



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

TEMA:

Desarrollar curvas en función de la antigüedad de los equipos y del volumen medido acumulado que relacionen la precisión metrológica del parque de medidores del cantón Jipijapa

AUTOR:

Cedeño Barrionuevo, Ángel Ignacio

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERÍA CIVIL**

TUTOR:

Ing. Molina Arce, Stephenson Xavier M. Sc.

Guayaquil, Ecuador

20 de septiembre del 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Cedeño Barrionuevo Ángel Ignacio** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Molina Arce, Stephenson Xavier M. Sc.

DECANO DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Chon Díaz, Carlos M.Sc

Guayaquil, a los 20 días del mes de septiembre del año 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Cedeño Barrionuevo Ángel Ignacio**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Desarrollar curvas en función de la antigüedad de los equipos y del volumen medido acumulado que relacionen la precisión metrológica del parque de medidores del cantón Jipijapa** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 20 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

f. _____

Cedeño Barrionuevo Ángel Ignacio



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, Cedeño Barrionuevo Ángel Ignacio

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Desarrollar curvas en función de la antigüedad de los equipos y del volumen medido acumulado que relacionen la precisión metrológica del parque de medidores del cantón Jipijapa**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 20 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR:

f. _____

Cedeño Barrionuevo, Ángel Ignacio

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Cedeño_Ángel_Final.doc (D111953948)
Submitted: 9/2/2021 6:15:00 AM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 9 %

Sources included in the report:

TESIS DE GRADO CONTADORES DE AGUA.pdf (D9947695)
TESIS MACÍAS PARRALES TANIA.docx (D96905668)
<https://www.ibmetro.gob.bo/web/sites/default/files/2018-06/ERRORES%20DE%20INDICACION%20C3%93N.pdf>
<https://158.42.250.182/bitstream/handle/10251/27863/TFM%20Manuel%20Colado%20Dominguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
<https://docplayer.es/33281686-Characterizacion-de-las-perdidas-hidraulicas-y-financieras-del-parque-de-medidores-en-el-area-urbana-de-la-ciudad-de-tunja-documento-de-tesis-de-grado.html>
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/74686/Valera%20-%20Estudio%20sobre%20la%20idoneidad%20de%20los%20contadores%20de%20agua%20volum%C3%A9tricos%20para%20la%20medici%C3%B3n%20de%20c...pdf?sequence=1>
<http://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/UPT/821/1/Alvarado-Sanchez-Cauna-Aguilar.pdf>
http://www.waterlossreduction.com/images/download/Technical_Manual_SP_-_Guidelines.pdf

Instances where selected sources appear:

61

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, por haberme dado la fuerza y valor para poder terminar esta etapa de mi vida y por ser quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, el que siempre ha estado conmigo en todo momento ayudándome a aprender de mis errores y a no cometerlos otra vez.

Agradezco a mis hermanos: Israel, Dieguito, Ramirito y Geleny por su cariño y apoyo incondicional, por estar conmigo en los momentos buenos y malos, y a enseñarme a ser un mejor hermano. Un agradecimiento muy especial para mi hermano Israel quien desde pequeño siempre ha estado a mi lado y quien siempre me ha cuidado desde niño y ha sido mi gran ejemplo a seguir. Muchas gracias por todo hermanos.

A mi mamita Anita Barrionuevo por todo el esfuerzo impresionante y por todo el amor invaluable hacia mí, que junto con mi papá me han educado y me han dado cada cosa que he necesitado. Gracias por todas las enseñanzas las cuales me han hecho ser una mejor persona. Muchas Gracias Mamita hermosa.

A mi papá Ramiro Cedeño quien ha trabajado muy duro y me ha dado todo lo que he necesitado gracias por todo el esfuerzo, sacrificio y amor brindado a mí. Gracias por todos los consejos, oraciones y palabras de aliento que hicieron de mí una mejor persona. Muchas Gracias Papá

A mis 2 mejores amigas incondicionales Naravely Nieto y Gladys Turriago que desde el colegio me han brindado su amistad sincera y siempre han estado en los momentos buenos y malos y me han brindado consejos y apoyo en todo momento. Muchas Gracias las quiero un montón.

A mi tutor, Xavier Molina por confiar en mí, para llevar a cabo este proyecto y por haber sido paciente y por su apoyo constante, por sus indicaciones y orientaciones indispensables en el desarrollo de este trabajo de investigación. Muchas Gracias Ingeniero.

Finalmente, a mis profesores de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por transmitirme sus diversos conocimientos, y a mis compañeros con los quien compartí buenos y malos momentos y fueron parte fundamental de mi desarrollo personal.

¡¡¡MUCHAS GRACIAS A TODOS!!!

DEDICATORIA

Dedico de manera especial a toda mi familia, que han sido el cimiento para la construcción de mi vida profesional, establecieron en mi base de responsabilidad y deseos de superación y que me han ofrecido el amor y apoyo necesario en todo momento. ¡¡¡Esto es para ustedes familia!!!



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Carlos Chon Díaz, M. Sc.

DECANO DE CARRERA

f. _____

Ing. Alexandra Camacho Monar, PhD

COORDINADOR DE ÁREA

f. _____

Ing. Clara Glas Cevallos, M. Sc.

OPONENTE

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	2
1.1	ANTECEDENTES.....	4
1.2	JUSTIFICACION.....	4
1.3	OBJETIVOS.....	5
1.3.1	Objetivo General	5
1.3.2	Objetivos Específicos	5
2	CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	7
2.1	PÉRDIDAS DE AGUA	7
2.1.1	Pérdidas Reales	8
2.1.2	Pérdidas Aparentes.....	11
2.2	BALANCE HIDRICO	13
2.3	MICROMEDICIÓN	16
2.3.1	Medidores Chorro Múltiple	17
2.3.2	METROLOGÍA DE MICROMEDIDORES MECÁNICOS	22
2.3.3	Curva de error del medidor	23
2.3.4	Normativa.....	26
3	CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	31
2.1.	ENSAYO DE BANCO DE PRUEBAS.....	31
3.1.1	TIPO Y DESCRIPCION DE BANCO DE ENSAYOS.....	32
2.1.1.	Ensayos realizados en el laboratorio de medidores	36
2.2.	SELECCIÓN DE LA MUESTRA.....	39
2.3.	CLASIFICACIÓN DE LOS MEDIDORES EXTRAÍDOS.....	42

2.3.1. Clasificación por Marca de Micromedidores	42
2.3.2. Clasificación por Tiempo de Uso de Micromedidores	43
2.3.3. Clasificación por Volumen Acumulado de Micromedidores	43
3. CAPÍTULO III: aplicación de la metodología y análisis de resultados.....	44
3.1. DETERMINACIÓN DE PERFIL DE CONSUMO	45
3.2. DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE ERROR DE MEDICIÓN	48
3.3. CÁLCULO DEL ERROR MEDIO PONDERADO	54
3.4. AJUSTE DE DATOS MEDIANTE TECNICAS DE EXTRAPOLACIÓN ESTADÍSTICA.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores admisibles para caudal permanente.....	29
Tabla 2. Valores admisibles para la relación Q3/Q1	30
Tabla 3. Factores de fiabilidad para diferentes niveles de confianza	41
Tabla 4. Porcentaje de patrón de consumo.....	46
Tabla 5. Promedio de errores de medidores ensayados.....	51
Tabla 6. Ajuste de datos mediante técnicas de extrapolación estadística (Paso 2)	58
Tabla 7. Ajuste de datos mediante técnicas de extrapolación estadística (Paso3)	59
Tabla 8. Vida útil de los medidores en función del volumen acumulado y de la precisión del medidor	60
Tabla 9. Resumen de Error de Medición Global.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Balance Hídrico.....	3
Figura 2.	Estrategias de Gestión de Pérdidas de Agua	8
Figura 3.	Clasificación de Perdidas Reales según su tamaño y tiempo de la fuga	10
Figura 4.	Balance hídrico según la IWA.....	13
Figura 5.	Partes de un medidor de agua.....	17
Figura 6.	Medidor de chorro múltiple	18
Figura 7.	Despiece de un medidor de chorro múltiple.....	19
Figura 8.	Movimiento de agua en un medidor de chorro múltiple	19
Figura 9.	Dimensiones de Medidores de Chorro Múltiple Típicos.....	20
Figura 10.	Características generales de medidores de chorro múltiple Clases B y C	20
Figura 11.	Curva de error de un medidor de agua	24
Figura 12.	Errores máximos permitidos en un medidor de agua.....	26
Figura 13.	Clases metrológicas definidas en la Norma ISO 4064:1993 en función de caudal permanente.....	27
Figura 14.	Caudales característicos por clase metrológica. ISO4064:1993	28
Figura 15.	Límites de error máximo permitido en un medidor de agua	30
Figura 16.	Banco Volumétrico.....	31
Figura 17.	Esquema de un Banco de Ensayo.....	33
Figura 18.	Procedimiento técnico del ensayo	38
Figura 19.	Medidor de Chorro Múltiple (Marca Iberconta).....	42
Figura 20.	Patrón de Consumo en porcentaje	47

Figura 21. Curva de Error de un Medidor.....	50
Figura 22. Curva de Error del Medidor Reconstruida.....	52
Figura 23. Curva de error de medidores ensayados.....	53
Figura 24. Curva de error reconstruida	55
Figura 25. Ajuste de datos mediante técnicas de extrapolación estadística (Paso 1)	57
Figura 26. Ajuste de datos mediante técnicas de extrapolación estadística (Paso 2)	58
Figura 27. Ajuste de datos mediante técnicas de extrapolación estadística (Paso 3)	59

RESUMEN

Las pérdidas de agua se han identificado como uno de los principales problemas comunes a cualquier empresa de agua en el mundo. El balance hídrico nos dice cuánto de cada tipo de pérdida ocurre y cuánto le está costando a la empresa de agua. Mediante este trabajo de investigación se determinará curvas de error en función de la antigüedad de los equipos y del volumen medido del cantón Jipijapa que tiene un parque de micro medición de aproximadamente 8000 medidores mecánicos que prestan servicio para usuarios residenciales, en el que se extrajeron medidores de dicho cantón para determinar la curva de error mientras se instalan unos medidores electrónicos para determinar el patrón de consumo, el cual son los 2 parámetros más importantes para calcular el error global. Se determinó que existe un error global de 12,18%. Se estableció una función que se ajustó a los datos mediante técnicas de extrapolación estadística y/o matemática para construir las curvas buscadas, el cual se lo realizó relacionando el volumen registrado y la medida de cada uno de los medidores.

Palabras Claves: (Curva de error, Patrón de Consumo, Error Global, Volumen Registrado, Pérdidas de Agua, Balance Hídrico, Agua No Facturada)

ABSTRACT

Water losses have been identified as one of the main problems common to any water company in the world. The water balance tells us how much of each type of loss occurs and how much it is costing the water company

Through this research work, error curves will be determined based on the age of the equipment and the measured volume of the Jipijapa canton, which has a micro-measurement park of approximately 8000 mechanical meters that serve residential users, in which meters were extracted. of said canton to determine the error curve while installing electronic meters to determine the consumption pattern, which are the 2 most important parameters to calculate the global error. It was determined that there is a global error of 12.18%. A function was established that was adjusted to the data by means of statistical and / or mathematical extrapolation techniques to construct the sought curves, which was carried out by relating the registered volume and the measurement of each of the meters.

Keywords: (Error curve, Consumption Pattern, Global Error, Registered Volume, Water Losses, Water Balance)

1 INTRODUCCIÓN

Las pérdidas de agua proveen impactos económicos, técnicos, sociales y ambientales a nivel mundial. Muchas empresas para lograr una reducción de las pérdidas del agua han facilitado soluciones y oportunidades equitativas y han hecho un buen uso de los recursos naturales mediante la sostenibilidad de una manera que este sea preservado para generaciones futuras.

Una investigación efectuada por el Banco Mundial calcula que el volumen anual de Agua No Facturada (ANF) en las regiones en progresión se encuentra en una índole de 26,7 mil millones de m³, de tal forma que simboliza una pérdida cercana de USD 5,9 mil millones en las empresas de agua cada año. (GIZ & VAG, Guía para la reducción de las pérdidas de agua , 2011)

La reducción de pérdidas de agua, abarca aspectos importantes como políticos, financieros y gerenciales.

Con respecto a el aspecto político algunos países tienen un plan de estrategia para combatir las pérdidas de agua y son conscientes que la reducción de las mismas es importante, usualmente estos procesos suelen ser lentos y complejos; sin embargo, para lograrlo se necesita maneras de impartir responsabilidades y también depende del comportamiento del consumidor.

En el medio económico los precios invariables logran simbolizar aproximadamente el 80% de los precios del abastecimiento de agua, en tanto que los precios corrientes frecuentemente corresponden aproximadamente el 20%. (GIZ & VAG, Guía para la reducción de las pérdidas de agua , 2011).

En los aspectos gerenciales, la forma de que exista una reducción de pérdidas del agua, se logrará si la alta gerencia de las empresas de agua se compromete a ciertos casos, como por ejemplo a beneficios e incentivos que sirven para motivar al personal. Así mismo es de gran importancia que exista una medición precisa hacia los clientes, éste ayuda a cuantificar el agua que no ingresa y así lograr que no haya mucho desperdicio.

La conciencia de los usuarios es de gran importancia para la reducción de las pérdidas de agua.

Es necesario tener en cuenta un balance hídrico a ciertos intervalos regulares, estos son necesarios para eliminar las pérdidas del agua

Según el IWA, en la añada 2000 se difundieron unos datos acerca de las óptimas destrezas universales a fin de cuantificar los recursos hídricos. Estos componentes deben ser calculados usualmente por año. El vocabulario modelo conforme con la IWA, se dividirán en ramas que se lo explicarán a continuación:

Tabla 3.1 Terminología estándar para el balance hídrico de acuerdo con la IWA [48]

Volumen de entrada al sistema Q_i	Consumo autorizado Q_A	Consumo autorizado facturado Q_{AF}	Agua facturada exportada	Agua facturada
			Consumo facturado medido	
			Consumo facturado no medido	
		Consumo autorizado no facturado Q_{ANF}	Consumo no facturado medido	Agua no facturada
	Consumo no facturado no medido			
	Pérdidas de agua Q_p	Pérdidas aparentes Q_{PA}	Consumo no autorizado	
			Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
		Pérdidas reales Q_{PR}	Fugas en las tuberías de aducción y distribución	
Fugas y reboses en tanques de almacenamiento				
Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente				

Ilustración 1. Balance Hídrico

Fuente: (GIZ & VAG, 2011)

El Volumen de entrada al sistema es la entrada de volumen anual al sistema de suministro de agua, este se divide en dos ramas:

Consumo autorizado: significa el volumen de agua utilizada por los clientes medidos y no medidos y el volumen de agua utilizada para otros fines que está implícita o explícitamente autorizado por la empresa de servicios públicos, incluida el agua usada para la descarga de red y alcantarillado, protección y capacitación contra incendios, limpieza de calles, fuentes públicas, prevención de heladas y otros propósitos municipales sin importar si el uso es medido.

Pérdidas de agua: se define como la cantidad de agua potable distribuida que no llega a los clientes y por la que las empresas de agua que proveen dicho servicio no reciben ningún pago. También se conoce como Agua no facturada.

1.1 ANTECEDENTES

Un sistema de distribución de agua potable permite abastecer a sus usuarios, cuyos consumos son contabilizados a través de micromedidores mecánicos. El deterioro de estos elementos mecánicos está asociado a la existencia de pérdidas aparentes de agua potable, es decir, agua es realmente consumida por los usuarios pero que no es registrada por los equipos de medición.

El cantón Jipijapa tiene un parque de micro medición de aproximadamente 8000 medidores mecánicos fabricados bajo la normativa ISO 4064:1994 e ISO 4064:2005 que prestan servicio para usuarios residenciales.

1.2 JUSTIFICACION

Las pérdidas de agua se han identificado como uno de los principales problemas comunes a cualquier empresa de agua en el mundo. Los altos niveles de pérdidas pueden afectar significativamente la disponibilidad futura de recursos hídricos, el consumo de energía asociado a la producción y distribución de agua, la calidad general del servicio a los clientes, los niveles de calidad del agua y los costos operativos y la vida útil de los usuarios.

Las pérdidas a causa de distintos elementos conllevan un fuerte impacto para la empresa de agua que se encarga de proveer el suministro de agua para los usuarios, tanto financiero como hidráulicos, que si no se corrigen de una manera rápida existirán problemas mayores a largo plazo; por esa razón se presentará un análisis para poder determinar las pérdidas de agua y así determinar cuanto se está facturando la empresa y cuanto no.

Por otra parte, los usuarios tienen una participación importante dentro de este asunto dado que ellos como consumidores tienen la responsabilidad de informar si existen alguna pérdida de agua e informar a la empresa de agua.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

- Desarrollar curvas de medidores mecánicos que relacionen la precisión metrológica medida de los micromedidores en función de edad de los equipos y del volumen medido acumulado

1.3.2 Objetivos Específicos

- Segmentar la precisión de un parque de medidores en función de su edad.
- Segmentar la precisión de un parque de medidores en función de su volumen medido acumulado.
- Usando los datos obtenidos usar técnicas de extrapolación estadística y/o matemática para construir las curvas buscadas.

ALCANCE

- Calcular el error metrológico de los medidores para usuarios residenciales según la edad de los equipos.
- Calcular el error metrológico de los medidores para usuarios residenciales según el volumen medido acumulado de los equipos.

METODOLOGÍA

Trabajo de laboratorio y de campo: el levantamiento de información laboratorio se deberá realizar ensayando un número determinado de equipos

2 CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

2.1 PÉRDIDAS DE AGUA

En general, se entiende por pérdida de agua a la diferencia entre la cantidad de agua total entregada al usuario menos la cantidad de agua registrada por la empresa.

Las pérdidas de agua se clasifican en pérdidas reales y pérdidas aparentes. Las pérdidas reales son las causadas por daños en la red de tuberías. Los defectos localizables deben subsanarse lo antes posible, en la medida en que sean económicamente justificables. Las pérdidas aparentes se desencadenan por: inercia del medidor (cantidades más pequeñas de agua que están por debajo del límite de medición del medidor), inexactitud del medidor (de acuerdo con la ley de medición y calibración, los medidores pueden tener un límite de error de tráfico), remoción ilegal (por ejemplo, de hidrantes, a través de conexiones negras a la conexión de la casa al medidor de agua), visualizaciones incorrectas causadas por depósitos, debido a daños en el medidor o succión de aire en el área del medidor.

Es fundamental considerar que las alternativas de gestión de las pérdidas de agua obligatoriamente tienen que ser diseñadas y ejecutadas en función a las causas que las originan; de esta forma, se combate el problema y se elude el gasto inapropiado de recursos en proyectos de acción que no serán muy efectivos. Así mismo, se debe tener en consideración que los dos tipos de pérdidas obligatoriamente deben combatirse como un solo conjunto, con la finalidad de evitar que una pérdida se transforme en otra.

Para disminuir los niveles de pérdidas, algunas empresas han desarrollado varias acciones conforme el origen de las mismas. En la siguiente Figura se muestra algunas alternativas.

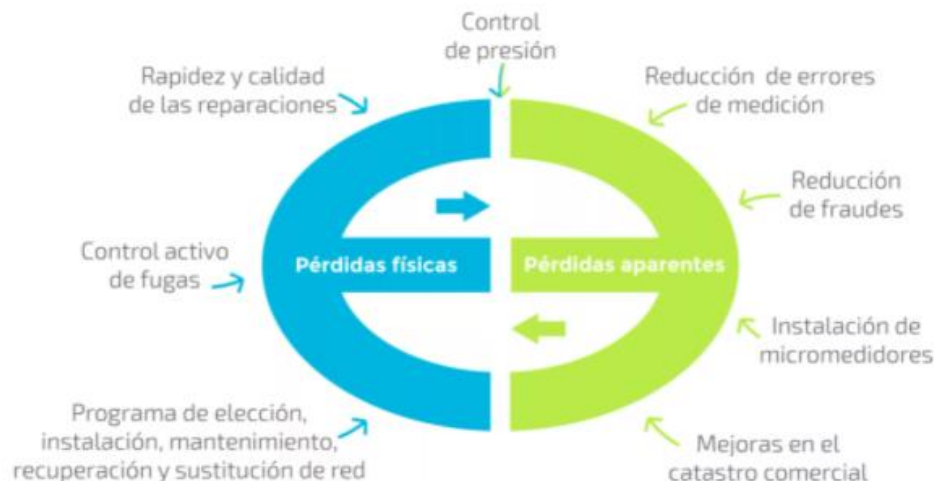


Ilustración 2. Estrategias de Gestión de Pérdidas de Agua

Fuente: (Durando, 2018)

2.1.1 Pérdidas Reales

Las pérdidas reales se proyectan conforme a su sitio interiormente del método, volumen y a la duración mientras fugan.

