de agua modelo MD cuando estos son sometidos a ensayos de régimen permanente y régimen transitorio, arrojaron que el contador modelo MD1 en un 52% de los casos presenta resultados con variabilidad

estadísticamente significativa, asimismo, el modelo MD2 en un 33% de los casos tienen resultados estadísticamente diferentes y por último el medidor de agua modelo MD3 en un 67% de los casos el comportamiento en régimen transitorio difiere del comportamiento en régimen variable.

6.5 Análisis de resultados de los contadores modelo ME

Los contadores modelo E presentan valores de significancia menores a 0.05 lo que indicando que se rechaza la hipótesis nula (**Ver desde Tabla 21 hasta Tabla 25 en el Anexo I**). En función de la negación de H_0 , es posible afirmar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en la comparación de los resultados de los ensayos en régimen permanente y régimen transitorio.

El análisis de significancia de los contadores modelo ME determinó que, en el 71% de los casos el medidor modelo ME1 muestran valores estadísticamente diferentes, para el modelo ME2 el 33% de los ensayos poseen variabilidad de resultados significativas, para el modelo ME3 el 42% de los casos poseen variabilidad significativa, en el modelo MA4 un 32% de los ensayos tienen valores de significancia importantes y para el modelo MA5 el 32% de los resultados poseen valores de significancia menor que el 5% por lo que son estadísticamente variable.

6.6 Análisis de resultados de los contadores modelo MG

Los contadores modelo G en múltiples ocasiones presentan resultados de *P-valor* menores al 5% lo que indicando que se rechaza la hipótesis de semejanza (**Ver Tabla 26 y Tabla 27 en el Anexo I**).

Es posible afirmar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en la comparación de los resultados de los ensayos en régimen permanente y régimen transitorio, producto de la negación de H_0 .

En los resultados obtenidos en la comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de los contadores de chorro único modelo MG se determinó que en el 36% de los casos el contador modelo MG1 presenta valores con variabilidad significativa en la comparación de los resultados de régimen permanente con régimen transitorio, y a su vez, el contador modelo MG2 presenta en un 59% de los casos los resultados determinan la existencia de diferencias estadísticas.

6.7 Análisis de los resultados del contador modelo MH

El contador de agua modelo H presenta valores de significancia menores al 5% lo que indicando que se no se acepta la hipótesis nula. Debido al rechazo de H_0 , se afirma la existencia de diferencias estadísticamente significativas en la comparación de los resultados de los ensayos en régimen permanente y régimen transitorio (**Ver Tabla 28 en el Anexo I**).

Como se mostró en la tabla 24 sobre el análisis de significancia del contador modelo MH, en el 55% de los casos, los resultados obtenidos presentan valores que registran la existencia de variabilidad en la metrología de los contadores MH cuando estos son sometidos a ensayos de régimen no permanente.

6.8 Error promedio global de los contadores de agua

La finalidad de este apartado es determinar el comportamiento generalizado de cada medidor de agua de uso doméstico, por lo que, este trabajo toma como error global del medidor el promedio de los errores que presenta cada contador cuando se les somete a pruebas de régimen permanente y de régimen transitorio.

Al determinar el error global que presenta el contador a los diferentes regímenes, se puede deducir de manera simple la diferenciación existente en el comportamiento de dicho aparato. De la misma manera, se puede conocer la tendencia del contador a generar errores de medida positivos o negativos cuando este es sometido a ensayos de régimen transitorio.

Tabla 5. Error promedio global de los contadores de agua para los diferentes regímenes de trabajo.

Contador	Error Promedio Global (Régimen Permanente)	Error Promedio Global (Régimen Transitorio)
MA1	0.42%	3.07%
MA2	1.54%	1.75%
MA3	0.05%	3.11%
MA4	1.35%	4.02%
MA5	0.71%	3.73%
MB1	-0.13%	-1.31%
MB2	-0.39%	-1.04%
MC1	-0.44%	-0.68%
MD1	0.04%	1.59%
ME1	0.21%	4.40%
ME2	0.27%	-4.08%
MD2	0.36%	-1.96%
ME3	0.08%	7.66%
MD3	-0.44%	-6.44%
ME4	-1.17%	2.55%
MG1	-0.81%	5.80%
ME5	-1.23%	-3.99%
MH	-0.33%	-1.68%
MG2	-0.63%	6.00%
MC2	-0.75%	-0.97%

Como se muestra en la **Tabla 5** todos los contadores de agua, independientemente de la tecnología y diámetro que estos presentan variabilidad en los resultados obtenidos del error promedio global de régimen transitorio con respecto a los valores que poseen en funcionamiento de régimen permanente. Se puede indicar que, al ensayar los contadores mecánicos en régimen variable, estos presentan un error global que supera al error obtenido en las evaluaciones con régimen permanente, por lo que se puede admitir que los mismos tienden a sobre contar el volumen de agua registrado cuando el flujo presenta variabilidad de comportamiento.

Asimismo, los contadores estáticos al ser sometidos a ensayos en régimen no permanente, presentan errores inferiores a los errores de medida que presentan estos contadores cuando son sometidos a ensayos en régimen permanente.

Por otro lado, al comparar el error promedio global de los contadores en función del modelo, las diferencias que presentan, no se comportan de igual manera para todos los contadores, aun estos funcionen con tecnología similar. Es por esto que se puede afirmar que las particularidades metrológicas del instrumento, tienen una estrecha dependencia a las características constructivas del mismo.

Tabla 6. Error promedio global de los contadores de agua en función al modelo.

Modelo de contador	Error Promedio Global (Régimen Permanente)	Error Promedio Global (Régimen Transitorio)
MA	0.81%	3.14%
MB	-0.26%	-1.18%
MC	-0.59%	-0.83%
MD	-0.01%	-2.27%
ME	-0.37%	1.31%
MG	-0.72%	5.90%
MH	-0.33%	-1.68%

En la **Tabla 6** se puede apreciar la diferencia que existe entre el error promedio global en régimen permanente y régimen transitorio de cada medidor. A su vez, se puede deducir que los contadores modelo MG poseen la mayor diferencia de todas, seguidos de los contadores modelo MA, luego los contadores modelo MD, MH, ME, y MB en ese respectivo orden y por último el modelo de contador con la menor diferencia entre los errores promedio globales de cada régimen es el MC.

De forma similar, para conocer la influencia que existe en el comportamiento metrológico de los contadores en función del tamaño y funcionamiento que posee, se comparan los resultados obtenidos al ensayar los contadores en función del diámetro y tecnología.

Tabla 7. Error promedio global de los contadores de agua en función de su diámetro y tecnología para los diferentes regímenes de trabajo.

Contador (Tecnología y Diámetro)	Error Promedio Global (Régimen Permanente)	Error Promedio Global (Régimen Transitorio)
Chorro Único D15mm	0.81%	3.14%
Ultrasonido D15mm	0.00%	-0.15%
Electromagnético D15mm	-0.44%	-0.68%
Chorro Único D20mm	-0.72%	5.90%
Ultrasonido D20mm	-0.91%	-1.04%
Electromagnético D20mm	-0.75%	-0.97%

Como se muestra en la **Tabla 7** de error promedio global en función del diámetro y tecnología del contador, los medidores mecánicos de 20mm de diámetro, siendo evaluados en régimen transitorio, presentan un error global de sobre contaje mayor que el error presente en los contadores de chorro único con diámetro de 15mm.

También, cuando se comparan los resultados de los ensayos en régimen transitorio y régimen permanente de los contadores estáticos (electromagnéticos y de ultrasonido), estos presentan mayor diferencia de comportamiento cuando estos poseen un diámetro de 20mm.

Tabla 8. Error promedio global de los contadores de agua en función de su tecnología para los diferentes regímenes de trabajo.

Tecnología del Contador	Error Promedio Global (Régimen Permanente)	Error Promedio Global (Régimen Transitorio)
Chorro Único	0.05%	4.52%
Ultrasonido	-0.45%	-0.60%
Electromagnético	-0.59%	-0.83%

De misma forma, como se muestra en la **Tabla 27** de error promedio global de los contadores en función de su tecnología, los contadores de chorro único poseen la mayor diferencia de errores cuando se compara el comportamiento en diferentes regímenes y, de misma manera, los mismos tienden a cometer un error de sobre contaje cuando son sometidos a ensayos de régimen transitorio.

Al comparar la diferencia de los errores a diferentes regímenes, cabe destacar que de los contadores que utilizan baterías, los medidores con tecnología de ultrasonido tienden a mostrar una mayor diferencia de subcontaje que los contadores electromagnéticos. Es por lo antes expuesto que se puede admitir que el contador con mayor fiabilidad de lectura cuando se somete a régimen variables con el tiempo son los contadores de tecnología electromecánica.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

7 CONCLUSIONES

Los contadores de agua de uso doméstico ensayados en el desarrollo de este proyecto en régimen permanente, como se puede apreciar en las curvas de error mostradas en el capítulo 5 “Resultados”, poseen un comportamiento metrológico que se mantiene siempre dentro de los rangos permitidos por la normativa UNE-EN ISO-4064.

A pesar de esto, como se muestra en el capítulo 5, el 100% de los contadores de agua que han sido estudiados en el desarrollo de la presente investigación, al ser sometidos a ensayos en los cuales se utilizan diferentes intensidades de caudal y discontinuidad de flujo, en algún caso, presentan resultados de error que exceden los rangos admitidos por las instituciones que rigen los aparatos de medida globalmente.

De la misma forma, en función a los resultados obtenidos en los apartados del capítulo 6 “Análisis estadístico de los resultados”, al realizar un test de hipótesis de diferencia de medias en los datos obtenidos en los ensayos de flujo variable, se puede determinar que la metrología de los contadores de agua varía de manera significativa con respecto a los errores presentes en los medidores cuando este se somete a ensayos de régimen permanente. Cabe destacar que en el caso del contador modelo MC2 no se presentó en ningún momento resultados de significancia donde se pudiese asumir que existan diferencias estadísticamente diferentes en la comparación de los distintos regímenes.

Los contadores de chorro único, sometidos a ensayos en régimen variable, como se muestra en la **Tabla 8** del apartado 6.8, tienden a producir errores de sobre contaje en comparación al error que presentan los mismos cuando son sometidos a ensayos de régimen permanente. Esto es consecuencia de la inercia que poseen los elementos móviles que lo conforman. Las pequeñas turbinas ubicadas en el interior del contador mantienen por un instante el giro cuando el flujo se detiene de manera súbita por el cierre del circuito.

De igual importancia, como se muestra en el apartado 5.1 y 5.7 del capítulo 5 de este proyecto, la metrología de los medidores mecánicos al ser sometidos a ensayos con régimen transitorio se ve más alterada (en relación a la curva de error en régimen estacionario) cuanto menor es el caudal de trabajo, y se determinó que el desempeño del mismo es peor mientras menor sea el intervalo de tiempo de intermitencia del flujo, es decir, mientras mayor es el número de arranques y paros en un circuito, mayor será el error del contador mecánico.

De la misma manera, como se muestra en los gráficos de caja y bigotes del comportamiento metrológico de los contadores electromagnéticos (**Imagen 79 e Imagen 80**) en el apartado 5.3, este tipo de medidor de agua es más susceptible a aumentar el rango de error cuando estos son sometidos a condiciones de régimen transitorio con caudales por debajo de 500l/h., es decir, cuando el caudal de trabajo al que está siendo sometido es bajo, mayor es la probabilidad de que se vea afectado el rendimiento metrológico de los contadores ensayados. También, haciendo referencia de los resultados mostrados en la **Tabla 8**, los contadores electromagnéticos, en comparación a los demás contadores ensayados en esta investigación, presentan un comportamiento con mayor fiabilidad cuando los mismos se encuentran trabajando en condiciones variables de funcionamiento, esto se debe a que este medidor posee el menor porcentaje de variación de error con relación a la metrología que poseen al ser sometidos a régimen permanente.

Los medidores de ultrasonidos (exceptuando el contador modelo MH) sometidos a ensayos de régimen transitorio, presentan un aumento del error de medición cuando el ensayo posee una discontinuidad de flujo con intervalos de tiempo de valor impar. Es posible que se debe a que el tiempo de muestreo del flujo (determinado por cada fabricante) para estos contadores posee un intervalo de tiempo con un valor en segundos par, por lo que se puede admitir que el tiempo de muestreo en ocasiones diverge provocando así el subcontaje del volumen de agua que ha sido trasegado.

La presente investigación demuestra la existencia de la variabilidad metrológica de los contadores de agua cuando estos son sometidos a régimen variable con respecto al tiempo, por lo que, destaca la necesidad de desarrollar controles de calidad para los contadores de agua de uso doméstico que asuman la existencia de discontinuidad y cambio de intensidad del flujo.

Tras la realización del análisis estadístico de los resultados obtenidos para la realización de este trabajo mostrado en el capítulo 6 y en el Anexo I, se determinó que el 100% de los contadores de agua de chorro único presentan una variabilidad significativa en el comportamiento metrológico cuando estos son sometidos a ensayos con regímenes variables. Asimismo, el 100% de los contadores de ultrasonido presentaron casos con variabilidad significativa en los errores cuando estos son sometidos a ensayos de régimen variable con respecto al comportamiento de los mismos bajo condiciones de funcionamiento permanente. Por último, de los dos contadores electromagnéticos evaluados, el contador modelo MC1 presentó variabilidad significativa en relación a los errores presentes cuando es sometido a los diferentes regímenes de funcionamiento.

La presente investigación como se muestra en el apartado 6.8 demuestra que los contadores de mayor calibre son más propensos a generar una mayor diferencia en los errores promedio globales de régimen permanente y régimen variable, en relación con la diferencia de comportamiento que se presentan en los medidores de misma tecnología y modelo, pero con un diámetro menor.

De igual forma, el comportamiento metrológico de los medidores de agua en función del modelo, como se muestra en la tabla 6 del apartado 6.8, el error del contador está estrechamente relacionado con las características constructivas que posea el mismo.

En función a los resultados obtenidos en este trabajo, se plantea la existencia de errores poco estudiados existentes en los registros de los contadores de agua, producto de la presencia de fenómenos transitorios en las redes de distribución de agua.

Además, los contadores de agua de uso doméstico son, entre muchas cosas, elementos que se toman como referencia para calcular la eficiencia de las redes de distribución de agua potable, por lo que, el error desconocido de los mismos podría provocar fallos importantes en los estudios de eficiencia de las redes de suministro de agua potable.

Por otra parte, los datos que arroja este estudio abren la posibilidad de que las empresas y organismos encargados de normalizar la metrología de manera internacional, se planteen la existencia de errores de medida no asumidos en los contadores que están en funcionamiento actual en el campo, producto de fenómenos transitorios que se presentan en las redes de abastecimiento debido a variaciones en el caudal de consumo.

