



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

TEMA:

Determinación del error del parque de medidores de usuarios residenciales en una zona de 40.000 usuarios, su impacto en los niveles actual y futuro de pérdidas de agua potable del sistema de abastecimiento

AUTORA:

Correa Reinoso, Cindy Rossana

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingeniera Civil**

TUTOR:

ING. Molina Arce, Stephenson Xavier M. Sc.

Guayaquil, Ecuador

15 de marzo del 2021



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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Correa Reinoso Cindy Rossana**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera Civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Molina Arce, Stephenson Xavier M. Sc.

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther M. Sc.

Guayaquil, a los 15 del mes de marzo del año 2021



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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Correa Reinoso Cindy Rossana

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Determinación del error del parque de medidores de usuarios residenciales en una zona de 40.000 usuarios, su impacto en los niveles actual y futuro de pérdidas de agua potable del sistema de abastecimiento** previo a la obtención del título de **Ingeniera 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 15 del mes de marzo del año 2021

LA AUTORA

f. _____

Correa Reinoso Cindy Rossana



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

AUTORIZACIÓN

Yo, Correa Reinoso Cindy Rossana

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Determinación del error del parque de medidores de usuarios residenciales en una zona de 40.000 usuarios, su impacto en los niveles actual y futuro de pérdidas de agua potable del sistema de abastecimiento** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 15 del mes de marzo del año 2021

LA AUTORA:

f. _____
Correa Reinoso, Cindy Rossana

Urkund Analysis Result

Analysed Document: Cindy_Correa_Final.docx (D97270237)
Submitted: 3/5/2021 12:57:00 AM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 4 %

Sources included in the report:

TESIS DE GRADO CONTADORES DE AGUA.pdf (D9947695)
 TESIS MACÍAS PARRALES TANIA..docx (D96905668)
 TESIS_MIRANDA01.docx (D35242522)
<https://www.emcali.com.co/documents/107516/125210/NOP-PM-CA-028.pdf>
<https://www.slideshare.net/SimonArmandoMiranda/tipos-de-medidores>
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27863/TFM%20Manuel%20Colado%20Dominguez.pdf?sequence=1>
<https://core.ac.uk/download/pdf/71397699.pdf>
<https://core.ac.uk/download/pdf/81252399.pdf>
<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%20del%20c....pdf?sequence=1>
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10140/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-233.pdf>
<https://www.canaldeisabelsegunda.es/documents/20143/85614/cuaderno-8.pdf/a5381807-16da-f785-1034-89efb6d46d5c?t=1513610362681>
http://www.waterlossreduction.com/images/download/Technical_Manual_SP_-_Guidelines.pdf

Instances where selected sources appear:

42

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a Dios por haberme acompañado en todo el camino de mi carrera universitaria, por haberme dado perseverancia, paciencia y sabiduría para superar los momentos difíciles.

Agradezco a mis padres Reymberg e Ivonne por su esfuerzo, sacrificio y su apoyo incondicional, sin ellos no hubiera sido posible este logro. A mis hermanos, Alex, Pamela, Miriam y Fito que siempre estuvieron conmigo, dándome ánimos. Gracias por creer en mí.

Por otro lado, quiero agradecer a mis mejores amigas: Carolina, Meyleen y Karen. Carolina por siempre estar, por apoyarme y enseñarme que, con dedicación, esfuerzo y estableciendo prioridades todo se puede. Meyleen, mi colega por siempre estar dispuesta a compartir sus conocimientos y cuadernos conmigo, por siempre decir que sí a cualquier amanecida en los primeros ciclos y finalmente a Karen, por estar dispuesta siempre a ayudarme y prepararme para el gran día. Gracias por su tiempo, las amo

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mi padre y colega el Ing. Reymberg Correa Granoble, a mi madre Ivonne Reinoso quienes, con su amor, esfuerzo, paciencia y apoyo incondicional me permitieron alcanzar una de mis metas, ser Ingeniera Civil.

A mis hermanos, Alex, Pamela, Mirian y Fito por acompañarme a lo largo de este camino. Y por último y más importante a mi sobrina María Celeste que en estos pocos meses ha sido mi motivación.

Gracias por todo, los amo familia.