Las pérdidas reales según su ubicación corresponden a todos los componentes de las fugas en las instalaciones de suministro de agua: fugas en las salidas de las cañerías de aducción y repartición, fugas y derrames en depósitos de acopio de la red pública y fugas en las conexiones de servicio hasta el punto de medición del cliente.

Las pérdidas reales según su tamaño y tiempo de fuga se dividen en tres tipos de fugas: fugas reportadas o visibles, fugas no reportadas u ocultas y fugas de fondo

Las pérdidas reales representan agua tratada perdida del sistema de suministro de agua que no se consume ni factura, y también se denominan pérdidas físicas.

- **Pérdidas reales según su ubicación**

Fugas en las tuberías de aducción y distribución

En un sistema de distribución, una cantidad considerable de agua se desperdicia y se pierde debido a fugas o conexiones de agua no autorizada. Estas pérdidas pueden representar el 15% del consumo total incluso en un sistema de distribución bien administrado, y en caso de sistemas defectuosos, las pérdidas pueden llegar al 40%.

Este desperdicio aumentará directamente el costo unitario del agua pura. Por tanto, para una gestión eficaz del sistema, es fundamental detectar los puntos en los que se

está desperdiciando agua. Se deben tomar medidas proactivas para rectificar las tuberías defectuosas y detener el desperdicio.

Estas fugas suelen suceder en las tuberías debido a cambios geológicos a estallidos de las tuberías o debido a la corrosión. También suelen suceder en las uniones de las tuberías puede ser el caso de empaques quebrados o desconexiones. O por último suele suceder debido a alguna fuga dentro de las válvulas o por falta de mantenimiento.

Fugas y reboses en los tanques de almacenamiento de la red pública

Los tanques de agua son una fuente alternativa de agua. Para algunos, estos tanques se utilizan como suministro de red. A veces las causas naturales e incluso los errores humanos provocan su daño. Y cuando este daño pasa desapercibido, el tanque y el agua que contiene quedarán inutilizables.

Este tipo de fugas y reboses por lo general son provocadas por controles del nivel de agua que son deficientes o se encuentran en un mal estado. También, pueden ocurrir filtraciones en las paredes de hormigón o de la construcción que no son herméticas. La mayoría de usuarios no le dan mucha importancia las pérdidas de agua desde tanques y aunque no son difíciles de detectarlas, la reparación es costosa y complicada.

Para evitar esto, debe conocer los factores que provocan fugas en los tanques. Estas son algunas de las causas más comunes: oxidación y grietas, el clima frío, una válvula de flotador defectuosa y el desbordamiento no está a la altura correcta.

Fugas en las conexiones de servicio hasta el punto de mensuración del usuario

Estas fugas aparecen en el medidor de los usuarios, son consideradas el punto más vulnerable de una red, las conexiones empleadas tienen un porcentaje de fallas considerablemente alto.

Estas fugas son difíciles de detectar por el bajo flujo que presentan y su larga duración.

Una de las mejores formas de proteger su hogar de fugas futuras es comprender y buscar situaciones comunes que provoquen el desarrollo de fugas.

Las 8 causas más comunes de fugas de agua en el hogar del cliente son: Sellos rotos, líneas obstruidas, corrosión, juntas de tubería dañadas, exceso de presión de agua, intrusión de raíces de árboles, conectores de agua sueltos y cambios rápidos de temperatura.

- **Pérdidas reales según su tamaño y tiempo de la fuga**

Fugas reportadas o visibles

Por lo general, tienen tasas de flujo altas y un tiempo de ejecución corto antes de que el público en general o el personal de la empresa de agua las informe a la empresa de servicios públicos. Son visiblemente evidentes y perturbadores.

Estas fugas suelen originarse debido a explosiones o desuniones en enormes troncales o cañerías de repartición. El agua colada se mostrará en la extensión aprisa sujetándose del empuje del agua y la dimensión de la fuga, así mismo de las cualidades del suelo y su extensión.

Fugas no reportadas

Poseen caudales moderados y un tiempo de funcionamiento prolongado. Los ubica el equipo de detección de fugas como parte de su programa de control activo de fugas. Este tipo de fugas por definición poseen caudales mayores a 250 l/h a 50 m de presión que a causa de las condiciones no favorables no se hallan en la superficie. La presencia de este tipo de fugas no reportadas se puede hallar haciendo un estudio en base a el comportamiento del gasto de agua en una región delimitada de abastecimiento de agua.

Fugas de fondo

Son eventos individuales (de juntas, accesorios y pequeñas grietas) con caudales demasiado bajos para ser detectados por las técnicas tradicionales de detección de fugas acústicas. A medida que siguen fluyendo estos son detectados por casualidad o hasta que empeoren gradualmente hasta un punto en el que puedan detectarse.

Este tipo de fugas comprende pérdidas de agua con caudales menores por lo general de 250 l/h a 50 m de empuje de agua. Esta clase de fugas son minúsculas, no se logran descubrir empleando sistemas de rastreo auditivo.



Ilustración 3. Clasificación de Perdidas Reales según su tamaño y tiempo de la fuga

Fuente: (GIZ & VAG, 2011)

2.1.2 Pérdidas Aparentes

Las pérdidas aparentes también conocidas como pérdidas comerciales dan como resultado la pérdida de ingresos para los servicios públicos, ya que consisten en consumo no autorizado (robo o uso ilegal) y todo tipo de inexactitudes asociadas con la medición de la producción y la medición del cliente.

La reducción de pérdidas aparentes requiere muchos tipos de experiencia, no solo en los campos técnico y operativo, sino también en los campos humano, social y de gestión.

Las pérdidas aparentes son producidas por:

Inexactitudes del medidor de agua

Las pérdidas de medición son a menudo las pérdidas más frecuentes de las pérdidas aparentes. La práctica enseña que un reducido porcentaje de agua que no se mide o se mide de forma errónea a causa de los errores de medida en los medidores de agua. Lo cual perjudica a los medidores de los usuarios y a los medidores de la empresa prestadora que suministran el agua y puede ser ocasionado por escoger medidores que poseen ciertos inconvenientes, por ejemplo, medidores muy grandes, debido a una instalación defectuosa, por no realizar su respectiva calibración a los medidores y también por el desgaste de los medidores con el paso del tiempo.

Las pérdidas por inexactitudes del medidor se originan por las siguientes causas:

- ✓ Insensibilidad: Se refiere a la pérdida de volumen de agua consumido a causa de que los medidores no lo registraron porque los caudales son bajos.
- ✓ Imprecisión: Se refiere a la pérdida de volumen de agua consumido a causa de una mala calibración o a una mala instalación de los medidores.

Otro de los motivos por los cual los medidores de agua sufren problemas de inexactitudes es porque algunos poseen un caudal de arranque demasiado alto y a medida que va pasando el tiempo este aumenta, lo que ocasiona que se consuma mucha más cantidad de agua sin contabilizarse ni facturarse.

Errores en los manejos de los datos

El trabajador que registra la lectura de los medidores puede cometer errores al momento de leer el dial del medidor, estos errores se los distingue por ser sistemáticos y tienen una gran repercusión en el procesamiento de datos y procedimientos de facturación. Esto puede generar grandes pérdidas económicas a la empresa que suministra el agua.

Una de las soluciones para este problema sería instalando un contador inteligente lo cual funcionaria de la siguiente manera, la comunicación inalámbrica estaría añadida en el medidor, lo que permitiría registrar lecturas remotas e ingresar a los datos con mayor regularidad, quitando así las lecturas inexactas.

El consumo de agua no medido y no facturado abarca, generalmente, el agua empleada por la empresa que suministra el agua con fines operacionales y muchas veces, este se sobreestima severamente. Por ejemplo, tenemos el suministro gratuito para los bomberos en la consumación del fuego, en el riego de parques, lavada de calles y entretenimiento.

Consumo no autorizado

Se refiere a los consumos de pérdidas de agua por medio de conexiones clandestinas o ilegales que no son medidas ni registradas por la empresa que suministra el agua. Se puede mostrar como medidores mangoneados por los usuarios, en los medidores que los usuarios esquivan, en el robo ilícito de agua de las cañerías contra incendios e inmoralidad a los trabajadores que registran la lectura de los medidores o a otros trabajadores de la empresa.

Las pérdidas de agua por consumos no autorizados se dividen en:

- ✓ Usuarios legales: Derivaciones clandestinas, ejecución de un bypass y arreglo de conexiones tapadas.
- ✓ Usuarios Ilegales: El más claro ejemplo son las conexiones clandestinas
- ✓ Usuarios Ilícitos Públicos: La carga de tanqueros particulares sin autorización en hidrantes.
- ✓ Usuarios Ilícitos Particulares: Manipulación de los componentes interiores del medidor (por ejemplo, engranajes, magnetos), aislamiento temporal de medidores, etc.

Para controlar las pérdidas aparentes se enumeran a continuación con una lista no exhaustiva de actividades que pueden incluirse en estas categorías.

Errores en el manejo de datos: captura de datos, transmisión de datos, procesamiento de datos, procedimientos de lectura de contadores, procedimientos de lectura de contadores, lectura automática de contadores, control de supervisión y adquisición de datos, entre otros.

Inexactitudes del medidor de agua: procedimientos de instalación y calibración para medidores grandes, cálculo del error ponderado promedio para los medidores

del cliente, selección de medidores del cliente, perfiles de consumo, dimensionamiento del medidor, instalación del medidor, envejecimiento del medidor, período óptimo de reemplazo, integral y / o programas de reemplazo específicos, entre otros.

Consumo no autorizado: detección de conexiones no registradas y detección de fraudes en conexiones registradas, censo global de clientes, censo de clientes dirigido, política de comunicación, mejora de los procedimientos de gestión de clientes, etc.

2.2 BALANCE HIDRICO

El balance hídrico de un sistema de suministro de agua es la base para cualquier análisis de Agua No Facturada relacionado tanto con las pérdidas reales como con las pérdidas aparentes en ese sistema. Se basa en mediciones y evaluaciones de los componentes del agua producida, importada, exportada, consumida o perdida. El balance hídrico nos dice cuánto de cada tipo de pérdida ocurre y cuánto le está costando a la empresa de agua

El balance hídrico se relaciona con un sistema de distribución de agua claramente definido durante un período de tiempo definido, generalmente un año.



Ilustración 4. Balance hídrico según la IWA

Fuente: (Gavara, 2016)

Para determinar el balance hídrico es fundamental tener en cuenta que la exactitud al determinar el agua no facturada depende de la precisión y calidad de los datos

El volumen de ingreso al sistema es la entrada de volumen anual al sistema de suministro de agua, este se divide en dos ramas: **Consumo autorizado y las pérdidas de agua.**

Consumo autorizado: Es la capacidad de agua medida y no medida que consumen los usuarios registrados, el proveedor de agua y otros que están implícita o explícitamente autorizados por la empresa de servicios públicos, para fines residenciales, comerciales e industriales. El consumo autorizado se clasifica en dos partes:

- Consumo autorizado facturado es el volumen de agua que se factura y que generan ingresos a la empresa, es la suma del consumo facturado medido más el consumo facturado no medido y más el consumo exportado medido, también se la conoce como Agua Facturada. Se clasifican en tres partes:
 - ✓ Consumo exportado medido Se refiere al volumen de agua que una empresa vende a otra con la finalidad de suministrar dicho servicio a otras ciudades.
 - ✓ Consumo facturado medido se refiere al volumen que consumen los usuarios y que es facturado por la empresa mensualmente.
 - ✓ Consumo facturado no medido se refiere a el consumo facturado que se calcula en base a estimaciones o normas, pero no se mide. Este podría ser un elemento sumamente pequeño en sistemas con medidor completo (por ejemplo, facturación en base a consideraciones para el período en que un medidor de un usuario se encuentre fuera de servicio) sin embargo puede llegar hacer ser el elemento de consumo clave en sistemas sin medición universal.
- Consumo autorizado no facturado Se refiere al Consumo Autorizado que son legítimos, pero no facturados y que por lo tanto no generan ingresos, es la suma del consumo no facturado medido más el consumo no facturado no medido. Por ejemplo, se puede considerar los extintores de usos contra incendios, descarga de tuberías y alcantarillas, limpieza de calles, riego de

jardines municipales, fuentes públicas, agua de construcción, etc. El consumo autorizado no facturado se divide en dos grupos.

- ✓ Consumo no facturado medido se refiere al consumo medido que por cualquier motivo no se factura, pero es contabilizado para cualquier análisis anual. Esto podría incluir, por ejemplo, el consumo medido por la propia empresa de servicios públicos o el agua proporcionada a las instituciones de forma gratuita.
- ✓ Consumo no facturado no medido se refiere a cualquier tipo de Consumo Autorizado que no sea facturado ni medido. Este componente incluye típicamente elementos tales como extinción de incendios, descarga de la red y alcantarillado, limpieza de calles, protección contra heladas, etc.

Para el cálculo del Agua No Facturada en el Balance Hídrico se realiza siguiendo los siguientes pasos:

- Definir consumo autorizado no facturado
- Calcular consumo autorizado
- Estimar pérdidas totales: reales y aparentes

Por último, las pérdidas de agua como ya se las ha mencionado anteriormente, se dividen en reales y aparentes.

Las Pérdidas de Agua Es la diferencia entre el volumen de la entrada del sistema y el consumo autorizado. Las pérdidas de agua constan de dos componentes: pérdidas reales y pérdidas aparentes.

- Pérdidas Reales incluye todos los componentes de las fugas en las instalaciones de suministro de agua: red de transmisión y distribución, fugas y desbordes en los tanques de almacenamiento de la red pública y fugas en las conexiones de servicio hasta el punto de medición del cliente. Representan agua tratada perdida del sistema de suministro de agua que no se consume ni factura, y también se denominan pérdidas físicas. Para poder calcular las pérdidas reales, se las considera mermando las pérdidas aparentes de las pérdidas totales debido a que son más complicadas de analizarlas ya que estas perdidas son producidas por fugas.
- Pérdidas Aparentes a veces llamadas pérdidas comerciales o no físicas, se refiere a los volúmenes de consumo autorizado que llegan a los

consumidores, pero no se facturan, incluyen consumo no autorizado, errores de medición del cliente, errores en las estimaciones de consumo no medido y errores en todo el Proceso de Adquisición de Datos.

- ✓ Consumo no autorizado se refiere a conexiones de servicio no registradas y varios tipos de fraude en las conexiones de servicio registradas (incluido el equipo público).
- ✓ Errores de medición del cliente se refiere a los errores generados por los propios contadores de agua, pero no por la gestión de los contadores de agua
- ✓ Errores en las estimaciones de consumo no medido se refiere a los errores generados por las estimaciones de consumo no medido. Este punto es muy importante en el caso de sistemas que no están medidos o que no están medidos por completo.
- ✓ Errores a lo largo del proceso de adquisición de datos se refiere a los errores que pueden generarse en las distintas etapas del proceso de adquisición de datos como son la captura de datos, transmisión de datos, procesamiento de datos, manipulación de datos, etc.

En resumen, el cálculo del balance hídrico puede dividirse en seis pasos

1. Evaluación del volumen de ingreso del sistema
2. Evaluación del consumo autorizado facturado
3. Evaluación del consumo autorizado no facturado
4. Cálculo del consumo autorizado
5. Evaluación de las pérdidas aparentes
6. Cálculo de las pérdidas de agua reales

2.3 MICROMEDICIÓN

El medidor de agua es un instrumento concerniente a una conexión que permite definir de manera precisa la cantidad de agua que conduce a través de él.

Los medidores de agua están conformados por las manecillas y el contador. El contador factura el consumo de agua en litros. Los medidores poseen números en color negro y rojo. Para la facturación se considerarán los números en color negro, éste nos da la cantidad exacta que se ha consumido en metros cúbicos, los números en color rojo sirven para verificar la precisión de los medidores y nos da la cantidad

en litros, estas son muy importantes ya que nos ayuda a identificar si existen posibles fugas de agua.

Para poder saber cuál es el consumo mensual, se debe tomar dos lecturas, una inicial y una final, la diferencia entre estas dos lecturas corresponde al consumo del periodo,

Por ejemplo, si usted lee su medidor el 3 de septiembre y la lectura es 1600, la nueva lectura la toma el 3 de octubre y la lectura es 1675, por diferencia de lectura su consumo es de 75 metros cúbicos por 31 días de consumo.

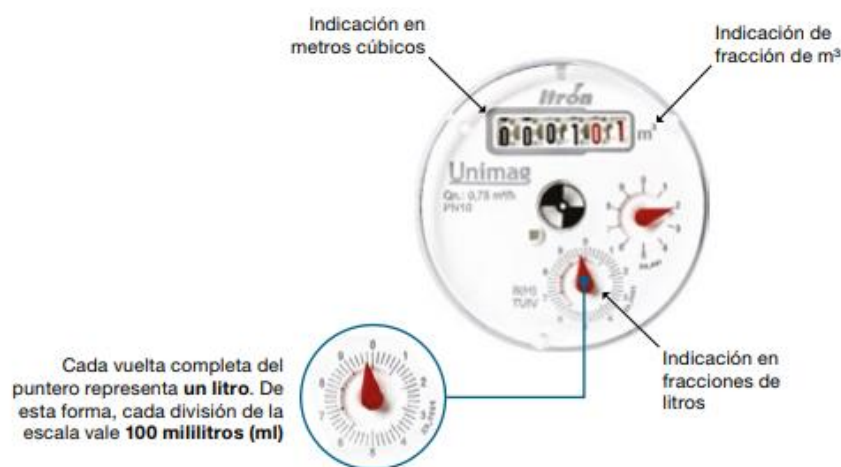


Ilustración 5. Partes de un medidor de agua

Fuente: (Costa, Michellin, & Moreira, 2013)

Los medidores mecánicos de agua se dividen en 2 categorías, en medidores de velocidad y medidores de desplazamiento. Los medidores de chorro único, medidores de chorro múltiple, medidores Woltman, medidores combinados, medidores tangenciales y medidores proporcionales se encuentran dentro de la categoría de medidores de velocidad; Los medidores de pistón oscilante y los medidores de disco nutante se encuentran dentro de la categoría de medidores de desplazamiento.

2.3.1 Medidores Chorro Múltiple

Los medidores de chorro múltiple es un tipo de medidor que se encuentra dentro de la categoría de medidores de velocidad. Este medidor es muy utilizado en los hogares

debido a su bajo coste y alta fiabilidad. Ayuda a la facturación de los consumos domésticos, comerciales y redes de riego.

El funcionamiento de este tipo de medidor es el siguiente, el flujo de agua entra por el medidor, éste pasa dentro de unos tubos antes de impactar con la turbina con chorros simétricos que hacen que se mantenga en perfecto equilibrio. Luego el agua sale dentro de una serie de tubos que se encuentran localizados en la parte superior. Esto posibilita retener los mejores rendimientos hidráulicos de desgaste.