Por último, el ser humano tiende a utilizar cada vez más contadores de tecnología electromagnética y de ultrasonido gracias a la carencia que estos tienen de piezas móviles. También, como se muestra en el apartado 6.8 los contadores estadicos tienden a producir un error negativo cuando se les somete a régimen de flujo transitorio y, de misma forma, en el capítulo 6 se muestra la existencia de variabilidad significativa en la medida cuando un contador se encuentra trabajando con flujo no permanente, es por esto que, se plantea la posibilidad de que las empresas de abastecimiento se puedan estar enfrentando a una gran pérdida económica no prevista debido a una posible variabilidad metrológica en los contadores de agua.

7.1 LÍNEAS FUTURAS

El desarrollo de este proyecto deja abiertas diferentes líneas futuras de investigación que servirán tanto para completar el presente trabajo como para ampliarlo analizando nuevos campos de estudio. Entre ellas se destacan:

En primer lugar, las alteraciones del flujo a las que se sometieron los contadores, es decir, variabilidad máxima de caudal a lo que se podían someter los contadores, fue de 3 caudales diferentes por ensayo, esta selección del número de caudales se debe a las limitaciones de material con la que se realizó esta investigación. Por lo que, es interesante construir un banco de ensayo para régimen transitorio que permita la realización de ensayos a un mayor número de caudales de ensayo.

Por otro lado, para el desarrollo de esta investigación ha sido necesario desarrollar programas informáticos en lenguaje Ladder y VBA. Estos programas sirven para generar las maniobras de cierre o apertura de circuitos, análisis de resultados y, evaluación metrológica, entre otros. Aun existiendo los programas informáticos, se necesitó regular de manera manual válvulas de seccionamiento, por lo que, se podría plantear generar la versatilidad de los grados de apertura de las válvulas por medio de mando informático.

Asimismo, la recopilación de datos para el cálculo del comportamiento metrológico se hizo de manera manual por lo que únicamente se pudo calcular el error al finalizar cada ensayo. Sin embargo, sería interesante conocer la variabilidad del error del contador a lo largo de un ensayo, para lo que, se necesitaría un instrumento informático que tome medida del volumen registrado por cada contador a lo largo del tiempo y conocer la evolución que tendría el comportamiento metrológico del mismo con respecto del tiempo a lo largo de un ensayo.

Además, con la presente investigación, se ha iniciado un nuevo estudio sobre contadores de uso doméstico. Sin embargo, existe una mayor variedad de modelos de contadores que no se han

podido ensayar, por lo que, deja abierta la posibilidad de ensayar contadores de diferentes tecnologías y calibres que permitan aproximarnos a determinar de manera concreta el comportamiento metrológico de todos los contadores de agua. Dentro de este apartado, cabe destacar la posibilidad de ensayar contadores de calibres superiores destinados a usos no doméstico, como son los contadores industriales, donde tanto los patrones de consumo como el funcionamiento metrológico de estos aparatos difieren de los residenciales.

Por último, los contadores empleados en la presente investigación son contadores nuevos que nunca han sido instalados en campo, por lo que, sería de interés realizar un estudio similar empleando contadores deteriorados, para ver qué efecto tendría el funcionamiento no transitorio con el paso del tiempo. Por otro lado, se abre la posibilidad de analizar cómo influye el régimen no permanente a contadores cuyas características físicas pueden verse modificadas, por ejemplo, en contadores cuya sección de entrada se ha visto reducida por la obstrucción parcial o completa debida a la acumulación en el filtro de sedimentos que transportan las redes de distribución.

CAPITULO VIII

BIBLIOGRAFIA

8 BIBLIOGRAFIA

- Arregui, F., Cabrera, E., & Cobacho, R. (2007). *Gestión Integral de Contadores de Agua*. IWA.
- Arregui, F. J., Balaguer, M., Soriano, J., & García-Serra, J. (2016). Quantifying measuring errors of new residential water meters considering different customer consumption patterns. *Urban Water Journal*, 13(5), 463–475. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.993999>
- Alegre, H. (2006). *Performance Indicators for Water Supply Services*, Second edition, Manuals of Best Practice, IWA Publishing.
- Fontanazza, C. M., Notaro, V., Puleo, V., & Freni, G. (2013). Effects of network pressure on water meter under-registration: an experimental analysis. *Drinking Water Engineering and Science Discussions*, 6(1), 119–149. <https://doi.org/10.5194/dwesd-6-119-2013>
- Noss, R. R., Newman, G. J., & Male, J. W. (1987). Optimal testing frequency for domestic water meters. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 113(1), 1–14. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1987\)113:1\(1\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1987)113:1(1))
- Nguyen, K. A., Stewart, R. A., Zhang, H., Sahin, O., & Siriwardene, N. (2018). Re-engineering traditional urban water management practices with smart metering and informatics. *Environmental Modelling and Software*, 101, 256–267. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.12.015>
- Monedero, I., Biscarri, F., Guerrero, J. I., Peña, M., Roldán, M., & León, C. (2016). Detection of Water Meter Under-Registration Using Statistical Algorithms. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(1), 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000562](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000562)
- Metrología - María Moro Piñeiro - Google Libros. (n.d.). <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=9ebXd5nzyKAC&oi=fnd&pg=PA14&>

dq=metrologia&ots=asHWwJFbdF&sig=WINv0YNA1d7hoNbTkczozZwAR4&redir_esc=
y#v=onepage&q=metrologia&f=false

SWAN. (2011). Stated NRW (Non-Revenue Water) Rates in Urban Networks. August, 1–4.

https://www.swanforum.com/wpcontent/uploads/sites/218/2016/05/statednrwratesinurban_networks-swanresearch-august2011.pdf

Amat Rodrigo, J. (2016). Kruskal-Wallis test. Alternativa no paramétrica al ANOVA independiente. *RPubs*, 1–2.

Chaaban, H. (1978). Non-Parametric Test. *Tishreen University Journal*, 2. 2079-3057.

<http://journal.tishreen.edu.sy/index.php/bassn>

ISO, U. (2018). Norma Española Contadores de agua para agua fría potable y agua caliente Parte 1: Requisitos metrológicos y técnicos.

ISO, U. (2018). Norma Española Contadores de agua para agua fría potable y agua caliente Parte 2: Métodos de ensayo.

Valera, O. (2016). Estudio sobre la idoneidad de los contadores de agua volumétricos para la medición del consumo doméstico en un abastecimiento.

CAPITULO IX
ANEXOS

9 ANEXOS

9.1 Anexo I – Resultados de comparaciones estadísticas de los contadores

A continuación, se presentan las tablas que muestran los resultados de significancia de cada uno de los análisis de comparación de medias realizado para cada contador ensayado. Los valores de significancia que se pueden apreciar, son producto de la comparación del comportamiento de un contador bajo condiciones de régimen permanente y cada grupo de resultados obtenidos cuando el mismo había sido ensayado en condiciones de régimen transitorio.

Los resultados que están sombreados, son los casos donde el valor de significancia rechaza la hipótesis nula (H_0), por lo que se comprueba la existencia de variabilidad estadísticamente diferente. De igual forma, en las tablas, se muestra el número total de ensayos comparados para cada resultado, ubicándose en la columna “N total”.

Tabla 9. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MA1

Prueba de comparación de muestras					
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q200E		Q200_T1	9	0.607
			Q200_T2	9	0.607
			Q200_T3	9	0.100
			Q200_T4	9	0.032
			Q400_T5	9	0.365
			Q400_T6	9	0.158
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q500E		Q400_T5	10	0.682
			Q400_T6	10	0.114
			Q500_T1	10	0.731
			Q500_T2	10	0.407
			Q500_T3	10	0.224
			Q500_T4	10	0.055
			Q700_T5	10	0.389
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1000E	Q700_T5	10	0.122	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1500E		Q1700_T5	10	0.035
		Q1700_T6	10	0.020	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q2000E		Q1700_T5	10	0.155
			Q1700_T6	10	0.063
			Q2000_T1	10	0.318
			Q2000_T2	10	0.553
			Q2000_T3	10	0.063
		Q2000_T4	10	0.045	

Tabla 10. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MA2

Prueba de Comparación de muestras				
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MA2	Q200E	Q200_T1	9	0.920
		Q200_T2	9	0.243
		Q200_T3	9	0.015
		Q200_T4	9	0.002
		Q400_T5	9	0.217
		Q400_T6	9	0.067
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MA2	Q500E	Q400_T5	10	0.302
		Q400_T6	10	0.107
		Q500_T1	10	0.082
		Q500_T2	10	0.024
		Q500_T3	10	0.279
		Q500_T4	10	0.032
		Q700_T5	10	0.700
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
MA2	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
	Q1000E	Q700_T5	10	0.016
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
MA2	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
	Q1500E	Q1700_T5	10	0.216
		Q1700_T6	10	0.384
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
MA2	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
	Q2000E	Q1700_T5	10	0.030
		Q1700_T6	10	0.325
		Q2000_T1	10	0.006
		Q2000_T2	10	0.001
Q2000_T3		10	0.115	

Tabla 11. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MA3.

Prueba de Comparación de muestras					
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA3	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q200E	Q200_T1		9	0.036
		Q200_T2		9	0.368
		Q200_T3		9	0.001
		Q200_T4		9	0.002
		Q400_T5		9	0.134
		Q400_T6		9	0.007
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA3	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q500E	Q400_T5		10	0.078
		Q400_T6		10	0.001
		Q500_T1		10	0.217
		Q500_T2		10	0.769
		Q500_T3		10	0.005
		Q500_T4		10	0.003
		Q700_T5		10	0.022
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA3	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1000E	Q700_T5	10	0.016	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA3	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1500E	Q1700_T5	10	0.062	
		Q1700_T6	10	0.003	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA3	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q2000E	Q1700_T5	10	0.115	
		Q1700_T6	10	0.018	
		Q2000_T1	10	0.149	
		Q2000_T2	10	0.325	
		Q2000_T3	10	0.003	
Q2000_T4		10	0.001		

Tabla 12. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MA4.

Prueba de Comparación de muestras					
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA4	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q200E	Q200_T1		9	0.110
		Q200_T2		9	0.549
		Q200_T3		9	0.005
		Q200_T4		9	0.001
		Q400_T5		9	0.317
		Q400_T6		9	0.028
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA4	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q500E	Q400_T5		10	0.053
		Q400_T6		10	0.003
		Q500_T1		10	0.264
		Q500_T2		10	0.881
		Q500_T3		10	0.014
		Q500_T4		10	0.001
		Q700_T5		10	0.240
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA4	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1000E	Q700_T5	10	0.015	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA4	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1500E	Q1700_T5	10	0.062	
		Q1700_T6	10	0.003	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA4	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q2000E	Q1700_T5	10	0.115	
		Q1700_T6	10	0.006	
		Q2000_T1	10	0.030	
		Q2000_T2	10	0.325	
		Q2000_T3	10	0.001	
Q2000_T4		10	0.001		

Tabla 13. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MA5.

Prueba de Comparación de muestras					
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA5	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q200E	Q200_T1		9	0.036
		Q200_T2		9	0.368
		Q200_T3		9	0.001
		Q200_T4		9	0.001
		Q400_T5		9	0.133
		Q400_T6		9	0.007
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA5	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q500E	Q400_T5		10	0.044
		Q400_T6		10	0.002
		Q500_T1		10	0.137
		Q500_T2		10	0.529
		Q500_T3		10	0.011
		Q500_T4		10	0.001
		Q700_T5		10	0.339
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA5	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1000E	Q700_T5	10	0.016	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA5	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1500E	Q1700_T5		10	0.062
		Q1700_T6		10	0.003
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MA5	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q2000E	Q1700_T5		10	0.129
		Q1700_T6		10	0.006
		Q2000_T1		10	0.035
		Q2000_T2		10	0.425
		Q2000_T3		10	0.002
		Q2000_T4		10	0.001

Tabla 14. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MB1.

Prueba de comparación de muestras				
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MB1	Q200E	Q200_T1	8	0.053
		Q200_T2	8	0.006
		Q200_T3	8	0.140
		Q200_T4	8	0.081
		Q400_T5	9	0.342
		Q400_T6	9	0.008
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MB1	Q500E	Q400_T5	13	0.867
		Q400_T6	13	0.012
		Q500_T1	12	0.234
		Q500_T2	12	0.002
		Q500_T3	12	0.258
		Q500_T4	12	0.077
		Q700_T5	12	0.331
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MB1	Q1000E	Q700_T5	10	0.586
		Q1000_T1	12	0.006
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MB1	Q1500E	Q1500_T1	12	0.196
		Q1700_T5	12	0.751
		Q1700_T6	12	0.002
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MB1	Q2000E	Q1700_T5	11	0.63
		Q1700_T6	11	0.01
		Q2000_T1	12	0.153
		Q2000_T2	12	0.008
		Q2000_T3	12	0.626
		Q2000_T4	12	0.329

Tabla 15. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MB2.

Prueba de comparación de muestras					
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MB2	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q200E		Q200_T1	8	0.121
			Q200_T2	8	0.004
			Q200_T3	8	0.169
			Q200_T4	8	0.121
			Q400_T5	9	0.140
			Q400_T6	9	0.013
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MB2	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q500E		Q400_T5	13	0.365
			Q400_T6	13	0.006
			Q500_T1	12	0.340
			Q500_T2	12	0.012
			Q500_T3	12	0.255
			Q500_T4	12	0.053
			Q700_T5	12	0.733
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MB2	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1000E		Q700_T5	10	0.484
			Q1000_T1	12	0.005
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MB2	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1500E		Q1500_T1	12	0.061
			Q1700_T5	11	0.293
			Q1700_T6	11	0.005
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MB2	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q2000E		Q1700_T5	11	0.350
			Q1700_T6	11	0.002
			Q2000_T1	12	0.206
			Q2000_T2	12	0.010
			Q2000_T3	12	0.128
			Q2000_T4	12	0.128

Tabla 16. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MC1.

Prueba de comparación de muestras					
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MC1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q200E		Q200_T1	8	0.077
			Q200_T2	8	0.036
			Q200_T3	8	0.057
			Q200_T4	8	0.019
			Q400_T5	9	0.520
			Q400_T6	9	0.148
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MC1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q500E		Q400_T5	13	0.543
			Q400_T6	13	0.055
			Q500_T1	12	0.037
			Q500_T2	12	0.032
			Q500_T3	12	0.199
			Q500_T4	12	0.027
			Q700_T5	12	0.362
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MC1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1000E		Q700_T5	10	0.293
			Q1000_T1	12	0.106
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MC1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1500E		Q1500_T1	12	0.011
			Q1700_T5	11	0.027
			Q1700_T6	11	0.170
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MC1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q2000E		Q1700_T5	11	0.016
			Q1700_T6	11	0.119
			Q2000_T1	12	0.014
			Q2000_T2	12	0.005
			Q2000_T3	12	0.136
		Q2000_T4	12	0.136	

Tabla 17. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MC2.

Prueba de comparación de muestras					
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MC2	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q200E	Q200_T1		7	0.988
		Q200_T2		7	0.427
		Q200_T3		7	0.822
		Q200_T4		7	0.987
		Q400_T5		7	0.991
		Q400_T6		7	0.058
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MC2	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q500E	Q400_T5		10	0.998
		Q400_T6		10	0.983
		Q500_T1		10	0.988
		Q500_T2		10	0.997
		Q500_T3		10	0.998
		Q500_T4		10	0.993
		Q700_T5		10	0.999
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MC2	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1000E	Q700_T5	9	0.926	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MC2	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1500E	Q1700_T5	10	0.991	
		Q1700_T6	10	0.714	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MC2	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q2000E	Q1700_T5	10	0.997	
		Q1700_T6	10	0.180	
		Q2000_T1	10	0.999	
		Q2000_T2	10	0.997	
		Q2000_T3	10	0.070	
Q2000_T4		10	0.987		

Tabla 18. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MD1.

Prueba de comparación de muestras				
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD1	Q200E	Q200_T1	8	0.553
		Q200_T2	8	0.300
		Q200_T3	8	0.115
		Q200_T4	8	0.352
		Q400_T5	9	0.038
		Q400_T6	9	0.024
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD1	Q500E	Q400_T5	13	0.030
		Q400_T6	13	0.001
		Q500_T1	12	0.082
		Q500_T2	12	0.028
		Q500_T3	12	0.210
		Q500_T4	12	0.042
		Q700_T5	12	0.191
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD1	Q1000E	Q700_T5	10	0.149
		Q1000_T1	12	0.004
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD1	Q1500E	Q1500_T1	12	0.184
		Q1700_T5	11	0.232
		Q1700_T6	11	0.002
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD1	Q2000E	Q1700_T5	11	
		Q1700_T6	11	0.360
		Q2000_T1	12	0.023
		Q2000_T2	12	0.006
		Q2000_T3	12	0.050
		Q2000_T4	12	0.050

Tabla 19. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MD2.

Prueba de comparación de muestras				
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD2	Q200E	Q200_T1	8	0.495
		Q200_T2	8	0.293
		Q200_T3	8	0.988
		Q200_T4	8	0.002
		Q400_T5	9	0.174
		Q400_T6	8	0.688
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD2	Q500E	Q400_T5	11	0.170
		Q400_T6	10	0.317
		Q500_T1	12	0.162
		Q500_T2	10	0.272
		Q500_T3	10	0.988
		Q500_T4	10	0.001
		Q700_T5	10	0.494
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD2	Q1000E	Q700_T5	10	0.049
		Q1000_T1	12	0.011
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD2	Q1500E	Q1500_T1	12	0.047
		Q1700_T5	11	0.007
		Q1700_T6	11	0.998
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD2	Q2000E	Q1700_T5	11	0.217
		Q1700_T6	11	0.998
		Q2000_T1	12	0.989
		Q2000_T2	10	0.018
		Q2000_T3	10	0.995
		Q2000_T4	10	0.006

Tabla 20. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MD3.

Prueba de comparación de muestras				
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD3	Q200E	Q200_T1	8	0.005
		Q200_T2	8	0.003
		Q200_T3	8	0.038
		Q200_T4	8	0.106
		Q400_T5	9	0.027
		Q400_T6	8	0.010
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD3	Q500E	Q400_T5	11	0.850
		Q400_T6	10	0.005
		Q500_T1	12	0.018
		Q500_T2	10	0.026
		Q500_T3	10	0.033
		Q500_T4	10	0.001
		Q700_T5	10	0.004
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD3	Q1000E	Q700_T5	10	0.02
		Q1000_T1	12	0.022
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD3	Q1500E	Q1500_T1	12	0.124
		Q1700_T5	11	0.130
		Q1700_T6	11	0.001
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MD3	Q2000E	Q1700_T5	11	0.600
		Q1700_T6	11	0.002
		Q2000_T1	12	0.764
		Q2000_T2	10	0.988
		Q2000_T3	10	0.721
		Q2000_T4	10	0.011

Tabla 21. Resultados de la comparación estadística del contador modelo ME1.

Prueba de comparación de muestras				
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
ME1	Q200E	Q200_T1	8	0.005
		Q200_T2	8	0.040
		Q200_T3	8	0.989
		Q200_T4	8	0.003
		Q400_T5	9	0.025
		Q400_T6	9	0.034
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
ME1	Q500E	Q400_T5	13	0.017
		Q400_T6	13	0.015
		Q500_T1	12	0.002
		Q500_T2	12	0.001
		Q500_T3	12	0.808
		Q500_T4	12	0.002
		Q700_T5	12	0.174
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
ME1	Q1000E	Q700_T5	10	0.064
		Q1000_T1	12	0.003
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
ME1	Q1500E	Q1500_T1	12	0.001
		Q1700_T5	11	0.034
		Q1700_T6	11	0.824
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
ME1	Q2000E	Q1700_T5	11	0.002
		Q1700_T6	11	0.027
		Q2000_T1	12	0.001
		Q2000_T2	12	0.049
		Q2000_T3	12	0.562
		Q2000_T4	12	0.562

Tabla 22. Resultados de la comparación estadística del contador modelo ME2.

Prueba de comparación de muestras				
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
ME2	Q200E	Q200_T1	8	0.495
		Q200_T2	8	0.293
		Q200_T3	8	0.988
		Q200_T4	8	0.002
		Q400_T5	9	0.174
		Q400_T6	8	0.688
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
ME2	Q500E	Q400_T5	11	0.170
		Q400_T6	10	0.317
		Q500_T1	12	0.162
		Q500_T2	10	0.272
		Q500_T3	10	0.989
		Q500_T4	10	0.001
		Q700_T5	10	0.494
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
ME2	Q1000E	Q700_T5	10	0.049
		Q1000_T1	12	0.011
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
ME2	Q1500E	Q1500_T1	12	0.007
		Q1700_T5	11	0.047
		Q1700_T6	11	0.995
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
ME2	Q2000E	Q1700_T5	11	0.217
		Q1700_T6	11	0.998
		Q2000_T1	12	0.018
		Q2000_T2	10	0.989
		Q2000_T3	10	0.985
		Q2000_T4	10	0.006

Tabla 23. Resultados de la comparación estadística del contador modelo ME3.

Prueba de comparación de muestras					
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
ME3	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q200E	Q200_T1		8	0.168
		Q200_T2		8	0.114
		Q200_T3		8	0.988
		Q200_T4		8	0.002
		Q400_T5		9	0.423
		Q400_T6		8	0.981
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
ME3	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q500E	Q400_T5		11	0.049
		Q400_T6		10	0.465
		Q500_T1		12	0.030
	Q500E	Q500_T2		10	0.710
		Q500_T3		10	0.998
		Q500_T4		10	0.001
		Q700_T5		10	0.982
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
ME3	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1000E	Q700_T5		10	0.104
		Q1000_T1		12	0.002
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
ME3	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1500E	Q1500_T1		12	0.002
		Q1700_T5		11	0.014
		Q1700_T6		11	0.722
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
ME3	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q2000E	Q1700_T5		11	0.036
		Q1700_T6		11	0.988
		Q2000_T1		12	0.007
		Q2000_T2		10	0.990
		Q2000_T3		10	0.998
Q2000_T4			10	0.011	

Tabla 24. Resultados de la comparación estadística del contador modelo ME4.

Prueba de comparación de muestras					
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
ME4	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q200E	Q200_T1		11	0.551
		Q200_T2		11	0.987
		Q200_T3		11	0.106
		Q200_T4		11	0.002
		Q400_T5		11	0.190
		Q400_T6		11	0.551
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
ME4	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q500E	Q400_T5		16	0.232
		Q400_T6		16	0.720
		Q500_T1		16	0.038
		Q500_T2		16	0.988
		Q500_T3		16	0.076
		Q500_T4		16	0.002
		Q700_T5		16	0.417
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
ME4	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1000E	Q700_T5	17	0.369	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
ME4	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1500E	Q1700_T5		16	0.008
		Q1700_T6		16	0.042
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
ME4	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q2000E	Q1700_T5		16	0.048
		Q1700_T6		16	0.667
		Q2000_T1		16	0.055
		Q2000_T2		16	0.988
		Q2000_T3		16	0.991
Q2000_T4			16	0.002	

Tabla 25. Resultados de la comparación estadística del contador modelo ME5.

Prueba de comparación de muestras					
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
ME5	Q200E	Q200_T1	7	0.355	
		Q200_T2	7	0.998	
		Q200_T3	7	0.604	
		Q200_T4	7	0.004	
		Q400_T5	7	0.508	
		Q400_T6	7	0.843	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
ME5	Q500E	Q400_T5	10	0.144	
		Q400_T6	10	0.653	
		Q500_T1	10	0.246	
		Q500_T2	10	0.998	
		Q500_T3	10	0.989	
		Q500_T4	10	0.002	
		Q700_T5	10	0.048	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
ME5	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1000E	Q700_T5	10	0.008	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
ME5	Q1500E	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
		Q1700_T5	10	0.008	
		Q1700_T6	10	0.178	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
ME5	Q2000E	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
		Q1700_T5	10	0.172	
		Q1700_T6	10	0.998	
		Q2000_T1	10	0.172	
		Q2000_T2	10	0.999	
		Q2000_T3	10	0.050	
Q2000_T4	10	0.020			

Tabla 26. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MG1.

Prueba de comparación de muestras					
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MG1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q200E	Q200_T1		7	0.983
		Q200_T2		7	0.991
		Q200_T3		7	0.047
		Q200_T4		7	0.009
	Q400E	Q400_T5		7	0.994
		Q400_T6		7	0.429
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MG1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q500E	Q400_T5		10	0.988
		Q400_T6		10	0.048
		Q500_T1		10	0.978
		Q500_T2		10	0.991
		Q500_T3		10	0.800
		Q500_T4		10	0.033
		Q700_T5		10	0.688
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MG1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1000E	Q700_T5	10	0.025	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MG1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q1500E	Q1700_T5	10	0.178	
		Q1700_T6	10	0.008	
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis		
MG1	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia	
	Q2000E	Q1700_T5	10	0.840	
		Q1700_T6	10	0.026	
		Q2000_T1	10	0.988	
		Q2000_T2	10	0.992	
		Q2000_T3	10	0.172	
Q2000_T4		10	0.003		

Tabla 27. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MG2.

Prueba de comparación de muestras				
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MG2	Q200E	Q200_T1	7	0.045
		Q200_T2	7	0.480
		Q200_T3	7	0.037
		Q200_T4	7	0.004
	Q200E	Q400_T5	7	0.190
		Q400_T6	7	0.012
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MG2	Q500E	Q400_T5	11	0.059
		Q400_T6	11	0.047
		Q500_T1	11	0.217
		Q500_T2	11	0.769
		Q500_T3	11	0.014
		Q500_T4	11	0.012
		Q700_T5	11	0.034
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MG2	Q1000E	Q700_T5	10	0.045
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MG2	Q1500E	Q1700_T5	11	0.048
		Q1700_T6	11	0.009
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MG2	Q2000E	Q1700_T5	10	0.635
		Q1700_T6	10	0.017
		Q2000_T1	10	0.991
		Q2000_T2	10	0.997
		Q2000_T3	10	0.122
		Q2000_T4	10	0.002

Tabla 28. Resultados de la comparación estadística del contador modelo MH.

Prueba de comparación de muestras				
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MH	Q200E	Q200_T1	11	0.229
		Q200_T2	11	0.988
		Q200_T3	11	0.047
		Q200_T4	11	0.030
		Q400_T5	11	0.993
		Q400_T6	11	0.015
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MH	Q500E	Q400_T5	16	0.989
		Q400_T6	16	0.008
		Q500_T1	16	0.478
		Q500_T2	16	0.977
		Q500_T3	16	0.026
		Q500_T4	16	0.047
		Q700_T5	16	0.033
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MH	Q1000E	Q700_T5	17	0.019
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MH		Q1700_T5	16	0.067
		Q1700_T6	16	0.006
Contador	Comparación		Kruskal-Wallis	
	Muestra 1	Muestra 2	N total	Significancia
MH	Q2000E	Q1700_T5	16	0.863
		Q1700_T6	16	0.011
		Q2000_T1	16	0.653
		Q2000_T2	16	0.989
		Q2000_T3	16	0.009
		Q2000_T4	16	0.048

9.2 Anexo II –Errores presentes en los contadores tras la realización de los diferentes ensayos

A continuación, se muestra detalladamente el error obtenido para cada contador en los diferentes ensayos. Conjunto a estos resultados se muestra el error máximo, mínimo, la mediana de los valores y el promedio de dichos errores.

- **Resultados de los ensayos en régimen permanente que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la primera bancada:**

3000 l/h													
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	Error 8	Error 9	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1	-0.65%	0.73%	1.32%	0.79%	0.81%	0.77%	0.29%	-0.25%	-0.15%	1.32%	-0.65%	0.73%	0.41%
ME1	-1.66%	0.23%	1.32%	1.80%	-0.20%	1.78%	0.80%	-0.25%	0.35%	1.80%	-1.66%	0.35%	0.46%
MB1	-0.65%	-0.28%	0.30%	0.28%	0.81%	0.77%	0.29%	-0.75%	-0.65%	0.81%	-0.75%	0.28%	0.01%
MC1	-1.15%	0.73%	0.81%	0.79%	0.81%	0.77%	0.29%	-0.75%	-0.65%	0.81%	-1.15%	0.73%	0.18%
MB2	-0.65%	0.23%	0.30%	0.28%	0.81%	0.77%	0.29%	-1.25%	-0.15%	0.81%	-1.25%	0.28%	0.07%

2500 l/h													
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	Error 8	Error 9	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1	-1.005%	-0.402%	0.508%	0.913%	0.964%	0.508%	0.508%	0.000%	0.101%	0.964%	-1.005%	0.508%	0.233%
ME1	-0.503%	0.101%	1.015%	-0.101%	1.471%	1.523%	1.523%	-0.503%	-0.402%	1.523%	-0.503%	0.101%	0.458%
MB1	-1.005%	-0.402%	0.000%	0.406%	0.457%	0.000%	0.508%	-0.503%	-0.402%	0.508%	-1.005%	0.000%	-0.105%
MC1	-0.503%	-0.402%	0.508%	0.406%	0.457%	1.015%	0.000%	-0.503%	-0.905%	1.015%	-0.905%	0.000%	0.008%
MB2	0.000%	0.101%	0.508%	0.913%	0.457%	0.508%	0.508%	-1.005%	-0.402%	0.913%	-1.005%	0.457%	0.176%

2000 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1	0.414%	-0.202%	0.201%	-0.101%	-0.706%	-0.302%	-0.151%	0.414%	-0.706%	-0.151%	-0.121%
ME1	-1.605%	0.806%	-0.302%	-0.101%	0.302%	0.201%	-0.656%	0.806%	-1.605%	-0.101%	-0.193%
MB1	-0.091%	-0.706%	0.201%	-0.605%	-0.202%	-0.806%	-1.160%	0.201%	-1.160%	-0.605%	-0.481%
MC1	-0.595%	-0.706%	-0.806%	-0.605%	-0.202%	-0.302%	-0.656%	-0.202%	-0.806%	-0.605%	-0.553%
MB2	-0.595%	-0.202%	-0.806%	-1.110%	-0.706%	-1.110%	-1.160%	-0.202%	-1.160%	-0.806%	-0.813%