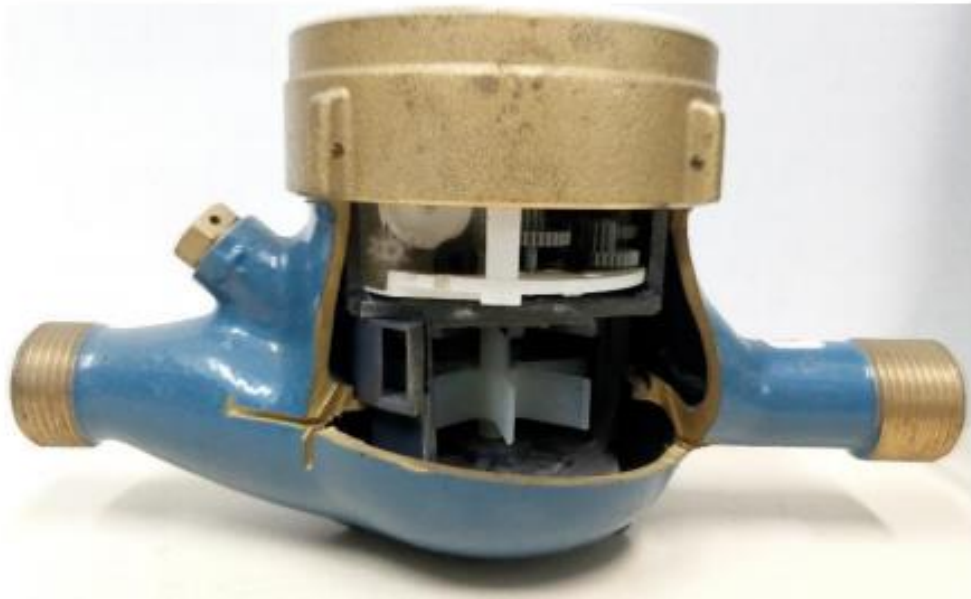


Ilustración 6. Medidor de chorro múltiple

Fuente: (Escandon & Sierra, 2018)

La turbina es la encargada de transformar la velocidad lineal del flujo en movimiento rotacional.

En la Figura 7 se aprecia el despiece de un medidor de chorro múltiple junto con sus respectivos nombres.

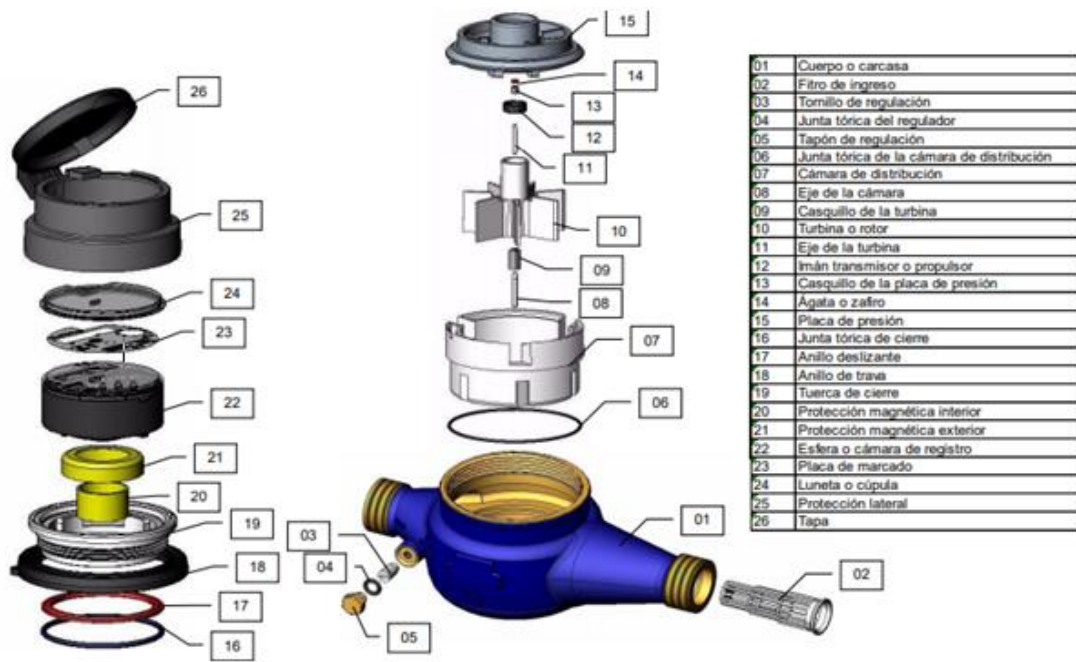


Ilustración 7. Despiece de un medidor de chorro múltiple

Fuente: (Maldonado, 2018)

El medidor de chorro múltiple posee un tornillo de regulación el cual es el encargado del ajuste de la curva de error, éste reduce el caudal que circula a través de un circuito en bypass. Por ello, el movimiento de agua que circula dentro del medidor puede ejecutarse recorriendo dos circuitos en paralelo: el agua que pasa por la cámara de la turbina y el agua que circula por medio del bypass que se encuentra ajustado por el tornillo de regulación.

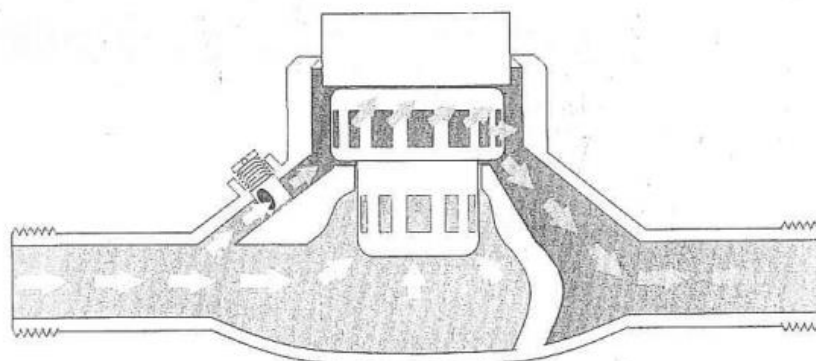


Ilustración 8. Movimiento de agua en un medidor de chorro múltiple

Fuente: (Arregui de la Cruz, Cabrera, & Cobacho, 2007)

Los diámetros con los que se elaboran ese tipo de medidor están entre los 15 y 50 mm. El medidor de chorro múltiple tiene dos tipos de medidor de acuerdo a su diámetro, puede ser tanto en Clase B como en Clases C, sin embargo, la clase metrológica superior se elabora con diámetros más bajos.

En la Figura 9 nos indica las propiedades más frecuentes de los distintos diámetros que hay actualmente en el mercado.

Diámetro	Qn (m ³ /h)	Longitudes (mm)	Clases metrológicas
15	1.5	190	B, C
20	2.5	190	B, C
25	3.5	260	B
30	6	260	B
40	10	300	B
50	15	300	B

Ilustración 9. Dimensiones de Medidores de Chorro Múltiple Típicos

Fuente: (Arregui de la Cruz, Cabrera, & Cobacho, 2007)

En la Figura 10 nos indica las propiedades generales de medidores de chorro múltiple de clases B y C.

Clase metrológica		B	C	B	C	B	B	B	B
Diámetro	mm	15	15	20	20	25	30	40	50
Caudal nominal	m ³ /h	1.5	1.5	2.5	2.5	3.5	5	10	15
Caudal máximo	m ³ /h	3	3	5	5	7	10	20	30
Caudal de transición (±2%)	l/h	120	22.5	200	37.5	280	400	800	3000
Caudal mínimo (±5%)	l/h	30	15	50	25	70	100	200	450
Caudal de arranque	l/h	7	7	12	12	25	25	35	45
Pérdida de carga a Q _{max}	bar	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9

Ilustración 10. Características generales de medidores de chorro múltiple Clases B y C

Fuente: (Arregui de la Cruz, Cabrera, & Cobacho, 2007)

En la metrología de los medidores de chorro múltiple influyen algunos aspectos que se deben de considerar, entre ellos: la orientación, perfil de velocidades, envejecimiento y flujo inverso.

Orientación

Los medidores de chorro múltiple en su mayoría son fabricados para trabajar con el eje de la turbina vertical, esto quiere decir con el contador en sentido horizontal, gracias a eso se logra un menor par resistente y esto ayuda a que no exista mucho desgaste de las piezas móviles.

Perfil de velocidades

El perfil de velocidades al principio de la cámara de distribución está reducido por los cambios de orientación que se producen adentro del cuerpo del medidor. En realidad, las variaciones aguas arriba del medidor no ocurrirá ninguna influencia en la precisión del mismo. Este medidor no se le exige trechos rectos de tubería aguas arriba para garantizar una medición precisa de los consumos. (Arregui de la Cruz, Enrique, & Ricardo, Gestión Integral de Contadores de Agua, 2007)

Envejecimiento

Para los medidores de chorro múltiple, es usual que debido a caudales medios y altos la curva de error se dirija a la zona de errores positivos, esto es necesario debido a la obstrucción parcial del circuito bypass. Con la ayuda de ensayos realizados se ha comprobado que en caudales bajos el aumento de la fricción ocasionado por el desgaste de las piezas móviles y las incrustaciones calcáreas incrementa el error de medición, mismamente la obturación el circuito de regulación no nivela el aumento de fricción. Indiscutiblemente, el caudal de arranque incrementa progresivamente con la edad. (Arregui de la Cruz, Cabrera, & Cobacho, Gestión Integral de Contadores de Agua, 2007)

Flujo inverso

La dirección del flujo es la que causa que la curva de error varié, esto es debido a que la sección efectiva de entrada a la cámara de distribución es diferente, si entra el agua por la parte inferior (sentido normal del desplazamiento del agua) o por la parte superior (sentido inverso del desplazamiento del agua), esta afectará a la velocidad de impacto sobre la turbina a un determinado caudal; por lo tanto, ésta será diferente para cada caso.

El error de registro depende de la velocidad con la que incide el agua sobre la turbina a un determinado caudal y, por tanto, de la sección efectiva de entrada a la cámara de distribución.

Las ventajas de los medidores de chorro múltiple son las siguientes:

- Su tecnología de medición es muy confiable y es usada durante décadas en varios países del mundo
- Los esfuerzos sobre la turbina están nivelados, lo que resulta una vida útil duradera del instrumento.
- Los medidores de chorro múltiple no son perceptibles al perfil de velocidades de entrada de manera que no requieren distancias rectas de tuberías aguas arriba.
- Los medidores son suficientemente persistentes a los sólidos en suspensión de modo que son adecuados para su aplicación en aguas duras o en aguas que contengan cierta cantidad de partículas en suspensión.

Las desventajas de los medidores de chorro múltiple son las siguientes:

- Comúnmente, les afecta la posición de instalación del medidor.
- En los caudales medios y altos, la curva de error suele trasladarse hacia el área de errores positivos, y esto genera conflictos con los consumidores.
- Hasta el momento no se halla ningún modelo con clase D. Es muy extraño encontrar un medidor de chorro múltiple Clase C con un diámetro mayor de 30 mm.

2.3.2 METROLOGÍA DE MICROMEDIDORES MECÁNICOS

Existen parámetros generales para los medidores de agua independientemente de los tipos. Estos nos ayudan a caracterizar los distintos tipos de funcionamiento de los medidores

los parámetros metrológicos, que están directamente relacionados a la función del medidor. Se detallan a continuación:

Volumen real. Es la capacidad de agua que ha recorrido por el medidor en un periodo de tiempo definido, sin considerar el tiempo del mismo. En relación con este criterio, se determina el caudal real haciendo la división entre el volumen obtenido y la duración del periodo

Volumen medido. Lectura indicada por el medidor perteneciente a un volumen real definido. El caudal medido se lo obtiene mediante la división entre el volumen obtenido mediante la lectura indicada por el medidor y el periodo de tiempo acontecido durante la medición.

Error de medición absoluto. Se lo determina restando el volumen medido y el volumen real. El resultado puede ser positivo o negativo. Si el resultado es positivo se lo menciona como sobre contaje y si el resultado es negativo se lo menciona como subcontaje.

Error de medición relativo. Se lo determina dividiendo el error de medición absoluto con el volumen real. El resultado es adimensional y también puede ser positivo o negativo.

Curva de error del medidor. Dado que los errores de medición relativos de un medidor no son estables y que se alteran en función del caudal que lo atraviesa se los interpreta gráficamente en una curva, a la que se conoce como curva de error del medidor; mediante este gráfico se puede analizar la relación entre el caudal circulante y los errores de medición relativos.

2.3.3 Curva de error del medidor

En la Figura 11 se puede observar que la curva de error de un medidor se divide en 3 zonas: La zona 1 nos indica que la curva tiene un error de medición de -100%, esto quiere decir que el volumen circulado no es registrado en su totalidad manteniendo el medidor totalmente parado. La zona 2 se puede observar en la Figura que la curva se empieza a mover, esto significa que el flujo del agua comienza a dar sensibilidad al medidor, sin embargo se obtienen errores importantes en el registro de consumo. Por último, en la zona 3 se puede notar que la curva de error se mantiene constante y casi independiente del caudal circulante.

En la Figura 11 se puede observar que la curva de error no separa en su lado izquierdo a ninguno de sus ejes. Eso quiere decir que se encuentra un valor máximo de caudal que logra que se mueva el medidor ya sea la turbina, pistón, disco, etc.; no se desplaza a caudales que sean semejantes o menores a dicho valor límite de caudal, por lo tanto, el medidor no registra el volumen de agua circulado. En la Figura muestra como la curva empieza a partir de un punto definido, que también es conocido como caudal de arranque, es muy importante saber el concepto de este caudal puesto que no mantiene un valor establecido y éste va cambiando en el interior de ciertos intervalos.

Sobre la base del caudal de arranque se empieza una trayectoria de crecimiento alargado y acelerado hasta lograr conseguir un grado de error que se aproxime a cero. En esta zona el rango de los caudales que se encuentran en este sector, el grado de error de medida nos muestra valores adversos, teniendo un error de medida alrededor de -70%, el cual este es considerado el error característico del caudal de arranque. Usualmente la extensión de este nivel de caudales está entre 10 y 15 l/h. Esto quiere decir que el caudal que se obtiene cuando este tiene un valor del error relativo cercano a cero es unos 10 a 15 l/h mayor al caudal de arranque.

Por último, en la zona 3 es donde la curva de error no presenta alteraciones con el flujo de agua que circula en el medidor, por lo tanto, el grado de error se conserva adentro de las tolerancias aceptable. La manera que puede tomar la curva en esta zona se sujeta en base de las propiedades edificantes del medidor como por ejemplo su técnica de medición. Se puede decir que los caudales que se hallen en esta zona son los que se encuentran funcionando correctamente puesto que el grado de error en el que se encuentran son los requeridos por la Norma.

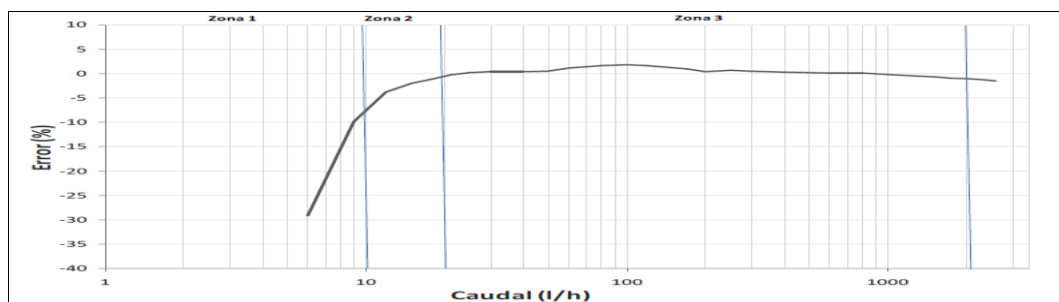


Ilustración 11. Curva de error de un medidor de agua

Fuente: (Molina, 2017)

La curva de error de un medidor de agua como se puede observar en la Figura 12 es un gráfico logarítmico (Caudal vs E%) en el que se aprecia los errores de orientación de un medidor en función de sus caudales.

En la Figura 12 se observa que la curva comprende de 2 regiones de medida: Una región superior y una región inferior. Ésta se la determina en función de los 4 caudales característicos que son:

- ✓ Caudal mínimo
- ✓ Caudal de transición
- ✓ Caudal permanente
- ✓ Caudal de sobrecarga

En la Figura 12 se puede observar que la zona inferior, está determinada por el caudal mínimo y el caudal de transición, este tiene un grado de error máximo autorizado por la Norma del 5%. La segunda zona está integrada por el caudal de transición y el caudal de sobrecarga, se estima un grado de error máximo autorizado por la Norma del 2%.

La metrología de un medidor se encuentra relacionada a la tolerancia de su curva de error y la manera en que se conserva en el tiempo.

Caudal de arranque (Qa): Es el caudal en el que el medidor comienza a trabajar de manera estable, además define la sensibilidad del medidor. Es muy complicado definir el valor del caudal ya que en ninguna norma se encuentra con exactitud un valor definido. Es muy importante tener en claro el concepto de este caudal ya que se lo utiliza en la aplicación del porcentaje de volumen registrado por medidor, y representa el mínimo valor de caudal en el que el grado de error de medida ya no es del 100%.

Caudal Mínimo (Q1): Es el caudal en el cual el medidor empieza a entregar informaciones de volumen.

Caudal de Transición (Q2): Es el caudal que se encarga de dividir en dos franjas el comportamiento del medidor, la franja superior y la franja inferior, estas dos franjas

se las distingue por tener cada una de ella su propio error máximo permisible diferente. Este caudal se halla entre el caudal mínimo y el permanente.

Caudal Permanente (Q3): Es el valor mayor de caudal que se encuentra dentro de las condiciones nominales de funcionamiento, para esto se requiere que el medidor funcione de la mejor manera posible dentro del error máximo permitido. A este tipo de caudal también se lo conoce como caudal nominal.

Caudal de Sobrecarga (Qs): Es el caudal en el que el medidor trabaja de manera satisfactoria por periodos reducidos de tiempo sin descomponerse, sosteniendo el grado de error adentro de los errores admisibles y logrando un correcto funcionamiento, a este caudal también se lo conoce como caudal máximo.

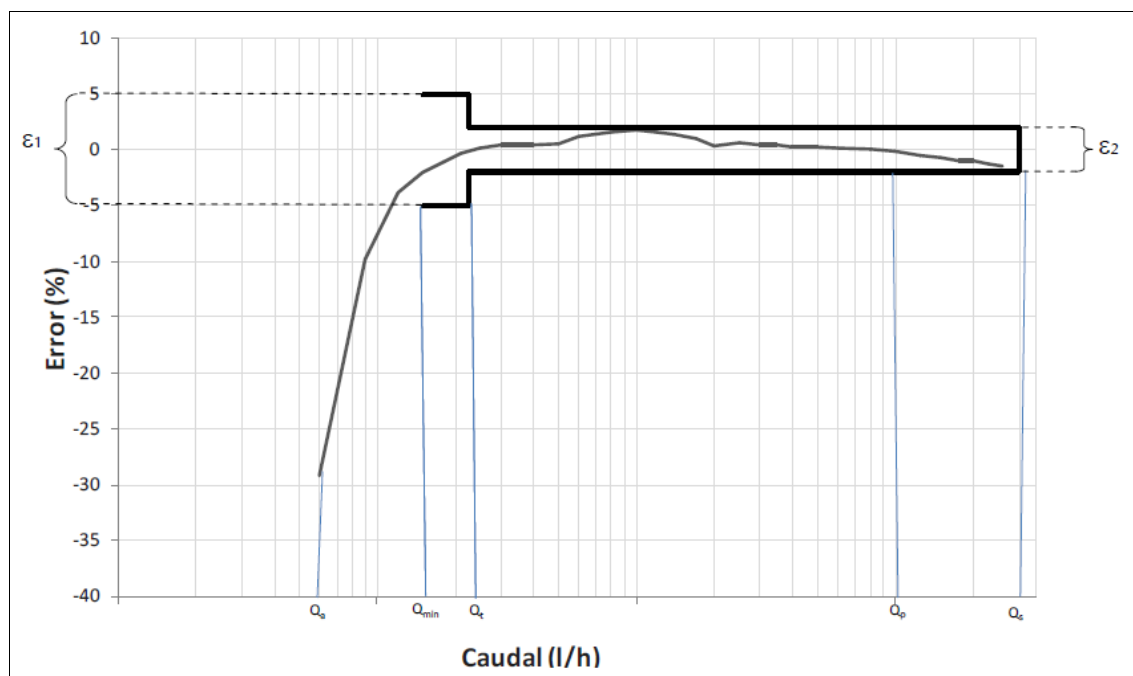


Ilustración 12. Errores máximos permitidos en un medidor de agua

Fuente: (Molina, 2017)

2.3.4 Normativa

Las normativas nos ayudan a controlar el buen funcionamiento y características constructivas de los medidores de agua que son realmente importantes para avalar una buena metrología. En función de las normas ISO 4064:1993 diferencia 4 clases metrológicas: A, B, C y D. A diferencia de la Norma ISO 4064:2005 tiene una gama

más extensa. Cabe mencionar que los errores máximos permitidos no van a cambiar, estos serán iguales en cualquier circunstancia y que entre las diferentes clases metrológicas lo que va a variar son los valores de caudal ya que se requiere que los valores de los caudales de los medidores satisfagan con dichos requisitos de error.