1500 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1	-0.503%	-0.455%	0.051%	-0.455%	-0.455%	0.051%	-0.455%	0.051%	-0.503%	-0.455%	-0.317%
ME1	-1.005%	-0.455%	0.051%	0.051%	0.556%	0.051%	-0.455%	0.556%	-1.005%	0.051%	-0.172%
MB1	-0.503%	0.051%	-0.455%	-0.455%	-0.455%	-0.455%	-0.455%	0.051%	-0.503%	-0.455%	-0.389%
MC1	-1.005%	-0.455%	-0.455%	-0.960%	-0.455%	-0.455%	-0.960%	-0.455%	-1.005%	-0.455%	-0.678%
MB2	-1.508%	-0.455%	-0.960%	-0.960%	-0.960%	-0.960%	-0.960%	-0.455%	-1.508%	-0.960%	-0.966%

1000 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1	-0.203%	0.253%	-0.203%	-0.203%	-0.253%	-0.203%	-0.759%	0.253%	-0.759%	-0.203%	-0.224%
ME1	-0.203%	-0.253%	0.304%	0.304%	0.253%	0.304%	0.253%	0.304%	-0.253%	0.253%	0.137%
MB1	0.304%	0.253%	0.304%	-0.203%	0.253%	0.304%	-0.253%	0.304%	-0.253%	0.253%	0.137%
MC1	-0.709%	-0.759%	-0.709%	-0.709%	-0.759%	-0.203%	-0.759%	-0.203%	-0.759%	-0.709%	-0.658%
MB2	-0.203%	-0.759%	-0.709%	-0.709%	-0.759%	-0.709%	-0.759%	-0.203%	-0.759%	-0.709%	-0.658%

- **Resultados de los ensayos en régimen permanente que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la segunda bancada:**

3000 l/h													
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	Error 8	Error 9	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MF_E	-86.50%	-91.48%	-94.48%	-96.49%	-96.48%	-96.49%	-96.48%	-96.49%	-96.49%	-86.50%	-96.49%	-96.49%	-94.62%
ME2_E	-0.500%	0.200%	0.701%	0.752%	0.301%	-0.251%	0.301%	-0.201%	0.200%	0.752%	-0.500%	0.200%	0.167%
MD2_E	0.000%	0.200%	0.701%	0.752%	0.802%	0.251%	1.304%	0.301%	0.200%	1.304%	0.000%	0.301%	0.501%
ME3_E	-1.000%	0.701%	1.202%	0.752%	0.301%	0.251%	0.301%	-0.201%	0.200%	1.202%	-1.000%	0.301%	0.279%
MD3_E	0.500%	0.200%	0.200%	-0.752%	-0.201%	-0.251%	-0.201%	-0.201%	-0.301%	0.500%	-0.752%	-0.201%	-0.112%

2500 l/h													
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	Error 8	Error 9	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MF_E	-96.98%	-96.48%	-96.98%	-96.48%	-96.98%	-96.98%	-96.48%	-96.47%	-96.98%	-96.47%	-96.98%	-96.98%	-96.76%
ME2_E	0.000%	0.452%	0.101%	0.000%	0.503%	0.503%	1.056%	0.604%	1.056%	1.056%	0.000%	0.503%	0.475%
MD2_E	0.000%	-0.050%	0.604%	0.503%	0.503%	0.503%	0.050%	0.604%	0.050%	0.604%	-0.050%	0.503%	0.307%
ME3_E	0.000%	0.452%	0.101%	0.000%	0.000%	0.503%	0.553%	0.604%	0.553%	0.604%	0.000%	0.452%	0.307%
MD3_E	-1.005%	-0.050%	-0.905%	-1.005%	-0.503%	-0.503%	0.050%	-0.402%	0.050%	0.050%	-1.005%	-0.503%	-0.475%

2000 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MF_E	-96.976%	-97.480%	-96.976%	-96.976%	-96.974%	-97.479%	-96.974%	-96.974%	-97.480%	-96.976%	-97.119%
ME2_E	0.806%	0.806%	-0.202%	-0.202%	1.362%	-0.151%	-0.151%	1.362%	-0.202%	-0.151%	0.324%
MD2_E	0.806%	-0.202%	0.302%	0.302%	0.353%	0.353%	-0.151%	0.806%	-0.202%	0.302%	0.252%
ME3_E	0.806%	0.302%	-0.202%	-0.202%	0.857%	-0.151%	-0.151%	0.857%	-0.202%	-0.151%	0.180%
MD3_E	-0.706%	-0.202%	-0.706%	-0.202%	-0.656%	-0.151%	-0.656%	-0.151%	-0.706%	-0.656%	-0.468%

1500 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MF_E	-97.477%	-96.970%	-97.473%	-97.473%	-96.968%	-97.473%	-97.473%	-96.968%	-97.477%	-97.473%	-97.330%
ME2_E	0.404%	0.505%	0.556%	0.556%	0.556%	0.556%	0.051%	0.556%	0.051%	0.556%	0.455%
MD2_E	0.404%	0.000%	0.556%	0.051%	0.051%	0.556%	0.051%	0.556%	0.000%	0.051%	0.238%
ME3_E	0.404%	0.000%	0.556%	0.051%	0.051%	0.556%	0.051%	0.556%	0.000%	0.051%	0.238%
MD3_E	-0.605%	-0.505%	-0.960%	-0.455%	-0.960%	-0.455%	-0.960%	-0.455%	-0.960%	-0.605%	-0.700%

1000 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MF_E	-97.468%	-97.470%	-96.962%	-97.470%	-97.468%	-97.470%	-97.470%	-96.962%	-97.470%	-97.470%	-97.397%
ME2_E	0.253%	0.202%	0.759%	0.202%	0.253%	0.709%	0.202%	0.759%	0.202%	0.253%	0.369%
MD2_E	0.253%	0.202%	0.253%	-0.304%	0.253%	0.202%	-0.304%	0.253%	-0.304%	0.202%	0.080%
ME3_E	-0.253%	-0.304%	0.759%	0.202%	0.253%	-0.304%	-0.304%	0.759%	-0.304%	-0.253%	0.007%
MD3_E	-1.266%	-0.810%	-1.266%	-1.316%	-1.266%	-0.810%	-1.316%	-0.810%	-1.316%	-1.266%	-1.150%

500 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MF_E	-97.462%	-97.970%	-97.462%	-97.462%	-97.461%	-97.970%	-97.462%	-97.461%	-97.970%	-97.462%	-97.607%
ME2_E	0.508%	0.000%	0.000%	0.000%	0.051%	0.000%	0.000%	0.508%	0.000%	0.000%	0.080%
MD2_E	1.015%	0.508%	0.508%	0.508%	0.559%	1.015%	0.508%	1.015%	0.508%	0.533%	0.660%
ME3_E	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.051%	0.000%	-0.508%	0.051%	-0.508%	0.000%	-0.065%
MD3_E	-0.508%	-1.015%	-0.508%	-1.015%	-0.457%	-1.015%	-0.508%	-0.457%	-1.015%	-0.761%	-0.718%

200 l/h									
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MF_E	-97.460%	-97.970%	-97.460%	-97.970%	-97.970%	-97.460%	-97.970%	-97.970%	-97.766%
ME2_E	-0.310%	-0.310%	-0.250%	-0.310%	-0.310%	-0.250%	-0.310%	-0.310%	-0.298%
MD2_E	0.200%	0.200%	0.250%	0.200%	0.200%	0.250%	0.200%	0.200%	0.210%
ME3_E	-0.310%	-0.310%	-0.250%	-0.310%	-0.310%	-0.250%	-0.310%	-0.310%	-0.298%
MD3_E	-0.310%	-0.310%	-0.250%	-0.310%	-0.310%	-0.250%	-0.310%	-0.310%	-0.298%

20 l/h									
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	MAX	MIN	Mediana	Promedio	
MF_E	-97.45%	-97.96%	-97.96%	-97.96%	-97.45%	-97.96%	-97.96%	-97.84%	
ME2_E	0.31%	0.31%	0.81%	0.81%	0.81%	0.31%	0.56%	0.56%	
MD2_E	0.81%	0.31%	0.81%	0.81%	0.81%	0.31%	0.81%	0.69%	
ME3_E	-1.22%	-0.71%	-0.20%	0.31%	0.31%	-1.22%	-0.46%	-0.46%	
MD3_E	0.81%	1.83%	0.81%	0.31%	1.83%	0.81%	0.81%	0.94%	

- **Resultados de los ensayos en régimen permanente que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la tercera bancada**

3000 l/h													
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	Error 8	Error 9	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_E	1.681%	1.859%	1.959%	1.857%	1.908%	1.960%	1.908%	1.984%	1.984%	1.984%	1.681%	1.908%	1.900%
MA2_E	1.907%	2.362%	2.361%	2.460%	2.460%	2.462%	2.410%	2.486%	2.436%	2.486%	1.907%	2.436%	2.371%
MA3_E	0.602%	0.628%	0.728%	0.703%	0.753%	0.704%	0.703%	0.753%	0.804%	0.804%	0.602%	0.704%	0.709%
MA4_E	1.154%	1.080%	1.381%	1.456%	1.556%	1.608%	1.355%	1.657%	1.406%	1.657%	1.080%	1.406%	1.406%
MA5_E	0.778%	0.854%	0.954%	0.979%	0.929%	1.005%	0.904%	1.005%	1.105%	1.105%	0.778%	0.954%	0.946%

2500 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_E	2.062%	2.113%	2.060%	2.060%	2.060%	1.552%	2.060%	2.113%	1.552%	2.060%	1.995%
MA2_E	2.414%	2.414%	2.462%	2.161%	2.412%	1.902%	2.412%	2.462%	1.902%	2.412%	2.311%
MA3_E	0.905%	0.805%	0.704%	0.754%	0.854%	0.300%	0.854%	0.905%	0.300%	0.805%	0.739%
MA4_E	1.559%	1.710%	1.759%	1.709%	1.709%	1.201%	1.658%	1.759%	1.201%	1.709%	1.615%
MA5_E	1.107%	1.056%	1.106%	0.955%	1.005%	0.501%	1.005%	1.107%	0.501%	1.005%	0.962%

2000 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_E	2.115%	2.064%	1.964%	2.164%	2.218%	2.166%	2.116%	2.218%	1.964%	2.116%	2.115%
MA2_E	2.417%	2.417%	2.367%	2.365%	2.419%	2.343%	2.393%	2.419%	2.343%	2.393%	2.389%
MA3_E	0.806%	0.755%	0.806%	0.805%	0.857%	0.831%	0.831%	0.857%	0.755%	0.806%	0.813%
MA4_E	1.611%	1.712%	1.611%	1.560%	1.714%	1.587%	1.612%	1.714%	1.560%	1.611%	1.630%
MA5_E	0.906%	0.957%	0.806%	0.856%	0.907%	0.806%	0.831%	0.957%	0.806%	0.856%	0.867%

1500 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_E	0.609%	1.968%	2.020%	2.095%	2.095%	2.071%	2.045%	2.095%	0.609%	2.045%	1.843%
MA2_E	0.634%	2.170%	2.247%	2.272%	2.322%	2.323%	2.323%	2.323%	0.634%	2.272%	2.042%
MA3_E	-0.406%	0.656%	0.732%	0.757%	0.757%	0.732%	0.758%	0.758%	-0.406%	0.732%	0.570%
MA4_E	0.634%	1.463%	1.465%	1.464%	1.388%	1.313%	1.313%	1.465%	0.634%	1.388%	1.291%
MA5_E	-0.203%	0.454%	0.429%	0.454%	0.429%	0.429%	0.404%	0.454%	-0.203%	0.429%	0.342%

1000 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_E	1.442%	1.468%	1.518%	1.518%	1.518%	1.594%	1.645%	1.645%	1.442%	1.518%	1.529%
MA2_E	2.024%	1.872%	1.923%	1.872%	1.898%	1.695%	1.822%	2.024%	1.695%	1.872%	1.872%
MA3_E	0.430%	0.354%	0.329%	0.354%	0.304%	0.278%	0.278%	0.430%	0.278%	0.329%	0.333%
MA4_E	1.341%	1.316%	1.417%	1.316%	1.316%	1.366%	1.417%	1.417%	1.316%	1.341%	1.356%
MA5_E	0.177%	0.228%	0.253%	0.304%	0.354%	0.405%	0.354%	0.405%	0.177%	0.304%	0.296%

500 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_E	1.142%	1.193%	1.168%	1.320%	1.269%	1.371%	1.371%	1.371%	1.142%	1.231%	1.262%
MA2_E	1.066%	-0.508%	0.609%	0.635%	0.381%	0.736%	0.812%	1.066%	-0.508%	0.622%	0.533%
MA3_E	-0.863%	-0.812%	-0.863%	-0.761%	-1.015%	-0.736%	-0.711%	-0.711%	-1.015%	-0.838%	-0.823%
MA4_E	0.812%	0.964%	1.066%	1.142%	1.066%	1.142%	0.990%	1.142%	0.812%	1.066%	1.026%
MA5_E	-0.025%	0.228%	0.152%	0.203%	0.254%	0.203%	0.203%	0.254%	-0.025%	0.203%	0.174%

200 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	MAX	MIN	Mediana	Promedio	
MA1_E	1.119%	1.017%	1.043%	1.043%	1.043%	1.094%	1.119%	1.017%	1.043%	1.053%	
MA2_E	-0.153%	-0.178%	-0.356%	-0.254%	-0.280%	-0.178%	-0.153%	-0.356%	-0.254%	-0.244%	
MA3_E	-1.348%	-1.017%	-0.941%	-1.043%	-1.170%	-0.992%	-0.941%	-1.348%	-1.043%	-1.104%	
MA4_E	0.839%	1.221%	1.399%	1.475%	1.322%	1.450%	1.475%	0.839%	1.322%	1.251%	
MA5_E	0.407%	0.763%	0.661%	0.763%	0.712%	0.712%	0.763%	0.407%	0.712%	0.661%	

50 l/h									
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_E	-11.28%	-11.74%	-12.65%	-12.65%	-13.20%	-11.28%	-12.65%	-12.19%	-12.08%
MA2_E	0.25%	-0.20%	0.40%	0.40%	-0.15%	0.40%	-0.20%	0.33%	0.21%
MA3_E	-1.25%	-2.21%	-1.36%	-1.86%	-1.66%	-1.25%	-2.21%	-1.61%	-1.67%
MA4_E	-0.25%	1.30%	1.41%	1.15%	1.61%	1.41%	-0.25%	1.23%	0.90%
MA5_E	1.75%	1.30%	1.91%	1.41%	1.86%	1.91%	1.30%	1.58%	1.59%

- **Resultados de los ensayos en régimen permanente que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la quinta bancada:**