Los parámetros más importantes en el contenido de la Norma ISO 4064:2003 son:

- Dicha norma es acoplable a dispositivos mecánicos que definen de forma continua la cantidad de agua que circulará por el mismo. el volumen de agua que circulará por ellos.
- La elección del medidor se encuentra definido por el valor del caudal permanente, reflejado en m^3/h y fijada por una letra N.
- Se establecen 4 clases metrológicas: A, B, C, y D. En la Figura 13 nos presenta las propiedades de las clases metrológicas en relación del caudal permanente.

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

Ilustración 13. Clases metrológicas definidas en la Norma ISO 4064:1993 en función de caudal permanente

Fuente: (Molina, 2017)

- El caudal de sobrecarga se determina en todas las clases metrológicas como el doble del caudal permanente.
- En la Figura 14 nos presenta los valores de los caudales característicos según la Norma ISO 4064:1993.
- El grado de error máximo admisible de cada uno de los rangos de caudales está fijado en 5% (ϵ_1) y 2% (ϵ_2). Las tolerancias de error de una clase metrológica a otra no cambian de ninguna manera.

Q_p (m^3/h)	Clase A		Clase B		Clase C		Clase D		Q_s (l/h)
	Q_m (l/h)	Q_t (l/h)	Q_m (l/h)	Q_t (l/h)	Q_m (l/h)	Q_t (l/h)	Q_m (l/h)	Q_t (l/h)	
0.6	24	60	12	48	6	9	4.50	6.90	1.2
1	40	100	20	80	10	15	7.50	11.50	2
1.5	60	150	30	120	15	22.5	11.25	17.25	3
2.5	100	250	50	200	25	37.5	18.75	28.75	5
3.5	140	350	70	280	35	52.5	26.25	40.25	7
6	240	600	120	480	60	90	45.00	69.00	12
10	400	1000	200	800	100	150	75.00	115.00	20
15	1200	4500	450	3000	90	225	-	-	30
20	1600	6000	600	4000	120	300	-	-	40
25	2000	7500	750	5000	150	375	-	-	50
30	2400	9000	900	6000	180	450	-	-	60
40	3200	12000	1200	8000	240	600	-	-	80
50	4000	15000	1500	10000	300	750	-	-	100
60	4800	18000	1800	12000	360	900	-	-	120
100	8000	30000	3000	20000	600	1500	-	-	200
150	12000	45000	4500	30000	900	2250	-	-	300
250	20000	75000	7500	50000	1500	3750	-	-	500
400	32000	120000	12000	80000	2400	6000	-	-	800
600	48000	180000	18000	120000	3600	9000	-	-	1200
1000	80000	300000	30000	200000	6000	15000	-	-	2000
1500	120000	450000	45000	300000	9000	22500	-	-	3000
2500	200000	750000	75000	500000	15000	37500	-	-	5000
4000	320000	1200000	120000	800000	24000	60000	-	-	8000

Ilustración 14. Caudales característicos por clase metrológica. ISO4064:1993

Fuente: (Arregui de la Cruz, Cabrera, & Cobacho, Gestión Integral de Contadores de Agua, 2007)

- La temperatura de trabajo máxima es de 30° para todos los medidores
- Las pérdidas de presión máxima de un medidor, debe limitarse para los siguientes valores: 0.1, 0.3, 0.6 y 1 bar.

Los parámetros más importantes en el contenido de la Norma ISO 4064:2005 son:

- La Norma es aplicable a los medidores de agua fundamentados a principios eléctricos o electrónicos, y a medidores de agua mecánicos con componentes electrónicos.
- Los medidores están determinados por su diámetro nominal.
- Los caudales que determinan la metrología del medidor son los siguientes: Caudal mínimo, Caudal de transición, Caudal permanente y Caudal de sobrecarga.
- La elección del medidor se encuentra definida por medio del valor del caudal permanente, se lo representa en m³/hora y el radio Q3/Q1.
- El caudal permanente, debe limitarse a ciertos valores presentados en la Tabla 1.

Q3				
1	1.6	2.5	4	6.3
10	16	25	40	63
100	160	250	400	630
1000	1600	2500	4000	6300

Tabla 1. Valores admisibles para caudal permanente

Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

- El caudal mínimo (Q1) y en efecto, la clase metrológica del medidor, quedan determinados a partir de la relación Q3/Q1. En la Tabla 2 se aprecian los valores de dicha relación.

Q3/Q1									
10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
100	125	16	200	250	315	400	500	630	800

Tabla 2. Valores admisibles para la relación Q3/Q1

Fuente: Ángel Ignacio Cedeño Barrionuevo

- El caudal de transición (Q2) se determina a partir de la relación Q2/Q1, para el que se fija un único valor de 1,6.
- El caudal de sobrecarga (Q4) se determina a partir de la relación Q4/Q3, para el que se fija un único valor de 1,25.
- En la Figura 15 puede apreciar los valores de error máximo permitido para las 2 regiones de medición, limitados por el caudal de transición, la curva permanece establecido con los posteriores valores: 5% desde el caudal Q1 (mínimo) hasta el caudal Q2 (transición) y $\pm 2\%$ desde el caudal Q2 (transición) hasta el caudal Q4 (máximo).

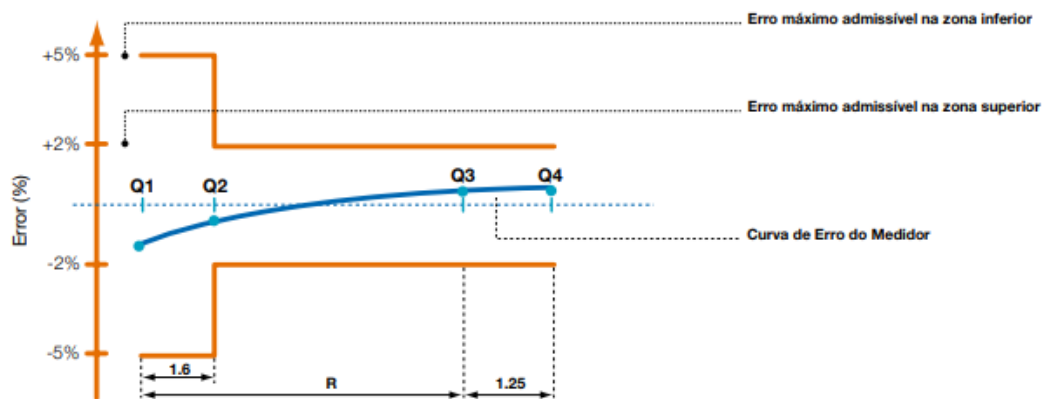


Ilustración 15. Límites de error máximo permitido en un medidor de agua

Fuente: (Costa, Michellin, & Moreira, 2013)

3 CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La metodología aplicada en este trabajo de investigación es netamente cuantitativa, puesto que se emplea muestreo aleatorio simple, histogramas de consumo, lecturas periódicas, bases de datos, cálculos de error de medición. Para el desarrollo de este trabajo de investigación se desarrollaron las siguientes etapas:

2.1. ENSAYO DE BANCO DE PRUEBAS

Un ensayo de banco de pruebas es muy importante ya que nos ayuda a determinar las curvas principales de un medidor de agua, entre las más importantes la curva de error y la curva de pérdida de carga. Asimismo, nos ayuda a determinar los caudales característicos que son: caudal de arranque, caudal mínimo, caudal de transición, caudal permanente y caudal de sobrecarga. El Banco que se utilizará en este trabajo de investigación es el Banco Volumétrico como se puede apreciar en la Figura 20.



Ilustración 16. Banco Volumétrico

Fuente: (Escandon & Sierra, 2018)

3.1.1 TIPO Y DESCRIPCION DE BANCO DE ENSAYOS

Es de gran importancia los bancos de ensayos ya que este controla con exactitud la precisión de los medidores en servicio, verifican la metrología de los medidores instalados y además regula todas las acciones de las áreas operativas y comerciales para un buen desempeño de la gestión y optimización del recurso del agua.

El Banco de ensayos se ocupa de mantener de buena manera el parque de medidores éste se encarga de regular, chequear, y examinar el funcionamiento en cuanto a la medición de consumos y facturación.

La inspección metrológica de los medidores de agua, tanto nuevos como usados, es uno de los primordiales apoyos en el que se basa la gestión del parque de medidores. Se podría decir que todos los métodos expuestos para el estudio del error del parque utilizan información sacada de ensayos del error de medición.

Se debe tener en consideración posteriormente, que en muchas ocasiones los resultados que se logran de los ensayos serán empleados sin que se cuestione el valor de los mismos, por lo que un método de ensayo que se lo haga mal puede generar resultados erróneos y causar pérdidas económicas de gran magnitud.

Lo primero que debe de considerarse por al abastecimiento es de disponer con un banco de ensayos, en el dónde se llevarán a cabo los ensayos de error de los medidores de agua. Es muy importante tener claro sobre cuáles serán los objetivos que se quiere lograr, y el lugar o la población de los instrumentos en donde se van a ensayar las muestras. El interés de tener o no un banco de ensayos estará dado por el número de ensayos que se vaya a realizar por año. Hay que tener bien claro, que tener un banco de ensayos resulta muy costoso debido a su mantenimiento y que se obtendrá un buen rendimiento si la cantidad de medidores probados es alta y el laboratorio está continuamente en uso.

Un banco de ensayo está constituido por las siguientes partes: un tanque de aspiración, un grupo de bombeo, tanque hidroneumático, algunos filtros, válvulas de control, caudalímetros o medidores de control que son usados para ajustar el caudal circulante y una parte para colocar los medidores que se van a ensayar. Se pueden

adherir medidores de temperatura y de presión. Se puede agregar al final de la línea de ensayo un tanque volumétrico.

El depósito tiene que tener bastante capacidad, para que cuando se estén realizando los ensayos, y estando la sección de ensayo de mayor diámetro, el depósito esté completamente lleno y así impedir que se genere cavitación en la bomba. De igual manera se tiene que tener una capacidad de volumen grande para asegurar un buen funcionamiento mientras se ensayan las bombas, y se debe evitar que la temperatura de agua no se exceda de los límites establecidos en las normas. (Arregui de la Cruz, Cabrera, & Cobacho, Gestión Integral de Contadores de Agua , 2007)

Las bombas pueden trabajar con velocidad constante, pero es aconsejable proporcionarlas de un variador de frecuencia que contribuye al ajuste del caudal de ensayo y disminuya el consumo energético. El ajuste de la velocidad de giro de la bomba se lo puede realizar manualmente, estableciendo uno mismo la velocidad apropiada para las condiciones de ensayo o se lo realiza automáticamente mediante instrumentos de presión. (Arregui de la Cruz, Cabrera, & Cobacho, Gestión Integral de Contadores de Agua , 2007)

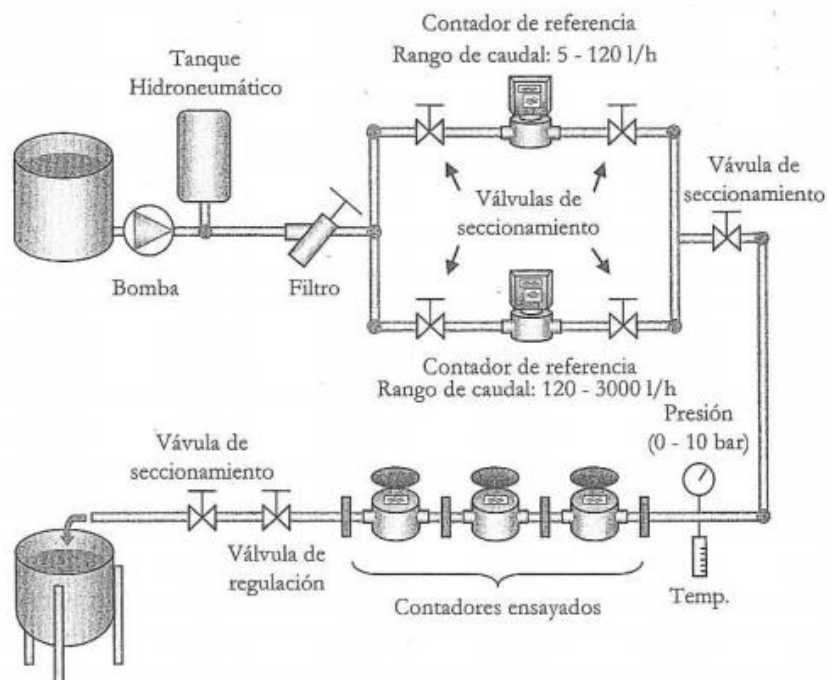


Ilustración 17. Esquema de un Banco de Ensayo

Fuente: (Arregui de la Cruz, Cabrera, & Cobacho, Gestión Integral de Contadores de Agua, 2007)

Usualmente, en los caudales máximos, la pérdida de presión es levemente menor a 1 bar. La altura mínima necesitada para la bomba al caudal máximo de ensayo se la puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$H_b \text{ (en bares)} = 1,2 * (\text{número de medidores a ensayar})$$

Aguas abajo donde se encuentran el grupo de bombeo es adecuado la instauración de un depósito hidroneumático que merme las vibraciones ocasionadas por las bombas, que afectarían al momento de realizar el ensayo, principalmente a caudales bajos. Hay que tener cuidado al momento de realizar el ensayo que la presión del depósito no se disminuya, ya que esta podría hacer que el caudal varié más de lo autorizado en la norma.

Se coloca un filtro a la entrada de la batería de los caudalímetros para impedir que se deterioren los aparatos debido a partículas que se aglomeran en el depósito.

Los caudalímetros pueden emplearse como dispositivo para acoplar a los caudales. La precisión requerida no será la misma y dependerá de su uso. Los aparatos del control se pueden instalar aguas arriba o aguas abajo, esto ya depende del fabricante. En función del banco de ensayo, las secciones nos aceptan a ensayar más de un medidor al momento del estudio, sin embargo, es muy sustancial incorporar los ajustes debidos para su acoplamiento dependiendo de la longitud de los medidores y el diámetro de las roscas.

Existen ciertas características en particular de los diferentes tipos de bancos de ensayos:

- Desgaste de un caudalímetro o medidor de precisión como instrumento patrón
- Recolección en un tanque volumétrico
- Peso del agua estimado

Existen 3 tipos de bancos de ensayos para medidores de agua:

Bancos Volumétricos: Emplean tanques con niveles sucesivos que nos permiten conocer el volumen de agua que se transporta por los hidrómetros que se ensayan.

Bancos Gravimétricos: Emplean una báscula cuya palanca se mide en unidades de volumen. Se usan reservorios de grandes magnitudes. Este tipo de banco se lo utiliza en laboratorios donde se requiere mayor exactitud, para obtener datos más precisos.

Bancos Portátiles: Este tipo de banco son elaborados con la finalidad en ensayar medidores en sitio. Los requisitos de presión cambian mediante el ensayo, es por esto que éste tiene una exactitud por debajo de las alcanzadas en un banco fijo.

Para poder realizar los ensayos en el laboratorio de medidores se deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Calidad del agua

El agua con la que se realice el ensayo tiene ser agua potable y este debe ser procedente del servicio publico

No debe haber burbujas en el agua

Hay que tener cuidado con algún tipo de material que pueda deteriorar el medidor o perjudicar su operación.

- Reglas importantes referente al montaje y locaciones donde se ejecutarán los ensayos de los medidores

- ✓ Instalación

El diseño, construcción y uso de la instalación para los ensayos tienen que ser tales, que su ejecución no influya significativamente a los errores durante el ensayo. La instalación tiene que contar con apoyos y conexiones apropiados para impedir que haya vibraciones en el medidor. (Goldberg, 2020)

El medio en que se ubique la instalación para los ensayos debe cumplir con algunos requisitos entre ellos: el caudal, la temperatura del agua, la presión del agua, la temperatura del medio, la humedad relativa del medio, la presión atmosférica, la frecuencia y la tensión nominal.

Al momento que se realicen los ensayos, la presión manométrica de salida de los medidores tiene que ser de 30 kPA para impedir que haya cavitación.

La lectura debe ser breve y simple de los ensayos.

- Ensayo de medidores en grupo

Los medidores pueden ser ensayados de manera individual o grupal. En el último caso las propiedades individuales deberán definirse de manera exacta. La interacción entre medidores y entre bancos de ensayo no deberá aportar significativamente al error de ensayo de otros medidores.

- Temperatura del agua durante los ensayos

Los resultados de los ensayos se recibirán sin corrección por temperatura, mientras que la diferencia de temperatura entre el medidor y el componente de referencia no exceda los 5 °C.

En ningún sitio del banco de prueba la temperatura podrá ser debajo a 0,3 °C.

- Ubicación

Mientras se realice el ensayo, la ubicación seleccionada debe localizarse aislada de cualquier otra actividad, como por ejemplo la temperatura ambiente o la vibración.

2.1.1. Ensayos realizados en el laboratorio de medidores

- **Ensayo de error de indicación**

Precauciones que tomar durante el ensayo

1. El banco de ensayo y el medidor deben ser purgados de aire.
2. El banco de ensayo no debe presentar pérdidas.
3. La presurización del banco debe ser gradual y sin alteraciones bruscas.
4. El ensayo debe ser realizado a la temperatura de referencia.
5. El valor de la presión hidráulica aplicada al medidor tendrá una tolerancia de $\pm 5\%$.
6. El tiempo de duración de cada ensayo tendrá una tolerancia de $\pm 5\%$.

Procedimiento de ensayo

1. Se comienza a poner en el laboratorio el grupo de medidores a ensayar. Luego que se han puesto todos los medidores, nos cercioramos que los medidores estén bien asegurados y que su orientación sea completamente perpendicular a la conducción.
2. Luego lo que se procede hacer es abrir la válvula que se encuentra aguas arriba del medidor, con la finalidad de ir llenando la sección donde se irá a realizar el ensayo. Si en algún caso la válvula de corte que se encuentra aguas abajo del medidor no se la abre, se pueden observar como los manómetros chequean el incremento de la presión, sin embargo, es preferible que ésta se mantenga cerrada.
3. Hay que tener en cuenta que antes de que se vaya a realizar el purgado, la válvula de corte que se sitúa aguas abajo, se verifica que no se encuentren fugas en el sitio de ensayo y que la presión del agua sea la apropiada.
4. Se acelera el mecanismo con el que se comienza abrir la válvula permitiendo que circule el flujo de agua. El propósito de este paso es expulsar el aire que se ha retenido en los conductos y el sitio donde se realizará el ensayo. La ejecución de la purga dura alrededor de 2 a 3 minutos
5. En el momento que se tiene la seguridad de haber terminado totalmente el purgado, lo que se procede hacer es ajustar el caudal con la ayuda de la válvula de regulación. Es importante escribir las ubicaciones de la válvula para cada caudal a ensayar.
6. Primeramente, al comenzar el ensayo se procede a efectuar las verificaciones correspondientes para confirmar que el depósito volumétrico se encuentre vacío y el grifo de fondo no se encuentre abierto, que el tanque volumétrico está vacío y con la llave de fondo cerrada, se verifica el cronómetro éste en el punto cero y que esté listo para comenzar a contabilizar, y que la válvula de regulación esté en el lugar que pertenece. Asimismo, se deberá de anotar las lecturas de los medidores que nos ayudan para verificar el volumen evaluado.
7. Una vez ha sido demostrado se procede a abrir la válvula neumática a partir de un control electrónico.
8. Mientras se realiza el ensayo se tiene que verificar que el caudal se encuentre ajustado con el planeado para el ensayo. La desigualdad entre el uno y el otro no tiene que ser superior de 2,5% en los caudales que se

encuentren en la región inferior, y tampoco no tiene que sobrepasar del 5% en caudales que se encuentre en la región superior. Cabe mencionar que es de mucha consideración en caudales bajos, ya que estos caudales con cualquier alteración que exista, alteran totalmente el grado de error de los medidores.