5000 l/h													
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	Error 8	Error 9	MAX	MIN	Mediana	Promedio
ME4_E	-8.55%	-11.03%	-8.55%	-8.05%	-8.55%	-8.55%	-8.05%	-8.55%	-8.55%	-8.05%	-11.03%	-8.55%	-8.71%
ME4_E	-8.55%	-8.55%	-8.55%	-8.05%	-8.55%	-8.55%	-8.05%	-8.55%	-8.55%	-8.05%	-8.55%	-8.55%	-8.44%
MH_E	-0.10%	-0.10%	0.40%	-0.10%	-0.10%	-0.60%	-0.60%	-0.60%	-0.10%	0.40%	-0.60%	-0.10%	-0.21%
MG1_E	-1.32%	-1.29%	-1.27%	-1.34%	-1.24%	-1.39%	-1.32%	-1.22%	-1.29%	-1.22%	-1.39%	-1.29%	-1.30%

4000 l/h													
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	Error 8	Error 9	MAX	MIN	Mediana	Promedio
ME4_E	1.00%	-1.00%	-1.00%	1.00%	-1.00%	-1.00%	1.00%	-1.00%	-1.00%	1.00%	-1.00%	-1.00%	-0.33%
ME4_E	0.00%	0.50%	-1.00%	-1.50%	-1.50%	1.00%	0.50%	-1.50%	0.50%	1.00%	-1.50%	-0.50%	-0.33%
MH_E	0.00%	0.00%	-0.50%	-0.50%	0.00%	-0.50%	-0.50%	-0.50%	0.00%	0.00%	-0.50%	-0.50%	-0.28%
MG1_E	-1.13%	-1.05%	-1.08%	-0.97%	-1.10%	-1.05%	-1.02%	-1.02%	-0.90%	-0.90%	-1.13%	-1.05%	-1.04%

3000 l/h													
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	Error 8	Error 9	MAX	MIN	Mediana	Promedio
ME4_E	0.802%	-0.702%	1.304%	1.304%	-0.702%	0.802%	1.304%	1.304%	0.802%	1.304%	-0.702%	0.802%	0.691%
ME4_E	0.802%	-0.201%	0.802%	1.304%	-0.702%	1.304%	0.802%	1.304%	0.802%	1.304%	-0.702%	0.802%	0.691%
MH_E	0.301%	-0.702%	-0.201%	-0.201%	-0.201%	-0.702%	-0.201%	-0.702%	-0.201%	0.301%	-0.702%	-0.201%	-0.312%
MG1_E	-0.903%	-0.878%	-0.827%	-0.777%	-0.853%	-0.752%	-0.752%	-0.827%	-0.752%	-0.752%	-0.903%	-0.827%	-0.814%

2500 l/h													
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	Error 8	Error 9	MAX	MIN	Mediana	Promedio
ME4_E	-0.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.95%	-0.45%	0.00%	1.01%	1.01%	-0.50%	0.00%	0.11%
ME4_E	0.00%	-0.50%	0.00%	0.00%	0.00%	-0.05%	-0.45%	0.00%	-0.50%	0.00%	-0.50%	0.00%	-0.17%
MH_E	0.00%	-0.50%	0.00%	-0.50%	0.00%	-0.55%	-0.45%	0.00%	-0.50%	0.00%	-0.55%	-0.45%	-0.28%
MG1_E	4.35%	-0.60%	-5.63%	0.45%	-1.61%	-1.16%	-0.15%	-0.58%	-0.60%	4.35%	-5.63%	-0.60%	-0.61%

2000 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
ME4_E	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-1.21%	1.31%	-0.20%	-0.20%	1.31%	-1.21%	-0.20%	-0.13%
ME4_E	-0.20%	-0.20%	-0.71%	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.71%	-0.20%	-0.27%
MH_E	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%
MG1_E	-0.50%	-0.48%	-0.50%	0.63%	-1.51%	-0.40%	-0.43%	0.63%	-1.51%	-0.48%	-0.46%

1500 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
ME4_E	-1.01%	-0.51%	-0.51%	-0.51%	-0.71%	-0.51%	0.00%	0.00%	-1.01%	-0.51%	-0.53%
ME4_E	-0.51%	-1.01%	-0.51%	0.00%	-0.71%	-0.51%	-0.51%	0.00%	-1.01%	-0.51%	-0.53%
MH_E	-0.51%	-0.51%	-0.51%	0.00%	-0.71%	-0.51%	0.00%	0.00%	-0.71%	-0.51%	-0.39%
MG1_E	-0.56%	-0.51%	-0.51%	-0.51%	-0.66%	-0.51%	-0.45%	-0.45%	-0.66%	-0.51%	-0.53%

1000 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
ME4_E	-0.20%	-0.25%	-0.76%	-0.25%	-0.25%	-0.25%	-0.30%	-0.20%	-0.76%	-0.25%	-0.33%
ME4_E	0.30%	-0.76%	-0.76%	0.25%	0.25%	-0.76%	-0.81%	0.30%	-0.81%	-0.76%	-0.33%
MH_E	-0.71%	-0.25%	-0.76%	-0.25%	-0.25%	-0.76%	-0.30%	-0.25%	-0.76%	-0.30%	-0.47%
MG1_E	-0.81%	-0.66%	-0.61%	-0.61%	-0.61%	-0.61%	-0.61%	-0.61%	-0.81%	-0.61%	-0.64%

500 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
ME4_E	-0.51%	-0.46%	-0.51%	-0.51%	0.00%	-0.51%	-1.02%	0.00%	-1.02%	-0.51%	-0.50%
ME4_E	-0.51%	-0.46%	0.00%	-0.51%	-0.51%	-0.51%	-1.02%	0.00%	-1.02%	-0.51%	-0.50%
MH_E	-0.51%	-0.46%	-1.02%	-0.51%	-0.51%	-0.51%	-0.51%	-0.46%	-1.02%	-0.51%	-0.57%
MG1_E	-1.17%	-1.09%	-1.07%	-1.55%	-0.51%	-1.02%	-0.96%	-0.51%	-1.55%	-1.07%	-1.05%

200 l/h								
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	MAX	MIN	Mediana	Promedio
ME4_E	-0.20%	0.31%	-0.20%	-0.20%	0.31%	-0.20%	-0.20%	-0.08%
ME4_E	-0.20%	0.31%	-0.20%	-0.20%	0.31%	-0.20%	-0.20%	-0.08%
MH_E	0.31%	-0.20%	-0.20%	0.31%	0.31%	-0.20%	0.05%	0.05%
MG1_E	-0.53%	-0.41%	-0.51%	0.50%	0.50%	-0.53%	-0.46%	-0.24%

50 l/h								
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	MAX	MIN	Mediana	Promedio
ME4_E	-0.20%	-0.20%	-0.71%	-1.22%	-0.20%	-1.22%	-0.46%	-0.59%
ME4_E	-0.71%	-0.20%	-0.71%	-0.71%	-0.20%	-0.71%	-0.71%	-0.59%
MH_E	-0.20%	0.31%	0.31%	-0.20%	0.31%	-0.20%	0.05%	0.05%
MG1_E	-1.00%	-1.49%	-1.02%	-0.99%	-0.99%	-1.49%	-1.01%	-1.13%

- **Resultados de los ensayos en régimen permanente que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la quinta bancada:**

5000 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MG2_E	-1.05%	-1.00%	-0.97%	-1.00%	-1.50%	-0.50%	-1.00%	-0.50%	-1.50%	-1.00%	-1.00%
MH_E	0.20%	-0.20%	-0.20%	0.30%	-0.70%	-0.30%	0.20%	0.30%	-0.70%	-0.20%	-0.10%
ME4_E	-8.28%	-8.18%	-7.68%	-8.18%	-8.18%	-7.78%	-8.28%	-7.68%	-8.28%	-8.18%	-8.08%
MC2_E	-0.30%	-0.70%	-1.70%	-0.70%	-0.20%	-0.80%	-0.80%	-0.20%	-1.70%	-0.70%	-0.74%

4000 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MG2_E	-0.70%	-0.73%	-0.75%	-0.70%	-0.73%	-0.70%	-0.68%	-0.68%	-0.75%	-0.70%	-0.71%
MH_E	-0.50%	0.05%	-0.50%	-0.55%	-1.00%	0.50%	-0.50%	0.50%	-1.00%	-0.50%	-0.36%
ME4_E	1.00%	0.55%	-0.50%	-0.05%	1.50%	-0.50%	0.00%	1.50%	-0.50%	0.00%	0.29%
MC2_E	-0.50%	-0.95%	-0.50%	-0.55%	-1.00%	-0.50%	-1.50%	-0.50%	-1.50%	-0.55%	-0.79%

3000 l/h												
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	Error 8	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MG2_E	-0.43%	-0.45%	-0.48%	-0.43%	-0.48%	-0.45%	-0.43%	-0.45%	-0.43%	-0.48%	-0.45%	-0.45%
MH_E	-0.20%	-0.65%	-0.10%	-0.70%	-0.20%	-0.70%	-0.15%	-0.65%	-0.10%	-0.70%	-0.20%	-0.39%
ME4_E	-0.70%	-0.65%	-0.60%	-0.70%	-0.70%	-0.70%	0.85%	-0.15%	0.85%	-0.70%	-0.70%	-0.46%
MC2_E	-0.70%	-1.15%	-0.60%	-0.70%	-0.70%	-0.70%	-0.65%	-0.65%	-0.60%	-1.15%	-0.70%	-0.75%

2500 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MG2_E	0.53%	-1.41%	-0.38%	-0.38%	-0.38%	-0.33%	-0.35%	0.53%	-1.41%	-0.38%	-0.38%
MH_E	-0.50%	-0.50%	-0.96%	-0.50%	-1.01%	0.00%	-0.96%	0.00%	-1.01%	-0.50%	-0.63%
ME4_E	0.00%	0.50%	-0.96%	0.00%	-1.01%	0.50%	0.05%	0.50%	-1.01%	0.00%	-0.13%
MC2_E	-1.51%	-1.51%	-0.45%	-0.50%	-1.01%	-1.01%	-0.45%	-0.45%	-1.51%	-1.01%	-0.92%

2000 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MG2_E	-0.35%	-0.40%	-0.33%	-0.33%	-0.30%	-0.30%	-0.60%	-0.30%	-0.60%	-0.33%	-0.37%
MH_E	-0.20%	-0.71%	-0.20%	-0.71%	-0.20%	-0.71%	-0.50%	-0.20%	-0.71%	-0.50%	-0.46%
ME4_E	-0.71%	-0.71%	-0.20%	-0.20%	-0.71%	-0.71%	0.00%	0.00%	-0.71%	-0.71%	-0.46%
MC2_E	-1.21%	-0.20%	-1.21%	-0.20%	-1.21%	-0.20%	-1.01%	-0.20%	-1.21%	-1.01%	-0.75%

1500 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MG2_E	-0.28%	-0.35%	-0.23%	0.03%	-0.83%	-0.35%	-0.30%	0.03%	-0.83%	-0.30%	-0.33%
MH_E	-0.40%	0.10%	-0.45%	-0.45%	-0.45%	-0.45%	-0.45%	0.10%	-0.45%	-0.45%	-0.37%
ME4_E	-0.40%	-0.40%	-0.45%	-0.45%	-0.45%	-0.45%	-0.45%	-0.40%	-0.45%	-0.45%	-0.44%
MC2_E	-0.40%	-0.91%	-0.96%	-0.45%	-0.96%	-0.96%	-0.45%	-0.40%	-0.96%	-0.91%	-0.73%

1000 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MG2_E	-0.68%	-0.58%	-0.56%	-0.51%	-0.56%	-0.48%	-0.43%	-0.43%	-0.68%	-0.56%	-0.54%
MH_E	-0.25%	-0.71%	-0.71%	-0.20%	-0.71%	-0.20%	-0.71%	-0.20%	-0.71%	-0.71%	-0.50%
ME4_E	-0.25%	-0.71%	-0.71%	-0.20%	-0.20%	-0.71%	0.30%	0.30%	-0.71%	-0.25%	-0.35%
MC2_E	-0.76%	-0.20%	-0.71%	-0.71%	-0.71%	-0.71%	-0.71%	-0.20%	-0.76%	-0.71%	-0.64%

500 l/h											
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	Error 6	Error 7	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MG2_E	-1.09%	-1.09%	-1.02%	-1.04%	-1.02%	-0.99%	-0.94%	-0.94%	-1.09%	-1.02%	-1.03%
MH_E	-0.41%	-0.96%	-0.46%	-0.46%	-0.46%	-0.51%	-1.02%	-0.41%	-1.02%	-0.46%	-0.61%
ME4_E	-0.41%	1.07%	0.05%	-0.46%	-0.46%	-0.51%	-0.51%	1.07%	-0.51%	-0.46%	-0.17%
MC2_E	-0.91%	-0.46%	-0.96%	-0.46%	-0.96%	-0.51%	-1.02%	-0.46%	-1.02%	-0.91%	-0.75%

200 l/h								
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MG2_E	-1.14%	-0.74%	-1.78%	-0.99%	-0.74%	-1.78%	-1.07%	-1.16%
MH_E	0.20%	-0.25%	0.20%	0.31%	0.31%	-0.25%	0.20%	0.11%
ME4_E	-0.81%	-0.76%	-0.81%	-0.71%	-0.71%	-0.81%	-0.79%	-0.78%
MC2_E	-0.81%	-0.76%	-0.81%	-0.20%	-0.20%	-0.81%	-0.79%	-0.65%

50 l/h								
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MG2_E	-0.51%	-0.48%	-0.76%	-0.66%	-0.48%	-0.76%	-0.59%	-0.60%
MH_E	-0.20%	-0.20%	0.31%	-0.20%	0.31%	-0.20%	-0.20%	-0.08%
ME4_E	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%	-0.20%
MC2_E	-0.71%	-0.20%	-1.22%	-0.71%	-0.20%	-1.22%	-0.71%	-0.71%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T1) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la primera bancada:**

2000 l/h									
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T1	-6.910%	-6.886%	-6.062%	-6.369%	-6.224%	-6.062%	-6.910%	-6.369%	-6.490%
ME3_T1	20.646%	-19.201%	20.455%	21.278%	21.157%	21.278%	-19.201%	20.646%	12.867%
MD2_T1	0.037%	0.020%	0.597%	0.758%	0.803%	0.803%	0.020%	0.597%	0.443%
ME2_T1	-18.720%	22.349%	-17.952%	21.032%	21.157%	22.349%	-18.720%	21.032%	5.573%
MF_T1	-97.221%	-97.238%	-97.265%	-97.174%	-97.335%	-97.174%	-97.335%	-97.238%	-97.246%

1500 l/h									
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T1	-6.019%	-6.237%	-5.703%	-6.274%	-5.801%	-5.703%	-6.274%	-6.019%	-6.007%
ME3_T1	-18.515%	-17.941%	-17.638%	22.263%	-18.054%	22.263%	-18.515%	-17.941%	-9.977%
MD2_T1	0.880%	0.470%	0.855%	0.083%	0.654%	0.880%	0.083%	0.654%	0.588%
ME2_T1	-18.515%	-18.730%	-18.556%	3.058%	19.626%	19.626%	-18.730%	-18.515%	-6.623%
MF_T1	-97.006%	-97.238%	-97.508%	-97.295%	-97.233%	-97.006%	-97.508%	-97.238%	-97.256%

1000 l/h									
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T1	-4.869%	-4.923%	-5.337%	-15.373%	-15.388%	-4.869%	-15.388%	-5.337%	-9.178%
ME3_T1	-17.322%	23.333%	-17.583%	23.302%	-17.664%	23.333%	-17.664%	-17.322%	-1.187%
MD2_T1	1.255%	1.471%	0.883%	-8.095%	-8.147%	1.471%	-8.147%	0.883%	-2.527%
ME2_T1	21.873%	-18.328%	22.265%	-18.284%	21.850%	22.265%	-18.328%	21.850%	5.875%
MF_T1	-97.550%	-97.319%	-97.667%	-97.505%	-97.517%	-97.319%	-97.667%	-97.517%	-97.512%

500 l/h									
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T1	-5.766%	-6.906%	-4.417%	-7.887%	-6.989%	-4.417%	-7.887%	-6.906%	-6.393%
ME3_T1	-17.400%	-6.906%	-17.239%	-5.952%	-18.615%	-5.952%	-18.615%	-17.239%	-13.222%
MD2_T1	1.602%	-0.699%	2.965%	-1.307%	-0.400%	2.965%	-1.307%	-0.400%	0.432%
ME2_T1	17.114%	-15.052%	15.787%	-14.854%	-12.027%	17.114%	-15.052%	-12.027%	-1.806%
MF_T1	-97.673%	-96.897%	-98.057%	-97.291%	-98.062%	-96.897%	-98.062%	-97.673%	-97.596%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T1	-8.357%	-7.433%	-8.936%	-7.433%	-8.936%	-8.357%	-8.242%
ME3_T1	17.464%	17.345%	-21.545%	17.464%	-21.545%	17.345%	4.422%
MD2_T1	-1.269%	-1.355%	-1.464%	-1.269%	-1.464%	-1.355%	-1.363%
ME2_T1	18.477%	-13.511%	-21.078%	18.477%	-21.078%	-13.511%	-5.370%
MF_T1	-97.975%	-98.130%	-97.665%	-97.665%	-98.130%	-97.975%	-97.923%

100 l/h									
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T1	-6.462%	-4.796%	-6.061%	-5.618%	-6.253%	-4.796%	-6.462%	-6.061%	-5.838%
ME3_T1	19.150%	-20.116%	18.491%	-20.633%	-21.339%	19.150%	-21.339%	-20.116%	-4.889%
MD2_T1	-2.008%	-0.419%	-1.791%	-0.255%	-0.865%	-0.255%	-2.008%	-0.865%	-1.068%
ME2_T1	-20.938%	19.278%	-19.938%	19.051%	-14.873%	19.278%	-20.938%	-14.873%	-3.484%
MF_T1	-97.773%	-98.906%	-97.865%	-97.855%	-97.845%	-97.773%	-98.906%	-97.855%	-98.049%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T1) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la segunda bancada:**

2000 l/h									
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T1	-1.176%	-1.137%	-1.314%	-1.449%	14.125%	14.125%	-1.449%	-1.176%	1.810%
ME1_T1	17.538%	17.445%	17.339%	17.233%	17.261%	17.538%	17.233%	17.339%	17.363%
MB1_T1	-2.437%	-2.285%	-2.461%	-2.603%	-2.387%	-2.285%	-2.603%	-2.437%	-2.435%
MC1_T1	2.294%	-0.198%	2.125%	2.120%	-2.492%	2.294%	-2.492%	2.120%	0.770%
MB2_T1	0.086%	-3.016%	-3.086%	-3.338%	-3.119%	0.086%	-3.338%	-3.086%	-2.495%

1500 l/h									
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T1	-4.330%	1.507%	-1.390%	-1.305%	-1.350%	1.507%	-4.330%	-1.350%	-1.374%
ME1_T1	-24.271%	20.547%	-21.948%	17.258%	-21.831%	20.547%	-24.271%	-21.831%	-6.049%
MB1_T1	7.002%	0.339%	11.713%	-2.458%	-2.601%	11.713%	-2.601%	0.339%	2.799%
MC1_T1	-4.439%	2.325%	-0.712%	1.231%	-1.919%	2.325%	-4.439%	-0.712%	-0.703%
MB2_T1	-3.241%	-0.362%	9.454%	-3.381%	-3.398%	9.454%	-3.398%	-3.241%	-0.185%

1000 l/h									
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T1	-2.198%	-2.188%	-2.229%	10.455%	10.867%	10.867%	-2.229%	-2.188%	2.941%
ME1_T1	14.193%	4.695%	16.377%	16.287%	-22.212%	16.377%	-22.212%	14.193%	5.868%
MB1_T1	-3.458%	-3.456%	-3.413%	-3.580%	-3.492%	-3.413%	-3.580%	-3.458%	-3.480%
MC1_T1	-2.017%	-2.007%	-1.722%	-0.117%	-0.947%	-0.117%	-2.017%	-1.722%	-1.362%
MB2_T1	-4.539%	-4.362%	-4.259%	8.085%	8.504%	8.504%	-4.539%	-4.259%	0.686%

500 l/h									
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T1	3.079%	-0.048%	4.251%	0.481%	-2.619%	4.251%	-2.619%	0.481%	1.029%
ME1_T1	16.355%	19.083%	16.447%	19.395%	18.276%	19.395%	16.355%	18.276%	17.911%
MB1_T1	-1.606%	-2.391%	-1.256%	5.604%	-0.648%	5.604%	-2.391%	-1.256%	-0.060%
MC1_T1	-3.558%	-2.000%	-2.830%	-2.671%	0.535%	0.535%	-3.558%	-2.671%	-2.105%
MB2_T1	-2.778%	-2.000%	-4.010%	-1.883%	-2.225%	-1.883%	-4.010%	-2.225%	-2.579%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T1	1.053%	1.697%	1.988%	1.988%	1.053%	1.697%	1.580%
ME1_T1	-21.348%	17.803%	18.527%	18.527%	-21.348%	17.803%	4.994%
MB1_T1	-1.933%	-2.444%	-2.146%	-1.933%	-2.444%	-2.146%	-2.175%
MC1_T1	3.542%	1.697%	-2.606%	3.542%	-2.606%	1.697%	0.878%
MB2_T1	-1.933%	-2.904%	-2.606%	-1.933%	-2.904%	-2.606%	-2.481%

100 l/h									
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	Error 5	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T1	3.866%	2.880%	2.819%	2.885%	2.120%	3.866%	2.120%	2.880%	2.914%
ME1_T1	-2.835%	-17.915%	-19.673%	18.961%	19.319%	19.319%	-19.673%	-2.835%	-0.428%
MB1_T1	-1.718%	-0.403%	-1.465%	-1.402%	-2.180%	-0.403%	-2.180%	-1.465%	-1.434%
MC1_T1	10.567%	-15.726%	22.098%	23.248%	5.345%	23.248%	-15.726%	10.567%	9.106%
MB2_T1	-1.718%	-0.403%	-2.536%	-1.402%	-2.180%	-0.403%	-2.536%	-1.718%	-1.648%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T2) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la primera bancada:**

2000 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T2	-7.19%	4.11%	-0.26%	4.11%	-7.19%	-0.26%	-1.12%
ME3_T2	4.46%	4.74%	2.70%	4.74%	2.70%	4.46%	3.97%
MD2_T2	11.73%	-24.97%	2.70%	11.73%	-24.97%	2.70%	-3.51%
ME2_T2	3.39%	1.98%	-0.16%	3.39%	-0.16%	1.98%	1.74%
MF_T2	-96.90%	-97.88%	-97.25%	-96.90%	-97.88%	-97.25%	-97.34%

500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T2	1.51%	8.28%	9.01%	9.01%	1.51%	8.28%	6.26%
ME3_T2	15.02%	16.58%	-3.67%	16.58%	-3.67%	15.02%	9.31%
MD2_T2	-3.69%	-11.21%	14.08%	14.08%	-11.21%	-3.69%	-0.27%
ME2_T2	15.02%	15.86%	-16.71%	15.86%	-16.71%	15.02%	4.72%
MF_T2	-97.57%	-98.20%	-97.83%	-97.57%	-98.20%	-97.83%	-97.87%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T2	11.14%	4.09%	-25.19%	11.14%	-25.19%	4.09%	-3.32%
ME3_T2	-20.69%	-17.82%	17.62%	17.62%	-20.69%	-17.82%	-6.96%
MD2_T2	-6.60%	-21.02%	-20.69%	-6.60%	-21.02%	-20.69%	-16.10%
ME2_T2	-19.64%	18.70%	18.07%	18.70%	-19.64%	18.07%	5.71%
MF_T2	-98.43%	-98.17%	-98.65%	-98.17%	-98.65%	-98.43%	-98.42%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T2) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la segunda bancada:**

2000 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T1	-11.09%	17.04%	9.23%	17.04%	-11.09%	9.23%	5.06%
ME1_T1	7.49%	7.77%	9.23%	9.23%	7.49%	7.77%	8.16%
MB1_T1	17.26%	-22.11%	-22.16%	17.26%	-22.16%	-22.11%	-9.01%
MC1_T1	-2.79%	-4.20%	3.82%	3.82%	-4.20%	-2.79%	-1.06%
MB2_T1	7.49%	-20.34%	-4.49%	7.49%	-20.34%	-4.49%	-5.78%

500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T1	1.42%	5.45%	23.04%	23.04%	1.42%	5.45%	9.97%
ME1_T1	-18.50%	-18.94%	24.17%	24.17%	-18.94%	-18.50%	-4.42%
MB1_T1	20.98%	21.59%	13.67%	21.59%	13.67%	20.98%	18.75%
MC1_T1	6.49%	-3.18%	5.79%	6.49%	-3.18%	5.79%	3.03%
MB2_T1	9.39%	4.33%	18.92%	18.92%	4.33%	9.39%	10.88%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T1	21.66%	-6.58%	-19.18%	21.66%	-19.18%	-6.58%	-1.37%
ME1_T1	15.47%	-20.95%	-20.95%	15.47%	-20.95%	-20.95%	-8.81%
MB1_T1	-21.13%	17.67%	0.81%	17.67%	-21.13%	0.81%	-0.88%
MC1_T1	-4.12%	0.61%	-0.52%	0.61%	-4.12%	-0.52%	-1.34%
MB2_T1	-10.82%	17.22%	-17.84%	17.22%	-17.84%	-10.82%	-3.81%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T3) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la primera bancada:**

2000 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T3	-3.399%	-8.803%	-8.839%	-3.399%	-8.839%	-8.803%	-7.014%
ME3_T3	-0.056%	5.227%	-0.501%	5.227%	-0.501%	-0.056%	1.557%
MD2_T3	-2.173%	4.447%	-1.279%	4.447%	-2.173%	-1.279%	0.332%
ME2_T3	-1.727%	-1.565%	-1.502%	-1.502%	-1.727%	-1.565%	-1.598%
MF_T3	-97.326%	-97.216%	-97.221%	-97.216%	-97.326%	-97.221%	-97.254%

500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T3	-4.307%	-7.754%	-7.673%	-4.307%	-7.754%	-7.673%	-6.578%
ME3_T3	-0.641%	-1.165%	-1.078%	-0.641%	-1.165%	-1.078%	-0.961%
MD2_T3	-1.374%	-1.531%	-1.811%	-1.374%	-1.811%	-1.531%	-1.572%
ME2_T3	-1.740%	-0.067%	-1.811%	-0.067%	-1.811%	-1.740%	-1.206%
MF_T3	-97.800%	-97.804%	-97.802%	-97.800%	-97.804%	-97.802%	-97.802%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T3	-7.414%	-7.181%	-7.288%	-7.181%	-7.414%	-7.288%	-7.294%
ME3_T3	-2.270%	-2.127%	-2.239%	-2.127%	-2.270%	-2.239%	-2.212%
MD2_T3	-2.270%	-1.667%	-1.780%	-1.667%	-2.270%	-1.780%	-1.906%
ME2_T3	-1.335%	-0.748%	-1.321%	-0.748%	-1.335%	-1.321%	-1.135%
MF_T3	-97.662%	-98.162%	-97.705%	-97.662%	-98.162%	-97.705%	-97.843%

- Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T3) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la segunda bancada:

2000 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T3	0.70%	5.94%	6.05%	6.05%	0.70%	5.94%	4.23%
ME1_T3	-0.79%	-0.73%	-0.93%	-0.73%	-0.93%	-0.79%	-0.82%
MB1_T3	-0.79%	-0.84%	-0.83%	-0.79%	-0.84%	-0.83%	-0.82%
MC1_T3	-0.79%	-1.37%	-1.35%	-0.79%	-1.37%	-1.35%	-1.17%
MB2_T3	-1.74%	-1.90%	-1.78%	-1.74%	-1.90%	-1.78%	-1.80%

500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T3	1.34%	1.26%	1.28%	1.34%	1.26%	1.28%	1.30%
ME1_T3	-0.14%	-2.42%	-0.19%	-0.14%	-2.42%	-0.19%	-0.92%
MB1_T3	-0.88%	-0.95%	-0.56%	-0.56%	-0.95%	-0.88%	-0.79%
MC1_T3	-2.36%	-2.42%	-0.56%	-0.56%	-2.42%	-2.36%	-1.78%
MB2_T3	-1.25%	-1.68%	-1.66%	-1.25%	-1.68%	-1.66%	-1.53%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T3	1.22%	1.56%	1.03%	1.56%	1.03%	1.22%	1.27%
ME1_T3	-1.08%	-2.97%	-0.78%	-0.78%	-2.97%	-1.08%	-1.61%
MB1_T3	-2.46%	-2.52%	-2.60%	-2.46%	-2.60%	-2.52%	-2.53%
MC1_T3	-3.38%	-3.88%	-1.69%	-1.69%	-3.88%	-3.38%	-2.99%
MB2_T3	-3.38%	-3.43%	-3.05%	-3.05%	-3.43%	-3.38%	-3.29%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T4) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la primera bancada:**

2000 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T4	46.39%	-6.02%	-23.46%	46.39%	-23.46%	-6.02%	5.64%
ME1_T4	87.20%	-100.00%	87.09%	87.20%	-100.00%	87.09%	24.76%
MB1_T4	-6.30%	-20.81%	-6.40%	-6.30%	-20.81%	-6.40%	-11.17%
MC1_T4	-6.90%	-1.66%	4.16%	4.16%	-6.90%	-1.66%	-1.47%
MB2_T4	-7.19%	-21.70%	-7.32%	-7.19%	-21.70%	-7.32%	-12.07%