9. En el momento que se logra conseguir el volumen señalado ubicado en el depósito volumétrico se procede a cerrar la válvula y así terminar el desplazamiento del flujo del agua.
10. Una vez cerrada la válvula de corte inicial, que se encuentra localizadas aguas abajo, se debe de anotar la lectura de cada uno de los medidores, el tiempo y el nivel del depósito volumétrico.

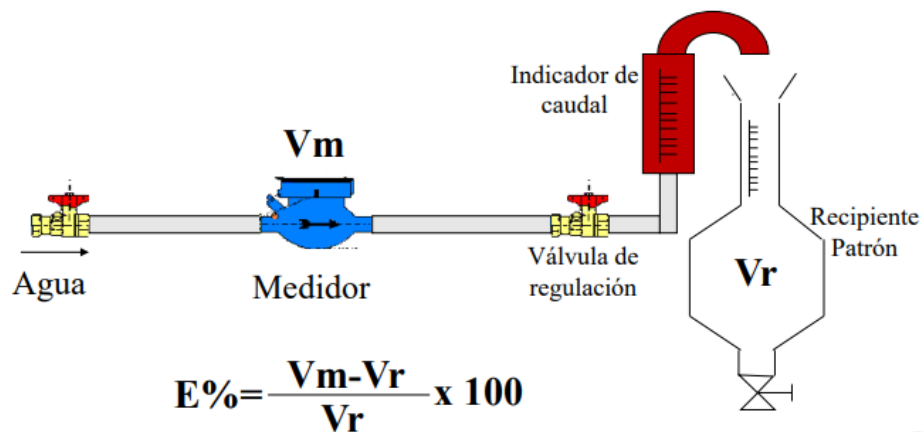


Ilustración 18. Procedimiento técnico del ensayo

Fuente: (Maldonado, 2018)

El caudal de ensayo se consigue dividiendo el volumen acumulado entre la duración del ensayo como se pueden apreciar en las fórmulas.

$$\text{Error (\%)}: \frac{(\text{Lectura final} - \text{Lectura inicial}) - \text{Volumen de referencia}}{\text{Volumen de referencia}} * 100$$

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

- **Ensayo para la determinación del patrón de consumo:**

Este procedimiento puede demorarse un poco más puesto que se ensaya con cierto caudal para toda la muestra de medidores, se requiere entender el comportamiento de los consumidores y se necesita ser lo más detallado posible. Los rangos de los

caudales que se utilizarán para los ensayos deben estar expresados en litros/horas y los caudales que se ensayarán serán los siguientes:

- ✓ 0 – 7 litros/hora
- ✓ 7 – 15 litros/hora
- ✓ 15 – 22 litros/hora
- ✓ 22 – 60 litros/hora
- ✓ 60 – 120 litros/hora
- ✓ 120 – 250 litros/hora
- ✓ 250 – 500 litros/hora
- ✓ 500 – 750 litros/hora
- ✓ 750 – 1000 litros/hora
- ✓ 750 – 1500 litros/hora
- ✓ 1500 – 3000 litros/hora
- ✓ 3000 litros/hora

Con estos rangos de caudales y con la ayuda de una hoja de cálculo la cual contiene información importante sobre el usuario y medidor como: fecha y hora de inicio y retiro de ensayos, lecturas iniciales y finales de cada medidor y por ende el volumen consumido y el volumen real.

Para realizar los histogramas se trabajó con los valores del volumen consumido en porcentaje y los rangos de caudales antes mencionados (Figura 23).

2.2. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Teniendo el conocimiento del desempeño de los medidores, podemos darnos cuenta que este depende de algunos factores como lo son: el volumen consumido, la presión, el material del medidor, modelo, tipo, etc.

Para poder lograr que la población de estudio sea lo más homogénea posible, utilizaremos un modelo probabilístico, para poder definir el tamaño de la muestra, el método que se empleará es el método muestreo aleatorio simple.

El muestreo aleatorio simple se determina como un método de muestreo en la que cada elemento de la población tiene la misma probabilidad de ser escogido en la muestra. También se lo entiende como método de probabilidades.

Este método es el más fácil de todos los métodos de muestreo probabilístico, puesto que solo implica una única selección aleatoria y se necesita un pequeño conocimiento previo sobre la población, puesto a que se emplea la aleatorización.

Muchos supervisores de tesis recomiendan la elección de métodos de muestreo aleatorio simple debido a la representatividad del grupo de muestra y al menor margen de sesgo del investigador en comparación con las técnicas de muestreo no aleatorio. Sin embargo, la aplicación de este método en la práctica puede resultar bastante difícil debido a la necesidad de contar con una lista completa de los miembros relevantes de la población y un gran tamaño de muestra.

Hay pasos claves para seleccionar una muestra de aleatoria simple

✓ **Paso 1: Definir la población**

Para poder empezar hacer el análisis se tiene que definir la población que se desea estudiar.

Es conveniente asegurarse de tener acceso a todos los individuos personales de la población, de manera que pueda compilar datos de todos los escogidos para la muestra.

Para este trabajo de investigación la población que se va a estudiar es el cantón Jipijapa, el cual tiene un parque de micro medición de aproximadamente 8000 medidores mecánicos que prestan servicio para usuarios residenciales.

✓ **Paso 2: decidir el tamaño de la muestra**

A continuación, debe decidir qué tan grande será el tamaño de su muestra. A pesar que las muestras más grandes facilitan más certidumbre estadística, también son más costosas y exigen mucho más trabajo.

Hay varias formas posibles de decidir el tamaño de su muestra, pero una de las más simples implica utilizar una fórmula como se puede apreciar en la Ecuación 1 con el intervalo de confianza y el nivel de confianza deseados, el tamaño estimado de la población con la que está trabajando, la probabilidad de éxito y fracaso y por último la desviación estándar de lo que desee para medir en su población.

✓ **Paso 3: Definir el intervalo de confianza y el margen de error**

El intervalo de confianza y los niveles más frecuentes que son empleados son 0.05 y 0.95. Dado que es posible que no conozca la desviación estándar de la población que está estudiando, se debe elegir un número lo suficientemente alto para tener en cuenta una variedad de posibilidades (como 0,5).

Los intervalos de confianza para las proporciones siempre tienen un valor crítico que se encuentra en la distribución normal estándar. Están representados por la letra z. Estos valores críticos varían según el grado de confianza. Los intervalos de confianza más comunes son el 90% y el 99%. En la tabla 3 se puede apreciar los factores de fiabilidad para diferentes niveles de confianza.

Para este trabajo de investigación se va a utilizar un nivel de confianza del 90%, con un margen de error del 10%.

<i>Nivel de confianza</i>	90%	95%	99%
<i>Coefficiente de confianza (z)</i>	1,64	1,96	2,57
z^2	2,69	3,84	6,6

Tabla 3. Factores de fiabilidad para diferentes niveles de confianza

Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

✓ **Paso 4: Definir la probabilidad al éxito y al fracaso**

La probabilidad de éxito ha de ser constante. Por ejemplo, la probabilidad de que al tirar un dado y que aparezca un número impar es de 0,5 y esta es persistente puesto que el dado no cambia en cada lanzamiento y las probabilidades de sacar impar es constante. La probabilidad de fracaso también es constante

Cada prueba es independiente de los demás y no incide en las probabilidades de los que hagamos más adelante, de manera que en cada uno la probabilidad de que se dé uno de los dos resultados será ni más ni menos la misma.

La probabilidad al fracaso está representada en la Ecuación 1 con la letra Q y la probabilidad al éxito con la letra P.

Dicho esto, para este trabajo de investigación se utilizará una probabilidad al éxito y una probabilidad al fracaso de 0,5.

$$n = \frac{Z^2 * P * Q * N}{E^2 (N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

Ecuación 1

Donde:

n= tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

P = probabilidad al éxito

Q = probabilidad al fracaso

E = margen de error

Z = nivel de confianza

Luego de que tengamos todos los valores que se solicita en la Ecuación 1, se procede a reemplazar los valores para así lograr el valor del tamaño de la muestra que es lo que se requiere para el análisis.

$$n = \frac{1,64^2 * 0,50 * 0,50 * 8000}{0,10^2(8000 - 1) + 1,64^2 * 0,50 * 0,50}$$

$$n = 67 \text{ micromedidores}$$

Se puede concluir que, para nuestro trabajo de investigación de los 80000 micromedidores de usuarios residenciales, el total de la muestra será de 67 micromedidores.

2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MEDIDORES EXTRAÍDOS

2.3.1. Clasificación por Marca de Micromedidores

Para nuestro trabajo de investigación se utilizará solo una marca de medidor. La marca del medidor extraída para los ensayos será la ABB Iberconta. En la Figura 22 se puede observar tanto el medidor con el nombre de la marca y algunas características importantes del mismo como por ejemplo la Clase Metrológica que es la B, asimismo la temperatura (40°C), el caudal nominal (1500 l/h), el caudal mínimo (30 l/h) y el Modelo (M170 – II).



Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

2.3.2. Clasificación por Tiempo de Uso de Micromedidores

Los 40 micromedidores que se extrajeron para nuestro trabajo de investigación para los ensayos de error tienen una vida útil de 12 años, esto quiere decir que los micromedidores fueron instalados en el año 2008, cabe recalcar que 2 medidores no se han podido ensayar debido a que estos presentaban el vidrio dañado, por lo tanto, solamente se analizarán 38 micromedidores. Es necesario aclarar que el promedio de vida de un micromedidor de chorro múltiple está por encima de los 5 años.

2.3.3. Clasificación por Volumen Acumulado de Micromedidores

Para este trabajo de investigación lo que se procederá hacer es conocer el volumen total acumulado que ha medido cada uno de los medidores y para hacer eso se deberá leer desde el dial de cada uno de ellos, y se anotará en una hoja el volumen total acumulado medido por cada uno de los medidores, esto servirá para hacer una correlación entre el volumen registrado por el medidor y la precisión del medidor

Los valores del volumen total acumulado es el volumen registrado de cada medidor a lo largo de su vida útil que como fue mencionado anteriormente es de 12 años

En el Anexo 6 se puede apreciar una tabla en la que se detalla el modelo de cada uno de los medidores junto con el volumen registrado y los errores de medición de los ensayos en función de los rangos de la Clase Metrológica.

3. CAPÍTULO III: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los medidores no son lo suficientemente aptos de chequear el consumo con la misma precisión por donde pase el flujo del agua, esto se debe a que el caudal va variando y no es el mismo en todos los rangos de medida. (Arregui de la Cruz, Cabrera, & Cobacho, Gestión Integral de Contadores de Agua, 2007). Es por esto que es muy importante comprender los caudales que pasan por el medidor, ya que de no comprender esto, es difícil determinar el porcentaje de agua que se registrará; sea positivo o negativo.

Algunos análisis ejecutados en el transcurso del tiempo, han confirmado que el deterioro de las partes móviles en los medidores tiene considerables repercusiones en caudales bajos entretanto que en los caudales altos el grado de error permanece constante con el pasar del tiempo. Asiduamente, estos consumos son causados por fugas en las construcciones o por la aparición de tanques de almacenamiento entreverados entre el medidor y los sitios de consumo.

Los pasos para definir el porcentaje de agua no registrada debido a errores de medidores son: Lo primero es clasificar el parque de medidores en grupos de propiedades homogéneas como por ejemplo el tipo de medidor, la edad, el volumen acumulado, tecnología, etc. Lo segundo es clasificar los consumidores del sistema según la distribución esperada de caudales de consumo, brindando un interés en particular que puedan suceder en los rangos inferiores y superiores. La distribución debe efectuarse teniendo en consideración algunos parámetros como por ejemplo el ambiente de conservación, la calidad de la instalación interior, la existencia de tanques domiciliarios y el tamaño y tipo de la vivienda. Los patrones de consumo se analizan de forma individual debido a la heterogeneidad de su clase. (Arregui de la Cruz, Cabrera, & Cobacho, Gestión Integral de Contadores de Agua, 2007)

3.1. DETERMINACIÓN DE PERFIL DE CONSUMO

Debido a que la exactitud de un medidor es variable en todo el rango de medición, es indispensable analizar la manera de consumo del agua por parte de los usuarios, se debe saber en medida que porcentaje de volumen se consume en cada intervalo de caudales. Para esto se determina la curva de perfil de consumo.

La curva de perfil de consumo se la desarrolla estableciendo a cada rango de caudales el porcentaje de volumen sobre el total consumido entre el caudal máximo y el caudal mínimo de cada rango. Primeramente, lo que se debe hacer es definir el volumen no registrado correspondiente a los errores de medida, se basa en efectuar mediciones para poder tener la curva de consumos clasificados.

Lo primero que se debe definir es la característica de la vivienda éstas pueden ser de tres tipos:

- ✓ Vivienda Tipo I
- ✓ Vivienda Tipo II
- ✓ Vivienda Tipo III

Hay que tener en consideración algunos parámetros que afectan a los patrones de consumo. Los caudales de consumo de los usuarios, principalmente los que pasan en el rango inferior, limitan firmemente la precisión en la medida. Es por esto que la existencia de cualquier elemento que incremente o reduzca el consumo de agua en dicho rango de caudales modificará la capacidad del medidor para registrar debidamente el consumo. Entre los componentes que perjudican de manera inmediata al volumen de agua empleado a caudales bajos cabe resaltar especialmente a dos: el uso de recipientes domiciliarios y las fugas en las instalaciones interiores, asiduamente en grifos y cisternas.

Lo segundo es comunicar a los consumidores del sector a estudiar que los medidores serán extraídos por un tiempo establecido hasta que el estudio finalice entre tanto, se ubicarán medidores electrónicos el cual continuará registrando el consumo, posteriormente los medidores extraídos son llevados al laboratorio con mucha precaución.

Uno de los objetivos al realizar este estudio corresponde a identificar el perfil de consumo por tramos durante el día, en el que los usuarios consumen agua gradualmente durante las 24 horas y el perfil de consumo por rangos de caudal. Para este trabajo de investigación por tema de tiempo se realizó un promedio entre los porcentajes de perfiles de consumo de la Ciudad de Portoviejo y la Ciudad de Manta en la tabla 4 se aprecia el promedio de porcentaje del patrón de consumo para nuestro trabajo de investigación en función de los rangos de los caudales que se ensayarán.

La expresión de la caracterización de un perfil de consumo resulta en un gráfico de barras, al cual se denomina histograma de consumo que identifica el volumen que ha fluido durante el periodo en base al caudal que circuló. Desde este histograma se puede determinar los caudales más relevantes en cuanto a la operación del sistema, para las cuales el medidor puede resultar ser más resistente a lo largo del tiempo.

PATRON DE CONSUMO											
RANGO DE CAUDALES DE ENSAYO (%)											
0-7 (l/h)	7-15 (l/h)	15-22,5 (l/h)	22,5-60 (l/h)	60-120 (l/h)	120-250 (l/h)	250-500 (l/h)	500-750 (l/h)	750-1000 (l/h)	1000-1500 (l/h)	1500-3000 (l/h)	3000- (l/h)
1,38%	2,16%	1,60%	5,42%	7,55%	14,82%	29,25%	22,33%	10,33%	4,83%	0,31%	0,03%

Tabla 4. Porcentaje de patrón de consumo

Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

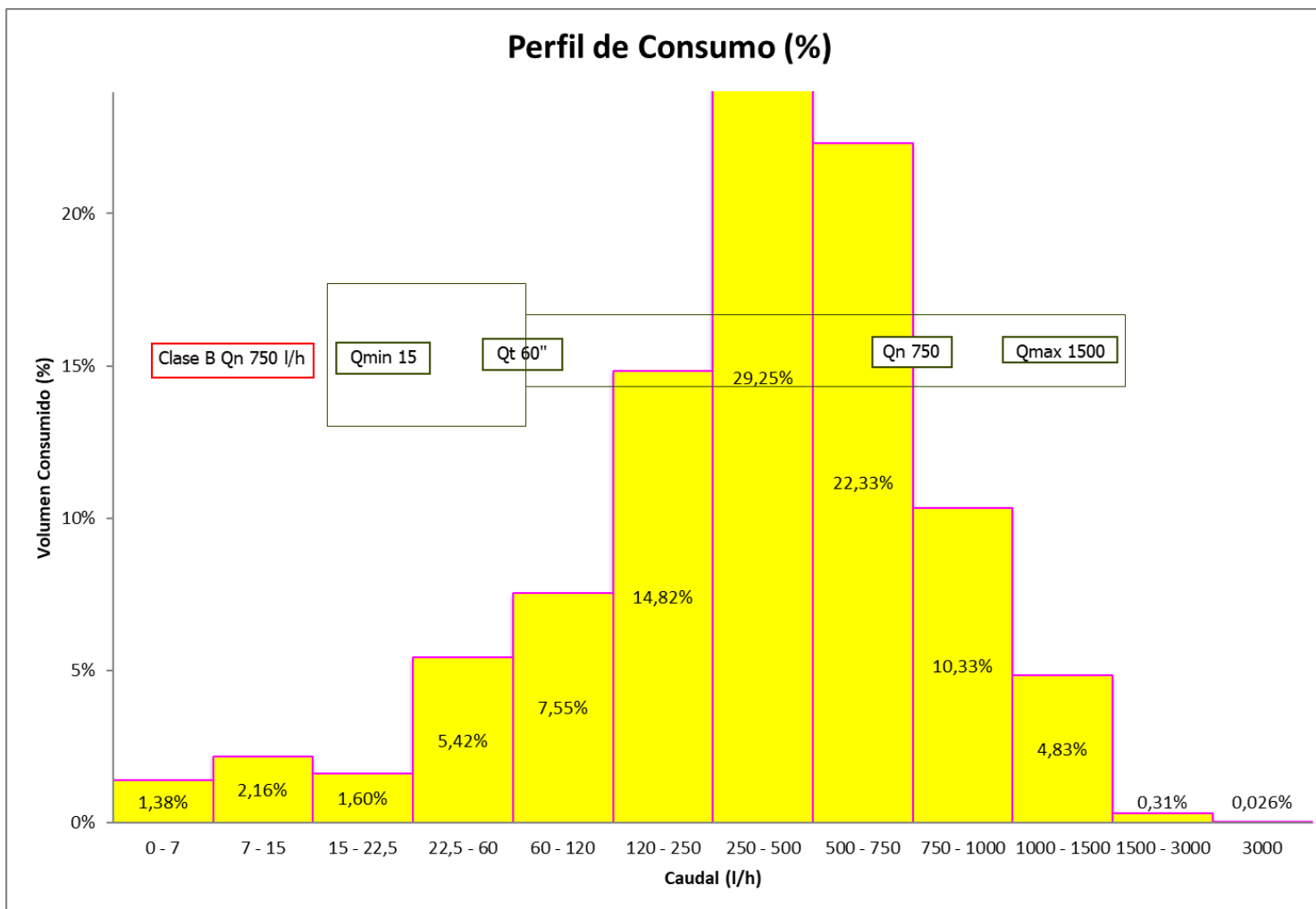


Ilustración 20. Patrón de Consumo en porcentaje

Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

3.2. DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE ERROR DE MEDICIÓN

El otro parámetro que perjudica al porcentaje de volumen registrado por un medidor, aparte del patrón de consumo, es la curva de error. La velocidad y manera en que evoluciona determinan la capacidad del aparato para medir con precisión los consumos de agua a lo largo de su vida. Ciertamente, no todas las tecnologías de los medidores toleran el mismo tipo de desgaste, inclusive para una misma tecnología se encuentran disconformidades considerables dependiendo de la fabricación y calidad de acabados. Hay que tener en consideración de igual manera los parámetros externos como la calidad del agua que pueden dañar a cualquier tipo de medidor de diferentes formas. Es por esto que es indispensable desarrollar un estudio determinado para conocer el desarrollo de la curva de error de cada tipo de medidor.