500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T4	5.02%	5.09%	5.56%	5.56%	5.02%	5.09%	5.22%
ME1_T4	-100.00%	-4.47%	108.32%	108.32%	-100.00%	-4.47%	1.28%
MB1_T4	-12.55%	1.51%	3.96%	3.96%	-12.55%	1.51%	-2.36%
MC1_T4	9.41%	-4.47%	-4.84%	9.41%	-4.84%	-4.47%	0.03%
MB2_T4	2.62%	3.10%	-33.63%	3.10%	-33.63%	2.62%	-9.30%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T4	0.78%	0.68%	1.17%	1.17%	0.68%	0.78%	0.88%
ME1_T4	96.60%	97.26%	-98.64%	97.26%	-98.64%	96.60%	31.74%
MB1_T4	-1.93%	-1.60%	-2.46%	-1.60%	-2.46%	-1.93%	-2.00%
MC1_T4	-35.37%	-21.64%	11.15%	11.15%	-35.37%	-21.64%	-15.29%
MB2_T4	-2.38%	-2.51%	-2.46%	-2.38%	-2.51%	-2.46%	-2.45%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T4) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la segunda bancada:**

2000 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T4	-20.62%	-21.44%	18.19%	18.19%	-21.44%	-20.62%	-7.96%
ME3_T4	46.66%	69.15%	18.19%	69.15%	18.19%	46.66%	44.66%
MD2_T4	-15.06%	-14.71%	-15.27%	-14.71%	-15.27%	-15.06%	-15.01%
ME2_T4	-99.52%	70.11%	-99.61%	70.11%	-99.61%	-99.52%	-43.01%
MF_T4	-97.70%	-97.60%	-97.54%	-97.54%	-97.70%	-97.60%	-97.61%

500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T4	-11.74%	-11.95%	-7.35%	-7.35%	-11.95%	-11.74%	-10.35%
ME3_T4	85.97%	86.66%	86.39%	86.66%	85.97%	86.39%	86.34%
MD2_T4	-5.93%	-6.12%	-5.16%	-5.16%	-6.12%	-5.93%	-5.74%
ME2_T4	86.33%	85.20%	-99.64%	86.33%	-99.64%	85.20%	23.97%
MF_T4	-97.82%	-97.82%	-97.81%	-97.81%	-97.82%	-97.82%	-97.82%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T4	-7.21%	-6.86%	-6.86%	-6.86%	-7.21%	-6.86%	-6.98%
ME3_T4	95.27%	95.13%	95.55%	95.55%	95.13%	95.27%	95.32%
MD2_T4	-0.29%	-2.20%	-0.83%	-0.29%	-2.20%	-0.83%	-1.11%
ME2_T4	-100.00%	-99.53%	97.41%	97.41%	-100.00%	-99.53%	-34.04%
MF_T4	-98.15%	-97.67%	-98.15%	-97.67%	-98.15%	-98.15%	-97.99%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T5) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la primera bancada:**

1500 l/h								
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T5	-8.93%	-8.81%	-4.05%	-3.75%	-3.75%	-8.93%	-6.43%	-6.39%
ME3_T5	-10.70%	-21.29%	-8.50%	-21.22%	-8.50%	-21.29%	-15.96%	-15.43%
MD2_T5	-2.47%	-0.59%	-2.46%	-0.90%	-0.59%	-2.47%	-1.68%	-1.60%
ME2_T5	-21.85%	2.89%	17.08%	-10.74%	17.08%	-21.85%	-3.93%	-3.16%
MF_T5	-97.74%	-97.95%	-97.78%	-97.78%	-97.74%	-97.95%	-97.78%	-97.81%

700 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T5	-10.29%	-2.90%	-11.00%	-2.90%	-11.00%	-10.29%	-8.06%
ME3_T5	9.72%	14.92%	-3.26%	14.92%	-3.26%	9.72%	7.13%
MD2_T5	-1.46%	1.67%	-4.48%	1.67%	-4.48%	-1.46%	-1.42%
ME2_T5	-22.64%	14.84%	-5.43%	14.84%	-22.64%	-5.43%	-4.41%
MF_T5	-97.57%	-97.49%	-97.56%	-97.49%	-97.57%	-97.56%	-97.54%

400 l/h								
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T5	-1.84%	-9.82%	-10.36%	-1.56%	-1.56%	-10.36%	-5.83%	-5.90%
ME3_T5	-20.96%	16.18%	-1.77%	18.09%	18.09%	-20.96%	7.21%	2.89%
MD2_T5	5.07%	-3.03%	4.80%	-3.62%	5.07%	-3.62%	0.88%	0.81%
ME2_T5	-22.45%	4.16%	-22.48%	14.14%	14.14%	-22.48%	-9.15%	-6.66%
MF_T5	-97.29%	-97.27%	-97.42%	-97.40%	-97.27%	-97.42%	-97.34%	-97.34%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T5) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la segunda bancada:**

1500 l/h								
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T5	1.417%	0.126%	1.415%	1.414%	1.417%	0.126%	1.415%	1.093%
ME1_T5	18.728%	8.882%	-20.179%	17.889%	18.728%	-20.179%	13.385%	6.330%
MB1_T5	-2.339%	-0.669%	-0.664%	-0.666%	-0.664%	-2.339%	-0.668%	-1.085%
MC1_T5	1.744%	-3.694%	-1.624%	-0.986%	1.744%	-3.694%	-1.305%	-1.140%
MB2_T5	-1.196%	-1.306%	-2.424%	-1.146%	-1.146%	-2.424%	-1.251%	-1.518%

700 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T5	-1.133%	1.142%	2.277%	2.277%	-1.133%	1.142%	0.762%
ME1_T5	11.397%	-2.220%	7.929%	11.397%	-2.220%	7.929%	5.702%
MB1_T5	0.056%	0.415%	-1.433%	0.415%	-1.433%	0.056%	-0.320%
MC1_T5	-2.047%	-0.494%	-1.874%	-0.494%	-2.047%	-1.874%	-1.472%
MB2_T5	-1.224%	-0.857%	-0.638%	-0.638%	-1.224%	-0.857%	-0.906%

400 l/h								
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T5	-0.097%	0.092%	0.153%	7.474%	7.474%	-0.097%	0.122%	1.905%
ME1_T5	18.437%	8.710%	18.563%	7.092%	18.563%	7.092%	13.573%	13.200%
MB1_T5	-1.281%	-1.269%	-1.362%	-1.234%	-1.234%	-1.362%	-1.275%	-1.286%
MC1_T5	0.034%	1.150%	-1.816%	-1.539%	1.150%	-1.816%	-0.753%	-0.543%
MB2_T5	-2.201%	-2.252%	-3.332%	-2.380%	-2.201%	-3.332%	-2.316%	-2.541%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T6) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la primera bancada:**

1700 l/h								
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T6	-7.417%	-22.334%	-30.305%	-30.745%	-7.417%	-30.745%	-26.319%	-22.700%
ME3_T6	6.791%	8.823%	3.452%	2.380%	8.823%	2.380%	5.122%	5.362%
MD2_T6	1.219%	2.050%	1.874%	-0.023%	2.050%	-0.023%	1.546%	1.280%
ME2_T6	0.569%	-0.132%	0.520%	1.404%	1.404%	-0.132%	0.545%	0.590%
MF_T6	-96.936%	-96.613%	-96.917%	-96.845%	-96.613%	-96.936%	-96.881%	-96.828%

400 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD3_T6	-13.437%	2.726%	8.587%	8.587%	-13.437%	2.726%	-0.708%
ME3_T6	15.624%	-5.139%	-16.972%	15.624%	-16.972%	-5.139%	-2.162%
MD2_T6	-6.599%	14.122%	-16.655%	14.122%	-16.655%	-6.599%	-3.044%
ME2_T6	3.191%	-22.474%	-16.814%	3.191%	-22.474%	-16.814%	-12.032%
MF_T6	-97.358%	-97.432%	-98.254%	-97.358%	-98.254%	-97.432%	-97.681%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T5) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la primera bancada:**

1700 l/h								
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	Error 4	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T6	10.185%	10.217%	8.718%	5.756%	10.217%	5.756%	9.451%	8.719%
ME1_T6	8.165%	8.507%	7.901%	7.537%	8.507%	7.537%	8.033%	8.027%
MB1_T6	-21.677%	-21.688%	-12.669%	7.314%	7.314%	-21.688%	-17.173%	-12.180%
MC1_T6	-0.650%	-1.087%	-0.936%	-2.482%	-0.650%	-2.482%	-1.012%	-1.289%
MB2_T6	5.685%	6.722%	15.253%	10.728%	15.253%	5.685%	8.725%	9.597%

400 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MD1_T6	-1.664%	-17.428%	-15.870%	-1.664%	-17.428%	-15.870%	-11.654%
ME1_T6	-8.391%	20.314%	15.698%	20.314%	-8.391%	15.698%	9.207%
MB1_T6	8.746%	-19.406%	6.586%	8.746%	-19.406%	6.586%	-1.358%
MC1_T6	2.820%	-5.067%	0.728%	2.820%	-5.067%	0.728%	-0.507%
MB2_T6	-18.641%	15.205%	17.000%	17.000%	-18.641%	15.205%	4.521%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T1) que se obtuvieron en los contadores de 1 pulgada:**

2000 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T1	0.618%	-4.429%	-3.984%	0.618%	-4.429%	-3.984%	-2.598%
MG2_T1	1.894%	1.966%	2.046%	2.046%	1.894%	1.966%	1.969%
MC2_T1	0.309%	-1.887%	-0.246%	0.309%	-1.887%	-0.246%	-0.608%
ME4_T1	-15.329%	-22.832%	5.853%	5.853%	-22.832%	-15.329%	-10.769%
MG1_T1	1.379%	1.559%	1.584%	1.584%	1.379%	1.559%	1.507%
ME5_T1	-22.942%	6.145%	-22.578%	6.145%	-22.942%	-22.578%	-13.125%

500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T1	-2.106%	-3.088%	-4.208%	-2.106%	-4.208%	-3.088%	-3.134%
MG2_T1	3.671%	3.644%	4.028%	4.028%	3.644%	3.671%	3.781%
MC2_T1	-2.507%	-1.871%	-2.204%	-1.871%	-2.507%	-2.204%	-2.194%
ME4_T1	-21.765%	16.782%	17.035%	17.035%	-21.765%	16.782%	4.017%
MG1_T1	3.270%	3.360%	3.407%	3.407%	3.270%	3.360%	3.346%
ME5_T1	16.350%	17.187%	16.634%	17.187%	16.350%	16.634%	16.723%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T1	-3.040%	-3.611%	-3.151%	-3.040%	-3.611%	-3.151%	-3.267%
MG2_T1	6.118%	7.016%	7.243%	7.243%	6.118%	7.016%	6.792%
MC2_T1	-1.166%	-1.730%	-1.261%	-1.166%	-1.730%	-1.261%	-1.386%
ME4_T1	15.697%	1.561%	-15.907%	15.697%	-15.907%	1.561%	0.450%
MG1_T1	7.265%	7.157%	7.195%	7.265%	7.157%	7.195%	7.206%
ME5_T1	18.039%	18.018%	-21.103%	18.039%	-21.103%	18.018%	4.984%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T1) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la tercera bancada:**

2000 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T1	0.864%	0.884%	0.910%	0.910%	0.864%	0.884%	0.886%
MA2_T1	2.456%	2.457%	2.432%	2.457%	2.432%	2.456%	2.448%
MA3_T1	1.748%	1.646%	1.545%	1.748%	1.545%	1.646%	1.646%
MA4_T1	2.890%	2.938%	2.930%	2.938%	2.890%	2.930%	2.919%
MA5_T1	1.638%	2.776%	0.685%	2.776%	0.685%	1.638%	1.700%

500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T1	-1.240%	-1.261%	-1.248%	-1.240%	-1.261%	-1.248%	-1.250%
MA2_T1	2.224%	2.412%	2.403%	2.412%	2.224%	2.403%	2.347%
MA3_T1	1.630%	1.690%	1.710%	1.710%	1.630%	1.690%	1.676%
MA4_T1	1.117%	1.154%	1.240%	1.240%	1.117%	1.154%	1.170%
MA5_T1	0.892%	0.885%	0.873%	0.892%	0.873%	0.885%	0.883%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T1	-0.254%	-0.015%	-0.283%	-0.015%	-0.283%	-0.254%	-0.184%
MA2_T1	3.383%	3.441%	3.395%	3.441%	3.383%	3.395%	3.406%
MA3_T1	3.751%	3.695%	3.765%	3.765%	3.695%	3.751%	3.737%
MA4_T1	1.173%	1.229%	1.128%	1.229%	1.128%	1.173%	1.177%
MA5_T1	2.209%	2.220%	2.261%	2.261%	2.209%	2.220%	2.230%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T2) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la tercera bancada:**

2000 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T2	1.989%	2.023%	2.027%	2.027%	1.989%	2.023%	2.013%
MA2_T2	3.329%	3.329%	3.314%	3.329%	3.314%	3.329%	3.324%
MA3_T2	2.483%	2.436%	2.421%	2.483%	2.421%	2.436%	2.447%
MA4_T2	3.745%	3.702%	3.684%	3.745%	3.684%	3.702%	3.710%
MA5_T2	2.706%	2.759%	2.785%	2.785%	2.706%	2.759%	2.750%

500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T2	1.751%	1.889%	1.877%	1.889%	1.751%	1.877%	1.839%
MA2_T2	4.547%	4.815%	4.703%	4.815%	4.547%	4.703%	4.688%
MA3_T2	3.992%	4.130%	4.198%	4.198%	3.992%	4.130%	4.107%
MA4_T2	2.450%	2.283%	2.321%	2.450%	2.283%	2.321%	2.352%
MA5_T2	3.334%	3.238%	3.250%	3.334%	3.238%	3.250%	3.274%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T2	4.275%	4.298%	4.045%	4.298%	4.045%	4.275%	4.206%
MA2_T2	6.933%	8.507%	7.919%	8.507%	6.933%	7.919%	7.787%
MA3_T2	8.251%	8.460%	8.389%	8.460%	8.251%	8.389%	8.366%
MA4_T2	2.911%	3.299%	3.152%	3.299%	2.911%	3.152%	3.121%
MA5_T2	6.651%	6.533%	6.416%	6.651%	6.416%	6.533%	6.534%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T2) que se obtuvieron en los contadores de 1 pulgada:**

2000 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T2	-6.351%	5.881%	-10.039%	5.881%	-10.039%	-6.351%	-3.503%
MG2_T2	3.371%	3.337%	3.356%	3.371%	3.337%	3.356%	3.355%
MC2_T2	0.890%	2.420%	2.400%	2.420%	0.890%	2.400%	1.903%
ME4_T2	3.689%	-0.292%	11.144%	11.144%	-0.292%	3.689%	4.847%
MG1_T2	3.144%	3.075%	3.113%	3.144%	3.075%	3.113%	3.110%
ME5_T2	-24.985%	11.961%	-25.183%	11.961%	-25.183%	-24.985%	-12.735%

500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T2	9.295%	6.097%	-3.767%	9.295%	-3.767%	6.097%	3.875%
MG2_T2	6.543%	7.082%	6.283%	7.082%	6.283%	6.543%	6.636%
MC2_T2	-0.534%	-1.137%	-2.215%	-0.534%	-2.215%	-1.137%	-1.295%
ME4_T2	-3.286%	-22.437%	-17.348%	-3.286%	-22.437%	-17.348%	-14.357%
MG1_T2	6.307%	6.921%	6.147%	6.921%	6.147%	6.307%	6.458%
ME5_T2	15.192%	-4.754%	15.635%	15.635%	-4.754%	15.192%	8.691%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T2	7.945%	1.784%	-14.849%	7.945%	-14.849%	1.784%	-1.706%
MG2_T2	14.158%	13.472%	14.401%	14.401%	13.472%	14.158%	14.011%
MC2_T2	-1.650%	-1.625%	-1.378%	-1.378%	-1.650%	-1.625%	-1.551%
ME4_T2	13.223%	-13.800%	17.384%	17.384%	-13.800%	13.223%	5.602%
MG1_T2	8.557%	19.182%	14.161%	19.182%	8.557%	14.161%	13.967%
ME5_T2	-20.840%	-21.105%	3.432%	3.432%	-21.105%	-20.840%	-12.838%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T4) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la tercera bancada:**

2000 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T3	0.392%	0.506%	0.530%	0.530%	0.392%	0.506%	0.476%
MA2_T3	1.789%	1.836%	1.829%	1.836%	1.789%	1.829%	1.818%
MA3_T3	0.988%	0.946%	0.911%	0.988%	0.911%	0.946%	0.948%
MA4_T3	2.686%	2.700%	2.726%	2.726%	2.686%	2.700%	2.704%
MA5_T3	1.067%	1.178%	1.199%	1.199%	1.067%	1.178%	1.148%

500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T3	-2.852%	-2.381%	-2.121%	-2.121%	-2.852%	-2.381%	-2.451%
MA2_T3	-0.766%	-0.954%	-0.912%	-0.766%	-0.954%	-0.912%	-0.877%
MA3_T3	0.019%	0.106%	0.072%	0.106%	0.019%	0.072%	0.066%
MA4_T3	0.359%	0.697%	0.605%	0.697%	0.359%	0.605%	0.554%
MA5_T3	-0.810%	-0.831%	-0.666%	-0.666%	-0.831%	-0.810%	-0.769%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T3	-2.641%	-2.651%	-2.652%	-2.641%	-2.652%	-2.651%	-2.648%
MA2_T3	0.853%	0.926%	0.978%	0.978%	0.853%	0.926%	0.919%
MA3_T3	1.346%	1.407%	1.437%	1.437%	1.346%	1.407%	1.397%
MA4_T3	0.360%	0.352%	0.220%	0.360%	0.220%	0.352%	0.311%
MA5_T3	-0.200%	-0.267%	-0.194%	-0.194%	-0.267%	-0.200%	-0.220%

- **Resultados de los ensayos (T3) que se obtuvieron en los contadores de 1”:**

2000 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T3	-3.302%	1.330%	0.231%	1.330%	-3.302%	0.231%	-0.580%
MG2_T3	1.036%	1.090%	1.108%	1.108%	1.036%	1.090%	1.078%
MC2_T3	-0.289%	-1.357%	0.231%	0.231%	-1.357%	-0.289%	-0.471%
ME4_T3	7.744%	-1.836%	-1.831%	7.744%	-1.836%	-1.831%	1.359%
MG1_T3	0.730%	0.755%	0.773%	0.773%	0.730%	0.755%	0.752%
ME5_T3	1.820%	-1.836%	-2.037%	1.820%	-2.037%	-1.836%	-0.685%

500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T3	-2.492%	-1.655%	-3.186%	-1.655%	-3.186%	-2.492%	-2.445%
MG2_T3	0.863%	1.049%	0.995%	1.049%	0.863%	0.995%	0.969%
MC2_T3	-1.001%	-1.245%	-1.951%	-1.001%	-1.951%	-1.245%	-1.399%
ME4_T3	-1.299%	-1.655%	-2.362%	-1.299%	-2.362%	-1.655%	-1.772%
MG1_T3	0.520%	0.803%	0.789%	0.803%	0.520%	0.789%	0.704%
ME5_T3	-1.001%	4.082%	-1.951%	4.082%	-1.951%	-1.001%	0.377%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T3	-2.469%	-2.320%	-2.580%	-2.320%	-2.580%	-2.469%	-2.457%
MG2_T3	2.248%	2.517%	2.853%	2.853%	2.248%	2.517%	2.539%
MC2_T3	-1.558%	-1.853%	-1.644%	-1.558%	-1.853%	-1.644%	-1.685%
ME4_T3	-2.469%	-1.853%	-2.112%	-1.853%	-2.469%	-2.112%	-2.145%
MG1_T3	2.065%	2.494%	2.408%	2.494%	2.065%	2.408%	2.322%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T4) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la tercera bancada:**

2000 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T4	3.823%	3.803%	3.844%	3.844%	3.803%	3.823%	3.823%
MA2_T4	4.406%	5.541%	4.940%	5.541%	4.406%	4.940%	4.962%
MA3_T4	4.165%	4.137%	4.123%	4.165%	4.123%	4.137%	4.142%
MA4_T4	5.578%	5.598%	5.562%	5.598%	5.562%	5.578%	5.579%
MA5_T4	4.464%	4.518%	4.402%	4.518%	4.402%	4.464%	4.461%

500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T4	5.394%	5.320%	5.194%	5.394%	5.194%	5.320%	5.303%
MA2_T4	6.980%	6.891%	6.797%	6.980%	6.797%	6.891%	6.890%
MA3_T4	7.724%	7.687%	7.579%	7.724%	7.579%	7.687%	7.664%
MA4_T4	6.216%	6.221%	6.236%	6.236%	6.216%	6.221%	6.224%
MA5_T4	6.960%	6.871%	6.878%	6.960%	6.871%	6.878%	6.903%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T4	11.337%	11.410%	11.451%	11.451%	11.337%	11.410%	11.400%
MA2_T4	14.810%	14.491%	14.479%	14.810%	14.479%	14.491%	14.593%
MA3_T4	15.357%	15.150%	15.170%	15.357%	15.150%	15.170%	15.226%
MA4_T4	9.149%	9.059%	9.067%	9.149%	9.059%	9.067%	9.092%
MA5_T4	13.644%	13.504%	13.573%	13.644%	13.504%	13.573%	13.574%

- **Resultados de los ensayos (T4) que se obtuvieron en los contadores que forman parte los contadores de 1 pulgada:**

2000 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T4	3.737%	14.132%	1.369%	14.132%	1.369%	3.737%	6.413%
MG2_T4	5.325%	5.326%	5.342%	5.342%	5.325%	5.326%	5.331%
MC2_T4	-0.751%	1.328%	-0.857%	1.328%	-0.857%	-0.751%	-0.093%
ME4_T4	-99.655%	-99.539%	26.667%	26.667%	-99.655%	-99.539%	-57.509%
MG1_T4	5.066%	5.059%	5.057%	5.066%	5.057%	5.059%	5.061%
ME5_T4	71.227%	70.876%	-99.644%	71.227%	-99.644%	70.876%	14.153%

500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T4	1.13%	-7.34%	-7.75%	1.13%	-7.75%	-7.34%	-4.65%
MG2_T4	9.99%	9.66%	9.55%	9.99%	9.55%	9.66%	9.73%
MC2_T4	-2.93%	0.08%	-2.52%	0.08%	-2.93%	-2.52%	-1.79%
ME4_T4	87.50%	84.92%	22.13%	87.50%	22.13%	84.92%	64.85%
MG1_T4	9.99%	9.62%	9.55%	9.99%	9.55%	9.62%	9.72%
ME5_T4	-97.42%	-99.61%	80.03%	80.03%	-99.61%	-97.42%	-39.00%

200 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T4	-4.48%	-4.77%	-4.56%	-4.48%	-4.77%	-4.56%	-4.60%
MG2_T4	23.29%	23.02%	23.09%	23.29%	23.02%	23.09%	23.13%
MC2_T4	-1.53%	-0.40%	-2.59%	-0.40%	-2.59%	-1.53%	-1.51%
ME4_T4	96.94%	-99.51%	96.79%	96.94%	-99.51%	96.79%	31.41%
MG1_T4	23.09%	22.90%	23.02%	23.09%	22.90%	23.02%	23.00%
ME5_T4	-99.51%	97.74%	-98.52%	97.74%	-99.51%	-98.52%	-33.43%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T5) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la tercera bancada:**

400 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T5	0.020%	0.034%	0.063%	0.063%	0.020%	0.034%	0.039%
MA2_T5	3.017%	2.725%	2.717%	3.017%	2.717%	2.725%	2.820%
MA3_T5	1.932%	2.076%	2.030%	2.076%	1.932%	2.030%	2.013%
MA4_T5	1.483%	1.402%	1.319%	1.483%	1.319%	1.402%	1.401%
MA5_T5	1.153%	1.002%	0.976%	1.153%	0.976%	1.002%	1.044%

700 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T5	0.318%	0.451%	0.397%	0.451%	0.318%	0.397%	0.388%
MA2_T5	2.428%	2.395%	2.310%	2.428%	2.310%	2.395%	2.378%
MA3_T5	1.457%	1.463%	1.490%	1.490%	1.457%	1.463%	1.470%
MA4_T5	2.246%	2.277%	2.252%	2.277%	2.246%	2.252%	2.259%
MA5_T5	1.405%	1.436%	1.476%	1.476%	1.405%	1.436%	1.439%

1500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T5	1.152%	1.224%	1.226%	1.226%	1.152%	1.224%	1.201%
MA2_T5	2.245%	2.279%	2.286%	2.286%	2.245%	2.279%	2.270%
MA3_T5	1.476%	1.494%	1.451%	1.494%	1.451%	1.476%	1.474%
MA4_T5	2.989%	3.045%	3.083%	3.083%	2.989%	3.045%	3.039%
MA5_T5	1.585%	1.616%	1.592%	1.616%	1.585%	1.592%	1.598%

- **Resultados de los ensayos (T5) que se obtuvieron en los contadores de 1 pulgada:**

400 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T5	-2.280%	-2.272%	-1.685%	-1.685%	-2.280%	-2.272%	-2.079%
MG2_T5	4.593%	5.340%	4.741%	5.340%	4.593%	4.741%	4.892%
MC2_T5	-1.345%	-0.798%	-2.165%	-0.798%	-2.165%	-1.345%	-1.436%
ME4_T5	16.890%	-13.567%	6.948%	16.890%	-13.567%	6.948%	3.424%
MG1_T5	4.920%	4.850%	-0.006%	4.920%	-0.006%	4.850%	3.255%
ME5_T5	-21.450%	16.881%	16.539%	16.881%	-21.450%	16.539%	3.990%

700 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T5	-1.745%	5.855%	-9.746%	5.855%	-9.746%	-1.745%	-1.879%
MG2_T5	3.437%	11.769%	-4.300%	11.769%	-4.300%	3.437%	3.636%
MC2_T5	-0.517%	7.475%	-9.746%	7.475%	-9.746%	-0.517%	-0.929%
ME4_T5	8.080%	-16.828%	5.633%	8.080%	-16.828%	5.633%	-1.038%
MG1_T5	5.808%	11.742%	-4.464%	11.742%	-4.464%	5.808%	4.362%
ME5_T5	15.203%	22.328%	-28.654%	22.328%	-28.654%	15.203%	2.959%

1500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T5	2.355%	-1.439%	1.684%	2.355%	-1.439%	1.684%	0.867%
MG2_T5	2.424%	2.462%	2.491%	2.491%	2.424%	2.462%	2.459%
MC2_T5	-0.615%	-2.173%	-0.271%	-0.271%	-2.173%	-0.615%	-1.020%
ME4_T5	15.721%	15.436%	6.817%	15.721%	6.817%	15.436%	12.658%
MG1_T5	2.195%	2.223%	2.100%	2.223%	2.100%	2.195%	2.173%
ME5_T5	-22.777%	-14.768%	15.128%	15.128%	-22.777%	-14.768%	-7.472%

- **Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T6) que se obtuvieron en los contadores que forman parte de la tercera bancada:**

400 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T6	2.410%	2.633%	2.622%	2.633%	2.410%	2.622%	2.555%
MA2_T6	5.231%	5.444%	5.437%	5.444%	5.231%	5.437%	5.371%
MA3_T6	4.414%	4.634%	4.619%	4.634%	4.414%	4.619%	4.556%
MA4_T6	3.004%	2.937%	2.743%	3.004%	2.743%	2.937%	2.894%
MA5_T6	3.870%	3.671%	3.657%	3.870%	3.657%	3.671%	3.733%

1500 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MA1_T6	2.136%	2.186%	2.191%	2.191%	2.136%	2.186%	2.171%
MA2_T6	3.252%	3.242%	3.226%	3.252%	3.226%	3.242%	3.240%
MA3_T6	2.435%	2.392%	2.365%	2.435%	2.365%	2.392%	2.397%
MA4_T6	3.771%	3.762%	3.764%	3.771%	3.762%	3.764%	3.766%
MA5_T6	2.553%	2.569%	2.556%	2.569%	2.553%	2.556%	2.559%

- Resultados de los ensayos en régimen transitorio (T6) que se obtuvieron en los contadores de 1 pulgada:

400 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T6	3.145%	-13.380%	-13.101%	3.145%	-13.380%	-13.101%	-7.778%
MG2_T6	7.498%	7.980%	7.900%	7.980%	7.498%	7.900%	7.793%
MC2_T6	-3.006%	-2.552%	-2.355%	-2.355%	-3.006%	-2.552%	-2.638%
ME4_T6	4.565%	3.354%	-16.838%	4.565%	-16.838%	3.354%	-2.973%
MG1_T6	7.971%	7.931%	7.876%	7.971%	7.876%	7.931%	7.926%

1700 l/h							
Modelo	Error 1	Error 2	Error 3	MAX	MIN	Mediana	Promedio
MH_T6	-9.067%	6.024%	5.927%	6.024%	-9.067%	5.927%	0.961%
MG2_T6	3.902%	3.920%	3.936%	3.936%	3.902%	3.920%	3.919%
MC2_T6	-1.146%	2.714%	3.131%	3.131%	-1.146%	2.714%	1.566%
ME4_T6	11.844%	1.966%	2.013%	11.844%	1.966%	2.013%	5.274%
MG1_T6	3.770%	3.643%	3.534%	3.770%	3.534%	3.643%	3.649%

9.3 Anexo III – Comportamiento metrológico de los contadores de agua de manera detallada.

A continuación, se muestran de manera detallada los resultados de error obtenidos durante los ensayos, con un diagrama de caja y bigotes propio del comportamiento de cada contador a sometido a diferentes regímenes.