En primer lugar, es necesario elegir los caudales a los cuales se ensayarán los medidores para graficar la curva lo primero que se hace es elegir tres caudales, uno en la región superior, otro en la región del medio y finalmente uno en la región superior.

La experiencia de varios ensayos ha manifestado que es únicamente en los caudales bajos donde el grado de error de medición es más significativo puesto que, es similar a lo que sucede en el patrón de consumo, en esta zona es donde tiene que determinarse la curva de error más detalladamente. Para poder reconstruir la curva de error es fundamental comprender el caudal de arranque.

Para la estratificación del parque de medidores (Preparación del muestreo en campo) se debe tener en cuenta que los valores obtenidos son simples estimaciones.

Buscando una homogeneidad, los grupos sobre los que se desarrolla el muestreo se designan organizando a los medidores por modelo, caudal nominal y antigüedad o en volumen acumulado.

Luego de realizar la estratificación del parque de medidores se debe seleccionar una muestra aleatoria del mismo y se debe tener apuntado ciertas cosas importantes como la ubicación geográfica del medidor, las propiedades de instalación, el tipo del consumidor entre otras cosas deben quedar interpretadas por la muestra.

Luego de haber realizado la selección de los caudales que se van a ensayar y de la estratificación del parque de medidores se procede a la realización del ensayo para conocer la curva de error. Para lograr resultados seguros y precisos, el análisis de ambos parámetros debe desarrollarse adecuadamente.

Para este trabajo de investigación para llevar a cabo la exactitud de los errores de medición se utilizaron 40 medidores usados. Cabe recalcar que el patrón de consumo para nuestra investigación es el promedio del porcentaje de la Ciudad de Portoviejo y la Ciudad de Manta.

Por lo tanto, el tamaño de muestra con el cual se calculó el error metrológico de los medidores usados en el sector piloto fue 40, tamaño muestral que corresponde a un nivel de confianza del 90% y un error esperado de 10%.

En la Figura 24 se puede apreciar que se hallan dos zonas de medición, la zona inferior y la zona superior; y además los cuatro caudales característicos que se ensayaron. En la zona inferior como es de nuestro conocimiento se localizan los errores más considerables hasta llegar al caudal mínimo; el segundo caudal llamado caudal transición es el caudal que divide las dos zonas de medición, en esta zona se tiene errores máximos permitidos de error de las dos zonas. Y finalmente tenemos los caudales permanentes y los de sobrecarga que se encuentran localizados en la zona superior y los errores permitidos se mantienen estables. Esta Figura es una representación del funcionamiento de cada uno de los medidores también conocida como curva de error.

Por otra parte, como se ha señalado anteriormente es fundamental tener claro el concepto de caudal de arranque para tener una mejor perspectiva de como se originará la curva de error.

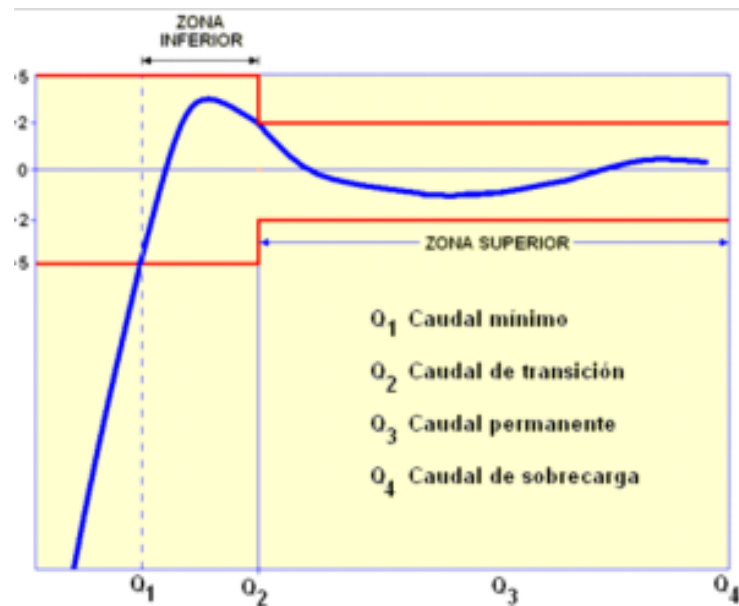


Ilustración 21. Curva de Error de un Medidor

Es importante elaborar una hoja de cálculo con algunas características del medidor donde se detallan datos necesarios como: la marca, modelo y tipo del medidor, clase metrológica, los datos del ensayo como la fecha de ingreso y de retiro de los medidores, y los rangos de los caudales de la clase metrológica que vamos a utilizar.

Para nuestro trabajo de investigación la Clase Metrológica que vamos a utilizar es la de clase B y los rangos de los caudales de la clase B son los siguientes: 3000l/h, 1500l/h, 500l/h, 250l/h, 120l/h, 60l/h y 30l/h.

Es fundamental indicar la curva de error de la clase metrológica que se estudiará ya que de eso se dependerá si se aceptan o no se aceptan los rangos de errores de medición. La Norma con la que estamos realizando el trabajo de investigación nos indica que para medidores nuevos se analiza con una tolerancia del error del 5% entre los caudales mínimos y los de transición, y una tolerancia del error del 2% entre los caudales permanentes y los de sobrecarga. La Norma también dice que para los medidores que han sido instalados y desgastados se analiza con una tolerancia del doble del error en comparación de uno que es instalado y es nuevo, en este caso se analiza con tolerancia del error del 10% entre los caudales mínimos y los de transición, y una tolerancia del error del 4% entre los caudales permanentes y los de sobrecarga.

En el anexo 3 se muestra una tabla con los valores de la tolerancia de error para la clase metrológica que utilizaremos para nuestro trabajo de investigación, ya mencionada antes la clase B, ésta nos ayudará a dibujar la gráfica de error del medidor.

Para nuestro trabajo de investigación para poder obtener resultados más confiables y precisos se trabajó con doce caudales, que son los que nos ayudarán a dibujar de la mejor manera la curva de error de cada medidor.

En la tabla 5 se puede apreciar una recopilación, donde se puede contemplar el promedio de los siete caudales de la Clase Metrológica B (Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7), con los respectivos errores permitidos de cada uno de los medidores que se ensayaron.

CLASE B						
3000 (l/h)	1500 (l/h)	500 (l/h)	250 (l/h)	120 (l/h)	60 (l/h)	30 (l/h)
-5,22	-4,31	-3,97	-4,25	-10,19	-21,37	-32,55

Tabla 5. Promedio de errores de medidores ensayados

Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

En el anexo 4 se muestra una tabla con todos los datos de errores de cada uno de los medidores ensayados.

En la Figura 25 se puede apreciar la curva de error del medidor reconstruida en función de la clase metrológica y de los datos ensayados. Luego de realizar la curva de error reconstruida, se tiene que encontrar el error medio ponderado.

En la Figura 26 se puede apreciar la tabla resumen en donde se puede ver el promedio de los caudales (Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11, Q12) con los errores de cada uno de los medidores ensayados.

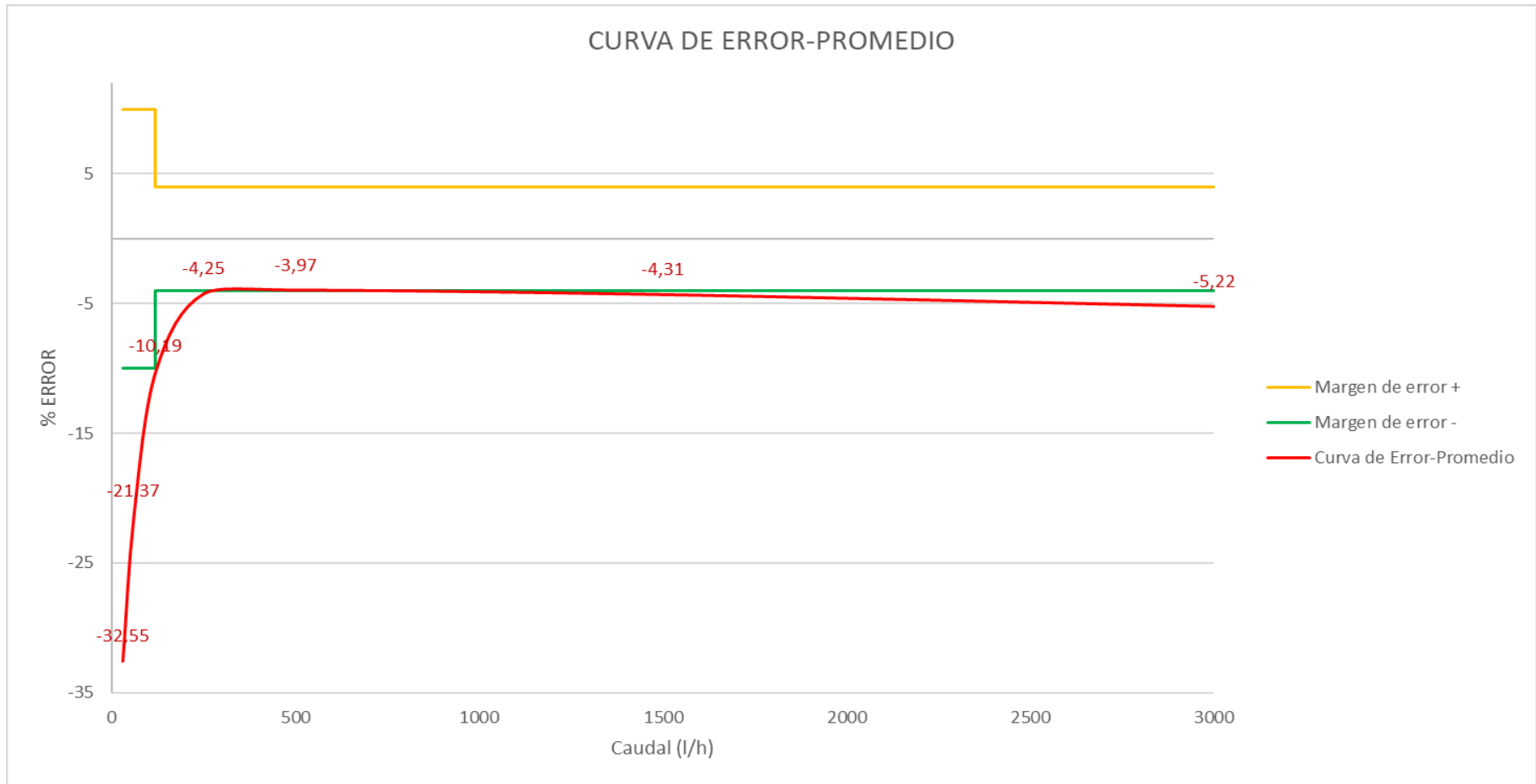


Ilustración 22. Curva de Error del Medidor Reconstruida

Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

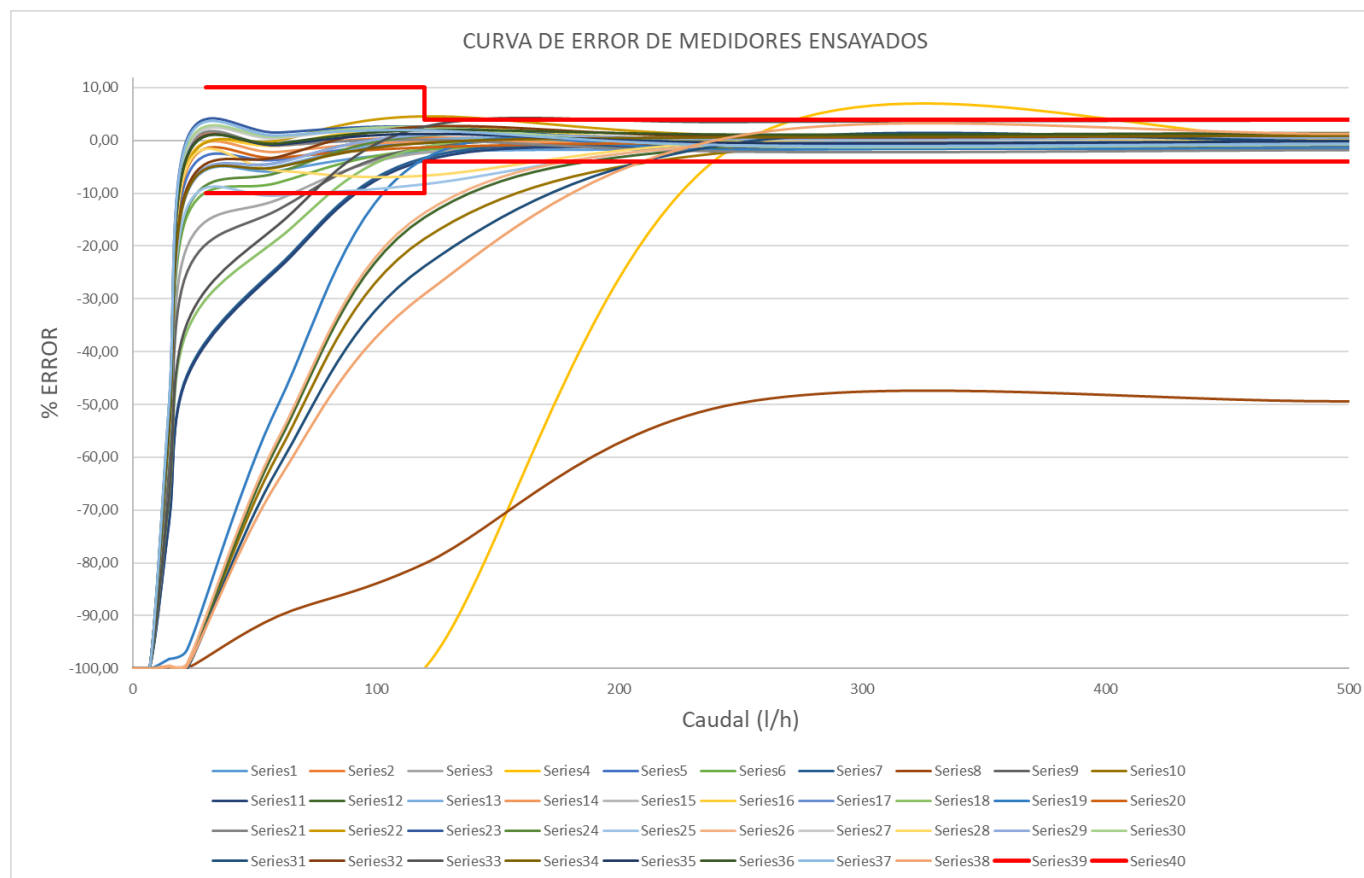


Ilustración 23. Curva de error de medidores

Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

3.3. CÁLCULO DEL ERROR MEDIO PONDERADO

Luego de haber sacado el valor del patrón de consumo de cada uno de los usuarios y de haber obtenido la curva de error de los medidores instalados, el siguiente paso es evaluar el porcentaje de consumo que registran cada uno de los medidores. Primeramente, se comienza a examinar el porcentaje del volumen registrado en un intervalo de consumo definido, con el error de medida conseguido mediante el ensayo efectuado en el laboratorio de medidores de acuerdo al intervalo de consumo.

La norma ISO 4064:2005 analiza a los medidores en función de su caudal y se encuentran cuatro clases metrológicas conocidas: Q1, Q2, Q3, Q4. El error máximo permitido que esta norma especifica es del 5%, en la zona entre el caudal de arranque y el caudal de transición y especifica el 2%, en la zona entre el caudal de transición y el caudal de sobrecarga, puesto que en esta zona la curva de error no sufre alteraciones y se mantiene constante. La norma también especifica en caso de los errores permitidos máximos, que cuando un medidor se encuentra en uso sus rangos van del $\pm 4\%$ y $\pm 10\%$, esto quiere decir, que es el doble de error máximo permitido en comparación de un medidor que es nuevo.

Para realizar el respectivo cálculo del error medio ponderado intervienen los porcentajes de consumo de cada caudal que fue ensayado en el parque de medidores y éste será multiplicado por el porcentaje de error de medición. Este método se lo realiza para cada patrón de consumo, se lo realiza de esta manera para hacerlo más organizado y así lograr resultados más exactos. La fórmula estaría de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Error Global} = & \% \text{ de consumo} * \left(\% \text{ error de } 15 \frac{l}{h} \right) + \% \text{ de consumo} \\ & * \left(\% \text{ error de } 30 \frac{l}{h} \right) + \% \text{ de consumo} * \left(\% \text{ error de } 60 \frac{l}{h} \right) \\ & + \% \text{ de consumo} * \left(\% \text{ error de } 120 \frac{l}{h} \right) + \% \text{ de consumo} \\ & * \left(\% \text{ error de } 1500 \frac{l}{h} \right) \end{aligned}$$

Conforme con lo que requiere la Norma ISO 4064:1993, los caudales que serán ensayados son los siguientes: 15 l/h, 30 l/h, 60 l/h, 120 l/h y 1500 l/h.

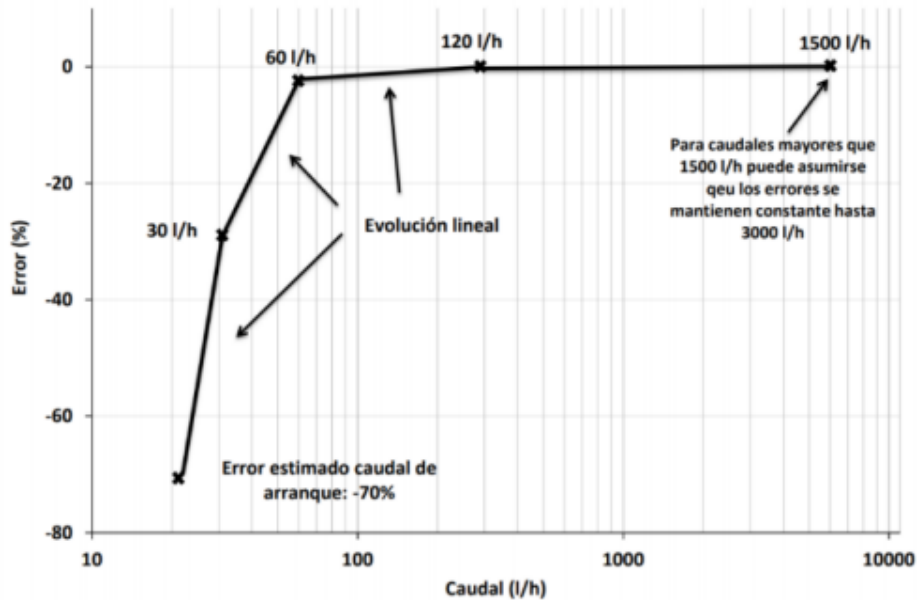


Ilustración 24. Curva de error reconstruida

Fuente: (Arregui de la Cruz, Cabrera, & Cobacho, Gestión Integral de Contadores de Agua, 2007)

De acuerdo con esta norma, la ponderación se llevaría a cabo mediante la multiplicación de los porcentajes de consumo de cada uno de los rangos y por el error de medición del mismo.

Después de adquirir información de numerosos estudios efectuados por medio de este sistema logramos asegurar que el error de medida en viviendas que tenían un alto grado de fugas es notablemente superior que en las tipologías que tienen un porcentaje menor de consumo en intervalos inferiores.

En base a ciertas investigaciones se puede admitir que la mayoría del gasto de agua a caudales bajos se examina con un grado de error idéntico al que muestra el medidor de 30 l/h es erróneo, debido a que ya mencionado anteriormente el rango de los caudales bajos, el error no es permanente para todos. Es por esto que se plantea un método de análisis, que en el estudio de nuestra investigación se planteará en base a los siguientes argumentos:

- En relación a la curva de error

El caudal de arranque tiene un error de medición del 70%.

Para caudales mayores que 1500 l/h se asume que la curva es constante.

El crecimiento es rectilíneo cuando se encuentran caudales con valores de error semejantes.

- En relación al patrón de consumo

En los diferentes rangos de caudales el consumo agua no está distribuido igualmente.

- En relación al error de medición global

El volumen consumido en cada rango del patrón de consumo se registra con el error al caudal medio del mismo, obtenido de la reconstrucción de la curva de error.

3.4. AJUSTE DE DATOS MEDIANTE TECNICAS DE EXTRAPOLACIÓN ESTADÍSTICA

Como último paso en este trabajo de investigación se realizará una correlación entre el volumen registrado y la precisión del medidor; y se debe verificar si existe una función que se ajuste a los datos mediante técnicas de extrapolación estadística y/o matemática para construir las curvas buscadas.

Puesto que todos los medidores tienen una edad de 12 años, no se puede hacer una relación entre edad y error, entonces lo que se procederá hacer es conocer el volumen total acumulado que ha medido cada uno de los medidores y para hacer eso se deberá leer desde el dial de cada uno de ellos, y se anota en una hoja de registro el volumen total acumulado medido por cada uno de los medidores.

Los valores del volumen total acumulado es el volumen registrado de cada medidor a lo largo de su vida útil que como fue mencionado anteriormente es de 12 años

En el Anexo 6 se puede apreciar una tabla en la que se detalla el modelo de cada uno de los medidores junto con el volumen registrado y el error medio ponderado, esto servirá para hacer una correlación entre el volumen registrado por el medidor y la precisión del medidor.

Para poder obtener el cálculo de una manera más ordenada, se procederá a realizarlo en tres pasos que se detallarán a continuación:

✓ Primer Paso

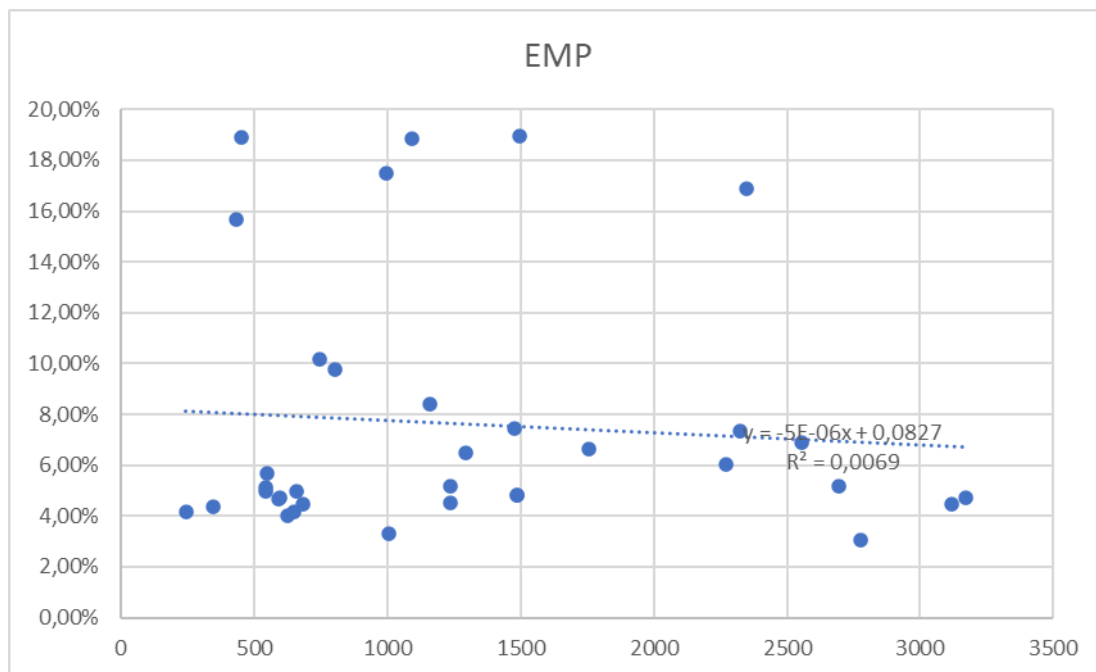


Ilustración 25. Ajuste de datos mediante técnicas de extrapolación estadística (Paso 1)

Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

En base a la tabla del anexo 7 se procedió a realizar la gráfica de dispersión relacionando el volumen registrado de cada medidor vs su precisión de medida. Cabe recalcar que para realizar la gráfica se eliminaron datos atípicos los cuales representan a medidores que, por su alto porcentaje de error sesgan la función de tendencia.

✓ Segundo Paso

Se procedió a agrupar los volúmenes registrados en 7 rangos como se puede apreciar en la tabla 6, y con ellos se realizó un promedio del error medio ponderado para cada rango para estimar una gráfica de tendencia como se puede apreciar en la Figura 29. Cabe recalcar que para realizar esta gráfica si se utilizaron todos los datos.

Rango de Volumen Total Acumulado (m3)	Promedio de Error Medio Ponderado (%)
0 - 500	28,62%
500 - 1000	6,69%
1000 - 1500	8,27%
1500 - 2000	34,07%
2000 - 2500	10,07%
2500 - 3000	4,11%
3000 - 3500	4,61%

Tabla 6. Ajuste de datos mediante técnicas de extrapolación estadística (Paso 2)

Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

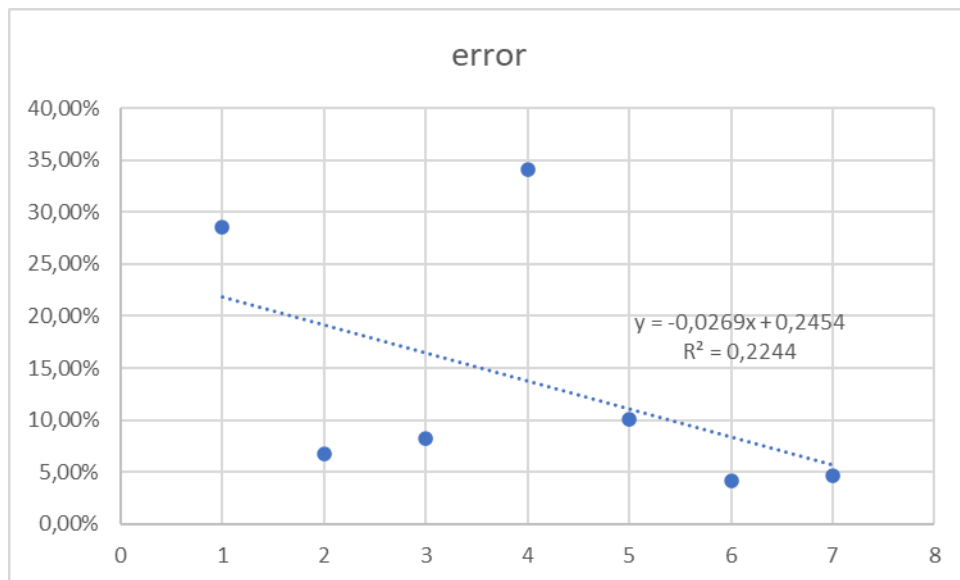


Ilustración 26. Ajuste de datos mediante técnicas de extrapolación estadística (Paso 2)

Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

✓ Tercer Paso

Muy parecido al paso anterior se procede a realizar una tabla, pero esta solamente con 5 rangos como se puede apreciar en la tabla 9, para el cálculo del error lo que se procedió hacer es de la tabla del Anexo 6 se seleccionaron los datos que tenían un error medio ponderado de 10% puesto que este porcentaje es el que lo estipula la Norma ISO 4064:1993 y nos ayudará a que nuestros datos se ajusten y se logre encontrar la curva deseada. En el Anexo 9 se muestra la tabla de los datos que se

escogieron para el respectivo cálculo y en la Figura 30 se puede apreciar la curva ajustada junto con su función.

Rango de Volumen Total Acumulado (m3)	Promedio de Error Medio Ponderado (%)
0 - 500	4,29%
500 - 1000	5,26%
1000 - 1500	5,61%
1500 - 2000	6,65%
2000 - 2500	6,68%
2500 - 3000	
3000 - 3500	

Tabla 7. Ajuste de datos mediante técnicas de extrapolación estadística (Paso3)

Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

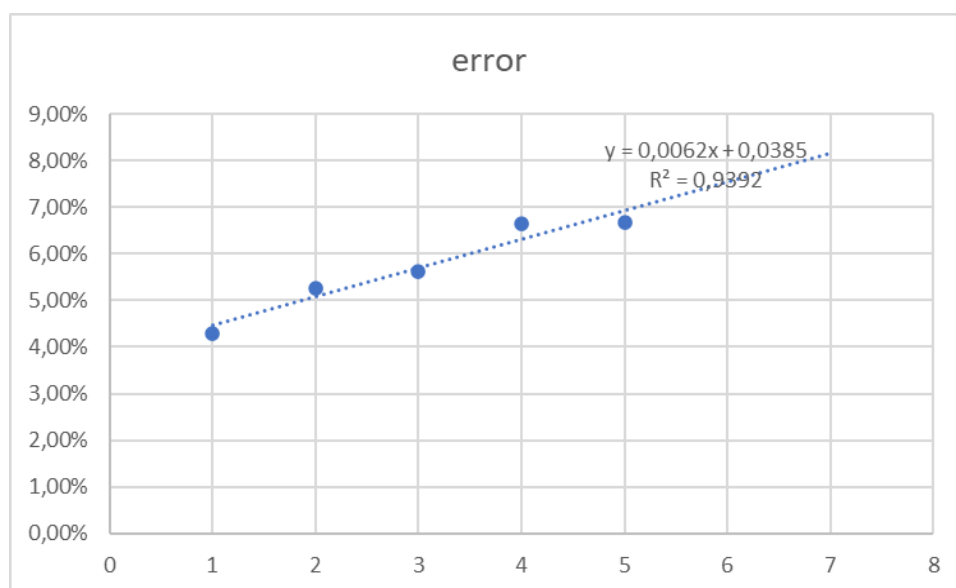


Ilustración 27. Ajuste de datos mediante técnicas de extrapolación estadística (Paso 3)

Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

Finalmente se realiza una tabla con los volúmenes registrados y se determina la edad en años de cada uno de ellos en función del volumen registrado de los medidores, cabe recalcar que para lograr ajustar la curva deseada se registraron 28 de los 38 equipos que esto equivaldría a un porcentaje de 73,68%. Es importante mencionar

que 10 m³/ mes es el consumo promedio de los medidores de Jipijapa. En la tabla se muestra el resumen de los resultados obtenidos.

Rango de Volumen Total Acumulado (m3)	Promedio de Error Medio Ponderado (%)	Consumo m ³ / mes	meses	años
500	4,29%	10	50	4,2
1000	5,26%	10	100	8,3
1500	5,61%	10	150	12,5
2000	6,65%	10	200	16,7
2500	6,68%	10	250	20,8

Tabla 8. Vida útil de los medidores en función del volumen acumulado y de la precisión del medidor

Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

Error de Medición Global												
(Litros/hora)	Caudal < 15		Caudal Mínimo	Caudal Transición		Caudal Nominal					Caudal Máximo	
	0 l/h	7,5 l/h	15 l/h	30 l/h	60 l/h	120 l/h	250 l/h	500 l/h	750 l/h	1000 l/h	1500 l/h	3000 l/h
%Consumo	1,380%	2,160%	1,600%	5,420%	7,550%	14,820%	29,250%	22,330%	10,330%	4,830%	0,310%	0,026%
Error de Medición	-100,00	-100,00	-66,28	-32,55	-21,37	-10,19	-4,25	-3,97	-3,68	-3,40	-4,31	-5,22
Impacto de Medición	-1,380	-2,160	-1,060	-1,764	-1,614	-1,511	-1,244	-0,886	-0,381	-0,164	-0,013	-0,001
Error Global												-12,18%

Tabla 9. Resumen de Error de Medición Global

Fuente: Ángel Cedeño Barrionuevo

CONCLUSIONES

- Se puede concluir en este trabajo de investigación que tanto la precisión en función de la edad como en función del volumen medido acumulado será la misma puesto que todos los medidores ensayados tienen la misma edad (12 años) y la misma marca (Iberconta).
- De acuerdo a este análisis basándonos en la precisión de nuestros equipos y en base a la clase metrológica seleccionada (Clase B), se determinó el caudal en que tiene menos error de medición será 1000 l/h con un error de medición de -3,40% y con un impacto de medición de -0,013 y que el caudal con mayor error de medición será el 15 l/h con un error de medición de -66,28% y con un impacto de medición de -1,060.
- El porcentaje de consumo de los usuarios fue mayor en el rango de 250 – 500 (l/h) con un porcentaje de 29,250%, esto quiere decir que en ese rango la presión de agua es mayor y finalmente el error global obtenido mediante la multiplicación entre el porcentaje de consumo y el error de medición fue de -12,18%, esto quiere decir que la empresa está des facturando el 12,18% y que sólo está facturando el 87,82%.
- Mediante técnicas de extrapolación podemos concluir que la vida útil de los medidores de Jipijapa es de 12,5 años, los cuales han sobrepasado la vida útil recomendada que es de 5 años.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una segmentación por marca y por edad con el objetivo de identificar instrumentos de medición óptimo para la empresa prestadora de servicio de aguas.
- Se recomienda realizar un tipo de peritaje puesto que algunos medidores extraídos pudieron haber sido manipulados y por ende alterarían la precisión del medidor.
- Se recomienda hacer un estudio de precisión de medidores cada año, para identificar medidores que tengan un error alto ya que esto puede conllevar a problemas en el registro de facturación y por ende pérdidas a la empresa que suministra el servicio de agua.

REFERENCIAS

- Arregui de la Cruz, F., Cabrera, E., & Cobacho, R. (2007). Gestión Integral de Contadores de Agua. Valencia: IWA Publishing.
- Arregui de la Cruz, F., Cabrera, E., & Cobacho, R. (2007). Gestión Integral de Contadores de Agua. En F. Arregui de la Cruz, C. Enrique, & C. Ricardo, Contadores de Agua (págs. 5-77). Valencia: IWA Publishing.
- Arregui de la Cruz, F., Cabrera, E., & Cobacho, R. (2007). Gestión Integral de Contadores de Agua. En F. Arregui de la Cruz, E. Cabrera, & R. Cobacho, Cálculo del error de medición del parque de contadores (págs. 173-218). Valencia: IWA Publishing.
- Arregui de la Cruz, F., Cabrera, E., & Cobacho, R. (2007). Gestión Integral de Contadores de Agua . En F. Arregui de la Cruz, E. Cabrera, & R. Cobacho, Ensayos de Contadores (págs. 257-286). Valencia: IWA Publishing.
- Costa, H., Michellin, D., & Moreira, R. (2013). Itron Water Book. Sao Paulo: LAM.
- Durando, M. (24 de Mayo de 2018). OPEN. Obtenido de <https://www.openintl.com/es/perdidas-de-agua-otra-forma-de-llamar-la-ineficiencia-operativa/>
- Escandon, V., & Sierra, B. (2018). Calibración de Medidores de Agua Potable. Cartagena .
- Gavara, F. (2016). Análisis de la degradación del error global en contadores de agua. Valencia : FACSA.
- GIZ, & VAG. (2011). Guía para la reducción de las pérdidas de agua . En D. Ziegler, Introducción a la reducción de pérdidas de agua (págs. 29-44). Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit .

- GIZ, & VAG. (2011). Guía para la reducción de las pérdidas del agua. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.
- Goldberg, L. (23 de Julio de 2020). Servicios Infoleg. Obtenido de <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/340000-344999/342584/res402.pdf>
- Kotian, M. (5 de Octubre de 2020). The Constructor . Obtenido de <https://theconstructor.org/environmental-engg/water-supply/detect-leakage-distribution-pipes/80470/>
- Machecha, J. (2013). Caracterización de las pérdidas hidráulicas y financieras del parque de medidores en el área urbana de la ciudad de Tunja. Pereira.
- Maldonado, G. (2018). OTASS. Obtenido de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/885982/Importancia_de_la_micromedici%C3%B3n.pdf
- Molina, X. (2017). Determinación del perfil de consumo & Estimación de la precisión del parque de medidores de agua potable de un sector piloto la red de distribución de agua potable en la zona abastecida desde el tanque U.T.M. del cantón Portoviejo. Portoviejo.
- Nourhan, S. (1 de Agosto de 2017). Science Direct. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016817302363>
- Thomas, L. (28 de Agosto de 2020). Scribbr. Obtenido de <https://www.scribbr.com/methodology/simple-random-sampling/>

ANEXOS

Anexo 1: Datos del ensayo y medidor

MARCA	MODELO	TIPO	CLASE	MEDIDOR	FECHA ENSAYO	EDAD (AÑOS)
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710570	15-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710415	15-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N650748	15-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710480	15-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710481	15-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710600	15-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710673	16-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710665	16-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710736	16-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710678	16-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710421	16-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N652787	16-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710702	21-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N709671	21-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N651079	21-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710578	21-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710682	21-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N651611	21-jul.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N651611	11-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N650744	11-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710412	11-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710422	11-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710569	11-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710646	11-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710805	12-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710482	12-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N709690	12-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710566	12-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N651950	12-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N651103	12-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710779	13-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N651078	13-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710689	13-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N651914	13-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N709689	13-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A09N902359	13-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N709675	16-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710731	16-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N651916	16-ago.-21	12
IBERCONTA	CHORRO MULTIPLE	VELOCIDAD	B	A08N710487	16-ago.-21	12

Anexo 3: Margen de Error de Clase Metrológica Tipo B

Clase B	3000 (l/h)	1500 (l/h)	150 (l/h)	120 (l/h)	30 (l/h)
Errores permitidos para medidores nuevos	2	2	2	5	5
	-2	-2	-2	-5	-5
Errores permitidos para medidores usados	4	4	4	10	10
	-4	-4	-4	-10	-10

Anexo 4: Datos de error de cada medidor ensayado

CLASE B											
>3000	3000 (l/h)	1500 (l/h)	1000 (l/h)	750 (l/h)	500 (l/h)	250 (l/h)	120 (l/h)	60 (l/h)	22,5 (l/h)	15 (l/h)	7 (l/h)
3000 (l/h)	1500 (l/h)	1000 (l/h)	750 (l/h)	500 (l/h)	250 (l/h)	120 (l/h)	60 (l/h)	22,5 (l/h)	15 (l/h)	7 (l/h)	0 (l/h)
-1,64	-1,23	-0,82	-1,11	-1,40	-1,69	-2,28	-5,74	-9,20	-54,60	-100,00	-100,00
-0,72	-0,18	0,36	0,07	-0,22	-0,51	0,50	-1,00	-2,50	-51,25	-100,00	-100,00
-2,04	-1,20	-0,36	-0,66	-0,95	-1,24	-2,28	-11,14	-20,00	-60,00	-100,00	-100,00
-0,84	-0,19	0,47	0,18	-0,11	-0,40	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00
-0,82	-0,13	0,56	0,26	-0,03	-0,32	-0,50	-3,65	-6,80	-53,40	-100,00	-100,00
-0,61	-0,30	0,01	-0,28	-0,57	-0,87	-1,78	-7,99	-14,20	-57,10	-100,00	-100,00
-0,83	-0,38	0,06	-0,23	-0,52	-0,81	-3,27	-23,78	-44,30	-72,15	-100,00	-100,00
-96,79	-72,84	-48,88	-49,18	-49,47	-49,76	-80,20	-90,10	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00
0,22	0,54	0,86	0,57	0,27	-0,02	-1,29	-13,03	-24,78	-62,39	-100,00	-100,00
-2,05	-1,58	-1,10	-1,39	-1,69	-1,98	-18,61	-59,21	-99,80	-99,90	-100,00	-100,00
-1,29	-0,81	-0,34	-0,63	-0,92	-1,21	-3,76	-24,26	-44,76	-72,38	-100,00	-100,00
-0,80	-0,44	-0,09	-0,38	-0,67	-0,97	-14,55	-57,23	-99,90	-99,95	-100,00	-100,00
0,42	0,77	1,13	0,84	0,55	0,25	0,10	-4,90	-9,89	-54,95	-100,00	-100,00
-0,49	-0,07	0,35	0,06	-0,24	-0,53	-0,20	-2,15	-4,10	-52,05	-100,00	-100,00
-79,97	-89,96	-99,95	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00
-0,92	-0,07	0,77	0,48	0,19	-0,10	2,57	-0,81	-4,20	-52,10	-100,00	-100,00
-0,48	0,32	1,13	0,83	0,54	0,25	1,09	-4,16	-9,40	-54,70	-100,00	-100,00
-1,03	-0,37	0,29	0,00	-0,30	-0,59	-1,19	-18,59	-36,00	-68,00	-100,00	-100,00
-2,74	-1,83	-0,92	-1,22	-1,51	-1,80	-3,47	-49,88	-96,30	-98,15	-100,00	-100,00
-0,59	-0,02	0,55	0,25	-0,04	-0,33	-1,29	-3,24	-5,20	-52,60	-100,00	-100,00
-2,22	-1,69	-1,16	-1,45	-1,74	-2,03	0,20	-0,85	-1,90	-50,95	-100,00	-100,00

0,57	1,24	1,91	1,62	1,32	1,03	4,65	0,08	-4,50	-52,25	-100,00	-100,00
-1,01	-0,34	0,32	0,03	-0,26	-0,55	2,57	1,49	0,40	-49,80	-100,00	-100,00
0,01	0,58	1,14	0,85	0,56	0,27	0,99	-6,00	-13,00	-56,50	-100,00	-100,00
-0,82	-0,26	0,30	0,01	-0,29	-0,58	-8,22	-10,36	-12,50	-56,25	-100,00	-100,00
-0,79	-0,15	0,48	0,19	-0,10	-0,40	-13,66	-56,33	-99,00	-99,50	-100,00	-100,00
-1,47	-0,79	-0,10	-0,39	-0,68	-0,98	2,48	0,49	-1,50	-50,75	-100,00	-100,00
-0,23	0,22	0,68	0,39	0,10	-0,20	-6,63	-5,72	-4,80	-52,40	-100,00	-100,00
-0,18	0,46	1,10	0,81	0,51	0,22	0,99	-4,30	-9,60	-54,80	-100,00	-100,00
-1,40	-0,77	-0,13	-0,43	-0,72	-1,01	2,58	0,79	-1,00	-50,50	-100,00	-100,00
-0,67	-0,11	0,45	0,15	-0,14	-0,43	-23,89	-61,94	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00
-0,69	0,39	1,48	1,19	0,90	0,60	2,58	-3,16	-8,90	-54,45	-100,00	-100,00
3,65	4,00	4,35	4,05	3,76	3,47	2,58	-15,96	-34,50	-67,25	-100,00	-100,00
1,05	1,31	1,56	1,27	0,98	0,69	-0,40	-4,95	-9,50	-54,75	-100,00	-100,00
-1,01	-0,27	0,47	0,17	-0,12	-0,41	1,29	-0,75	-2,80	-51,40	-100,00	-100,00
1,18	1,61	2,04	1,74	1,45	1,16	1,99	-0,50	-3,00	-51,50	-100,00	-100,00
-1,46	-0,73	0,00	-0,29	-0,58	-0,88	1,99	1,00	0,00	-50,00	-100,00	-100,00
1,09	1,49	1,90	1,61	1,31	1,02	-29,05	-64,28	-99,50	-99,75	-100,00	-100,00
Medidores dañados											

-5,22	-4,31	-3,40	-3,68	-3,97	-4,25	-10,19	-21,37	-32,55	-66,28	-100,00	-100,00
-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	---------	---------

Anexo 5: Datos de error medio ponderado de cada medidor ensayado

ERROR MEDIO PONDERADO												EMP (%)
3000 (l/h)	1500 – 3000 (l/h)	1000 – 1500 (l/h)	750 – 1000 (l/h)	500 – 750 (l/h)	250 – 500 (l/h)	120 – 250 (l/h)	60 – 120 (l/h)	22,5 – 60 (l/h)	15 - 22,5 (l/h)	7 – 15 (l/h)	0 – 7 (l/h)	
-0,0004	-0,0038	-0,0394	-0,1144	-0,3127	-0,4951	-0,3375	-0,4333	-0,4986	-0,8736	-2,1600	-1,3800	-6,65%
-0,0002	-0,0005	0,0175	0,0073	-0,0495	-0,1504	0,0734	-0,0757	-0,1355	-0,8200	-2,1600	-1,3800	-4,67%
-0,0005	-0,0037	-0,0175	-0,0677	-0,2116	-0,3627	-0,3375	-0,8410	-1,0840	-0,9600	-2,1600	-1,3800	-7,43%
-0,0002	-0,0006	0,0228	0,0186	-0,0251	-0,1184	-14,8200	-7,5500	-5,4200	-1,6000	-2,1600	-1,3800	-33,03%
-0,0002	-0,0004	0,0269	0,0273	-0,0062	-0,0936	-0,0734	-0,2754	-0,3686	-0,8544	-2,1600	-1,3800	-5,16%
-0,0002	-0,0009	0,0005	-0,0292	-0,1283	-0,2536	-0,2641	-0,6033	-0,7696	-0,9136	-2,1600	-1,3800	-6,50%
-0,0002	-0,0012	0,0031	-0,0235	-0,1161	-0,2376	-0,4842	-1,7957	-2,4011	-1,1544	-2,1600	-1,3800	-9,75%
-0,0252	-0,2258	-2,3611	-5,0799	-11,0462	-14,5549	-11,8853	-6,8025	-5,4200	-1,6000	-2,1600	-1,3800	-62,54%
0,0001	0,0017	0,0415	0,0585	0,0612	-0,0054	-0,1908	-0,9839	-1,3428	-0,9982	-2,1600	-1,3800	-6,90%
-0,0005	-0,0049	-0,0532	-0,1440	-0,3766	-0,5788	-2,7586	-4,4701	-5,4092	-1,5984	-2,1600	-1,3800	-18,93%
-0,0003	-0,0025	-0,0163	-0,0651	-0,2059	-0,3552	-0,5576	-1,8315	-2,4257	-1,1580	-2,1600	-1,3800	-10,16%
-0,0002	-0,0014	-0,0043	-0,0394	-0,1505	-0,2827	-2,1570	-4,3207	-5,4146	-1,5992	-2,1600	-1,3800	-17,51%
0,0001	0,0024	0,0547	0,0867	0,1221	0,0744	0,0147	-0,3696	-0,5360	-0,8791	-2,1600	-1,3800	-4,97%
-0,0001	-0,0002	0,0168	0,0057	-0,0530	-0,1549	-0,0293	-0,1621	-0,2220	-0,8328	-2,1600	-1,3800	-4,97%
-0,0208	-0,2789	-4,8276	-10,3300	-22,3300	-29,2500	-14,8200	-7,5500	-5,4200	-1,6000	-2,1600	-1,3800	-99,97%
-0,0002	-0,0002	0,0374	0,0498	0,0424	-0,0300	0,3815	-0,0614	-0,2276	-0,8336	-2,1600	-1,3800	-4,18%
-0,0001	0,0010	0,0544	0,0862	0,1211	0,0731	0,1614	-0,3137	-0,5095	-0,8752	-2,1600	-1,3800	-4,74%
-0,0003	-0,0011	0,0139	-0,0005	-0,0663	-0,1723	-0,1761	-1,4039	-1,9512	-1,0880	-2,1600	-1,3800	-8,39%
-0,0007	-0,0057	-0,0446	-0,1256	-0,3368	-0,5267	-0,5136	-3,7661	-5,2195	-1,5704	-2,1600	-1,3800	-15,65%
-0,0002	-0,0001	0,0264	0,0262	-0,0086	-0,0968	-0,1908	-0,2449	-0,2818	-0,8416	-2,1600	-1,3800	-5,15%
-0,0006	-0,0052	-0,0559	-0,1497	-0,3889	-0,5949	0,0293	-0,0642	-0,1030	-0,8152	-2,1600	-1,3800	-5,69%
0,0001	0,0038	0,0921	0,1669	0,2954	0,3014	0,6896	0,0058	-0,2439	-0,8360	-2,1600	-1,3800	-3,06%
-0,0003	-0,0011	0,0156	0,0032	-0,0585	-0,1621	0,3815	0,1123	0,0217	-0,7968	-2,1600	-1,3800	-4,02%
0,0000	0,0018	0,0552	0,0878	0,1246	0,0777	0,1467	-0,4534	-0,7046	-0,9040	-2,1600	-1,3800	-5,11%
-0,0002	-0,0008	0,0144	0,0006	-0,0640	-0,1693	-1,2179	-0,7821	-0,6775	-0,9000	-2,1600	-1,3800	-7,34%

-0,0002	-0,0005	0,0233	0,0196	-0,0230	-0,1156	-2,0249	-4,2530	-5,3658	-1,5920	-2,1600	-1,3800	-16,87%
-0,0004	-0,0024	-0,0048	-0,0405	-0,1527	-0,2856	0,3668	0,0368	-0,0813	-0,8120	-2,1600	-1,3800	-4,52%
-0,0001	0,0007	0,0329	0,0401	0,0214	-0,0575	-0,9831	-0,4316	-0,2602	-0,8384	-2,1600	-1,3800	-6,02%
0,0000	0,0014	0,0530	0,0832	0,1146	0,0646	0,1469	-0,3250	-0,5203	-0,8768	-2,1600	-1,3800	-4,80%
-0,0004	-0,0024	-0,0065	-0,0441	-0,1605	-0,2958	0,3819	0,0595	-0,0542	-0,8080	-2,1600	-1,3800	-4,47%
-0,0002	-0,0003	0,0216	0,0160	-0,0307	-0,1258	-3,5398	-4,6767	-5,4200	-1,6000	-2,1600	-1,3800	-18,90%
-0,0002	0,0012	0,0715	0,1227	0,2000	0,1765	0,3819	-0,2387	-0,4824	-0,8712	-2,1600	-1,3800	-4,18%
0,0009	0,0124	0,2099	0,4188	0,8401	1,0149	0,3819	-1,2051	-1,8699	-1,0760	-2,1600	-1,3800	-4,81%
0,0003	0,0040	0,0756	0,1314	0,2189	0,2012	-0,0588	-0,3736	-0,5149	-0,8760	-2,1600	-1,3800	-4,73%
-0,0003	-0,0008	0,0226	0,0180	-0,0263	-0,1199	0,1917	-0,0569	-0,1518	-0,8224	-2,1600	-1,3800	-4,49%
0,0003	0,0050	0,0984	0,1802	0,3242	0,3392	0,2949	-0,0381	-0,1626	-0,8240	-2,1600	-1,3800	-3,32%
-0,0004	-0,0023	0,0000	-0,0302	-0,1306	-0,2565	0,2949	0,0751	0,0000	-0,8000	-2,1600	-1,3800	-4,39%
0,0003	0,0046	0,0917	0,1658	0,2932	0,2985	-4,3059	-4,8529	-5,3929	-1,5960	-2,1600	-1,3800	-18,83%
-0,0014	-0,0134	-0,1641	-0,3806	-0,8863	-1,2442	-1,5107	-1,6136	-1,7642	-1,0604	-2,1600	-1,3800	-12,18%

Anexo 6: Datos de volumen registrado y error de cada medidor

MEDIDOR	VOLUMEN MEDIDO ACUMULADO (m ³)	EMP (%)
A08N710570	1756,388	6,65%
A08N710415	590,57	4,67%
A08N650748	1478,172	7,43%
A08N710480	1680,608	33,03%
A08N710481	2694,116	5,16%
A08N710600	1295,062	6,50%
A08N710673	801,319	9,75%
A08N710665	1559,872	62,54%
A08N710736	2554,334	6,90%
A08N710678	1497,186	18,93%
A08N710421	746,988	10,16%
A08N652787	995,081	17,51%
A08N710702	543,211	4,97%
A08N709671	661,441	4,97%
A08N651079	34,88	99,97%
A08N710578	245,044	4,18%
A08N710682	596,44	4,74%
A08N651077	1158,191	8,39%
A08N651611	431,051	15,65%
A08N650744	1235,828	5,15%
A08N710412	547,56	5,69%
A08N710422	2775,492	3,06%
A08N710569	625,68	4,02%
A08N710646	542,031	5,11%
A08N710805	2326,112	7,34%
A08N710482	2349,303	16,87%
A08N709690	1237,019	4,52%
A08N710566	2269,093	6,02%
A08N651950	1487,531	4,80%
A08N651103	681,411	4,47%
A08N710779	450,52	18,90%
A08N651078	647,43	4,18%
A08N710689	1486,681	4,81%
A08N651914	3173,046	4,73%
A08N709689	3115,921	4,49%
A09N902359	1006,854	3,32%
A08N709675	347,015	4,39%
A08N710731	1093,153	18,83%
A08N651916	Dañado vidrio	
A08N710487	Dañado vidrio	12,18%

Anexo 7: Tabla de ajuste de datos mediante técnicas de extrapolación estadística

(Paso 1)

MEDIDOR	VOLUMEN MEDIDO ACUMULADO (m ³)	EMP (%)
A08N710570	1756,388	6,65%
A08N710415	590,57	4,67%
A08N650748	1478,172	7,43%
A08N710480		
A08N710481	2694,116	5,16%
A08N710600	1295,062	6,50%
A08N710673	801,319	9,75%
A08N710665		
A08N710736	2554,334	6,90%
A08N710678	1497,186	18,93%
A08N710421	746,988	10,16%
A08N652787	995,081	17,51%
A08N710702	543,211	4,97%
A08N709671	661,441	4,97%
A08N651079		
A08N710578	245,044	4,18%
A08N710682	596,44	4,74%
A08N651077	1158,191	8,39%
A08N651611	431,051	15,65%
A08N650744	1235,828	5,15%
A08N710412	547,56	5,69%
A08N710422	2775,492	3,06%
A08N710569	625,68	4,02%
A08N710646	542,031	5,11%
A08N710805	2326,112	7,34%
A08N710482	2349,303	16,87%
A08N709690	1237,019	4,52%
A08N710566	2269,093	6,02%
A08N651950	1487,531	4,80%
A08N651103	681,411	4,47%
A08N710779	450,52	18,90%
A08N651078	647,43	4,18%
A08N710689	1486,681	4,81%
A08N651914	3173,046	4,73%
A08N709689	3115,921	4,49%
A09N902359	1006,854	3,32%
A08N709675	347,015	4,39%
A08N710731	1093,153	18,83%
A08N651916	Dañado vidrio	
A08N710487	Dañado vidrio	12,18%

Anexo 8: Tabla de ajuste de datos mediante técnicas de extrapolación estadística
(Paso 2)

MEDIDOR	VOLUMEN MEDIDO ACUMULADO (m ³)	EMP (%)	Promedio (%)
A08N651079	34,88	99,97%	28,62%
A08N710578	245,044	4,18%	
A08N709675	347,015	4,39%	
A08N651611	431,051	15,65%	
A08N710779	450,52	18,90%	
A08N710646	542,031	5,11%	6,69%
A08N710702	543,211	4,97%	
A08N710412	547,56	5,69%	
A08N710415	590,57	4,67%	
A08N710682	596,44	4,74%	
A08N710569	625,68	4,02%	
A08N651078	647,43	4,18%	
A08N709671	661,441	4,97%	
A08N651103	681,411	4,47%	
A08N710421	746,988	10,16%	
A08N710673	801,319	9,75%	
A08N652787	995,081	17,51%	
A09N902359	1006,854	3,32%	
A08N710731	1093,153	18,83%	
A08N651077	1158,191	8,39%	
A08N650744	1235,828	5,15%	
A08N709690	1237,019	4,52%	
A08N710600	1295,062	6,50%	
A08N650748	1478,172	7,43%	
A08N710689	1486,681	4,81%	
A08N651950	1487,531	4,80%	
A08N710678	1497,186	18,93%	
A08N710665	1559,872	62,54%	34,07%
A08N710480	1680,608	33,03%	
A08N710570	1756,388	6,65%	
A08N710566	2269,093	6,02%	10,07%
A08N710805	2326,112	7,34%	
A08N710482	2349,303	16,87%	
A08N710736	2554,334	6,90%	
A08N710481	2694,116	5,16%	4,11%
A08N710422	2775,492	3,06%	4,61%
A08N709689	3115,921	4,49%	
A08N651914	3173,046	4,73%	
A08N651916	Dañado vidrio		
A08N710487	Dañado vidrio	12,18%	

Anexo 9: Tabla de ajuste de datos mediante técnicas de extrapolación estadística
(Paso 3)

MEDIDOR	VOLUMEN MEDIDO ACUMULADO (m ³)	EMP (%)	Promedio (%)
A08N651079	34,88		4,29%
A08N710578	245,044	4,18%	
A08N709675	347,015	4,39%	
A08N651611	431,051		
A08N710779	450,52		
A08N710646	542,031	5,11%	5,26%
A08N710702	543,211	4,97%	
A08N710412	547,56	5,69%	
A08N710415	590,57	4,67%	
A08N710682	596,44	4,74%	
A08N710569	625,68	4,02%	
A08N651078	647,43	4,18%	
A08N709671	661,441	4,97%	
A08N651103	681,411	4,47%	
A08N710421	746,988		
A08N710673	801,319	9,75%	
A08N652787	995,081		
A09N902359	1006,854	3,32%	
A08N710731	1093,153		
A08N651077	1158,191	8,39%	
A08N650744	1235,828	5,15%	
A08N709690	1237,019	4,52%	
A08N710600	1295,062	6,50%	
A08N650748	1478,172	7,43%	
A08N710689	1486,681	4,81%	
A08N651950	1487,531	4,80%	
A08N710678	1497,186		
A08N710665	1559,872		6,65%
A08N710480	1680,608		
A08N710570	1756,388	6,65%	
A08N710566	2269,093	6,02%	6,68%
A08N710805	2326,112	7,34%	
A08N710482	2349,303		
A08N710736	2554,334	6,90%	
A08N710481	2694,116	5,16%	4,11%
A08N710422	2775,492	3,06%	
A08N709689	3115,921	4,49%	4,61%
A08N651914	3173,046	4,73%	
A08N651916	Dañado vidrio		
A08N710487	Dañado vidrio	12,18%	



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Cedeño Barrionuevo, Ángel Ignacio**, con C.C: # 0504057928 autor/a del trabajo de titulación: **Desarrollar curvas en función de la antigüedad de los equipos y del volumen medido acumulado que relacionen la precisión metrológica del parque de medidores del cantón Jipijapa** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **20 de septiembre de 2021**

f. _____

Nombre: **Cedeño Barrionuevo Ángel Ignacio**

C.C: **0504057928**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Desarrollar curvas en función de la antigüedad de los equipos y del volumen medido acumulado que relacionen la precisión metrológica del parque de medidores del cantón Jipijapa		
AUTOR(ES)	Cedeño Barrionuevo, Ángel Ignacio		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Molina Arce, Stephenson Xavier M. Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	20 de septiembre de 2021	No. PÁGINAS:	76
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería Ambiental, Ingeniería Sanitaria, Agua Potable		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Curva de error, Patrón de Consumo, Error Global, Volumen Registrado, Pérdidas de Agua, Balance Hídrico, Agua No Facturada.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Las pérdidas de agua se han identificado como uno de los principales problemas comunes a cualquier empresa de agua en el mundo. El balance hídrico nos dice cuánto de cada tipo de pérdida ocurre y cuánto le está costando a la empresa de agua</p> <p>Mediante este trabajo de investigación se determinará curvas de error en función de la antigüedad de los equipos y del volumen medido del cantón Jipijapa que tiene un parque de micro medición de aproximadamente 8000 medidores mecánicos que prestan servicio para usuarios residenciales, en el que se extrajeron medidores de dicho cantón para determinar la curva de error mientras se instalan unos medidores electrónicos para determinar el patrón de consumo, el cual son los 2 parámetros más importantes para calcular el error global. Se determinó que existe un error global de 12,18%. Se estableció una función que se ajustó a los datos mediante técnicas de extrapolación estadística y/o matemática para construir las curvas buscadas, el cual se lo realizó relacionando el volumen registrado y la medida de cada uno de los medidores.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-993629324	E-mail: cedenonachito@hotmail.es	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Catalina Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-984616792		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			