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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Stefany Alcívar Bastidas, M. Sc.
DIRECTORA DE CARRERA

f. _____

Ing. Fernando Javier Plaza Vera PhD.
DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Mérida Alexandra Camacho Monar
OPONENTE

TABLA DE CONTENIDO

1	CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	2
1.1	ANTECEDENTES	2
1.2	JUSTIFICACIÓN	5
1.3	OBJETIVOS.....	6
1.3.1	Objetivo General	6
1.3.2	Objetivos Específicos.....	6
2	CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES	7
2.1	PÉRDIDAS DE AGUA	7
2.1.1	Pérdidas Reales	7
2.1.2	Pérdidas Aparentes.....	9
2.1.3	Balance Hídrico	12
2.2	MICROMEDICIÓN	15
2.2.1	Tipos de medidores mecánicos para usuarios residenciales y comerciales ..	15
2.3	METROLOGÍA DE MEDIDORES MECÁNICOS PARA USUARIOS RESIDENCIALES Y COMERCIALES	21
2.4	DESCRIPCIÓN Y TIPOS DE BANCOS DE ENSAYOS	28
3	CAPÍTULO III: PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DETERMINACIÓN DEL ERROR DE MEDICIÓN DE MEDIDORES MECÁNICOS PARA USUARIOS RESIDENCIALES Y COMERCIALES.....	31
3.1	ENSAYO DE BANCO DE PRUEBAS	31
3.1.1	Ensayos realizados en el laboratorio de medidores	32
3.2	SELECCIÓN DE MUESTRA	34
3.2.1	Clasificación de los Medidores Extraídos.....	36
3.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	38
3.3.1	DETERMINACIÓN DE PERFIL DE CONSUMO DE USUARIOS	38
3.3.2	DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE ERROR DE MEDICIÓN	43
3.3.3	CÁLCULO DEL ERROR MEDIO PONDERADO	47
3.4	CÁLCULO DE LAS IMPRECISIONES DE MEDIDA	49
4	CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
4.1	CONCLUSIONES	52
4.2	RECOMENDACIONES.....	53
5	REFERENCIAS	54
6	ANEXOS.....	55

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Balance Hídrico	3
Ilustración 2.- Tipos de fugas por su tamaño	8
Ilustración 3.- Conexiones fraudulentas.....	10
Ilustración 4.- Balance Hídrico según la IWA	12
Ilustración 5.- Medidor de Chorro Único.....	16
Ilustración 6.- Medidor de chorro múltiple	19
Ilustración 7.- Dimensiones de medidores chorro múltiple	20
Ilustración 8.- Errores máximos permitidos.....	22
Ilustración 9.- Caudales característicos por clase metrológica. ISO4064:1993.....	24
Ilustración 10.- Clases metrológicas para medidores según ISO4064:1993.....	25
Ilustración 11.- Límite de error en un medidor de $Q_3 = 2.5 \text{ m}^3/\text{h}$	27
Ilustración 12.- Esquema de un banco de ensayo	29
Ilustración 13.- Representación de Banco Volumétrico	32
Ilustración 14.- Clasificación de Medidores por marca	36
Ilustración 15.- Clasificación de medidores extraídos por Edad y Año de Instalación.	37
Ilustración 16.- Patrón de Consumo en porcentaje	41
Ilustración 17.- Curva de Consumo Diario - Usuarios Residenciales S72	42
Ilustración 18.- Curva de error según ISO 4064	44
Ilustración 19.- Curva de Error Promedio del Medidor	45
Ilustración 20.- Curva de error de cada medidor ensayado.....	46
Ilustración 21.- Curva de error reconstruida	48
Ilustración 22.- Curva de Error Promedio por Marcas.....	49

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Valores admisibles para caudal permanente.....	26
Tabla 2.- Valores admisibles para la relación Q3/Q1	27
Tabla 3.- Factores de fiabilidad para diferentes niveles de confianza	35
Tabla 4.- Porcentaje de volumen consumido correspondiente a los datos ensayados	40
Tabla 5.- Promedio del volumen consumido las 24 horas del día.	40
Tabla 6.- Promedio de errores de medidores ensayados	45
Tabla 7.- Error Promedio por marca	49
Tabla 8.- Medidores clasificados por marcas y edad	50
Tabla 9.- Tabla Resumen del Error Global	51

RESUMEN

La disponibilidad del agua es vital ya que no solo es un recurso importante para los seres humanos sino también resulta indispensable para la agricultura y producción industrial. Las pérdidas de agua a causa de diferentes componentes implican un fuerte impacto para la empresa portadora de ese servicio tanto hidráulicas como financieras. Este proyecto de investigación se basa en un estudio de usuarios residenciales y comerciales para determinar el *error de medición* del parque de medidores, es decir poder cuantificar las imprecisiones de los medidores como tal, antes y después de su instalación. Pero también, mediante el *balance hídrico* lograr calcular el (*Agua No Facturada (ANF)*). Este estudio consta de 40000 usuarios, los mismos que se analizaron estadísticamente mediante el método de distribución normal.

La empresa prestadora del servicio de agua potable cuantifica este *error global* mediante dos parámetros principales: *patrón de consumo* y *curva de error*. Se determinó que existe un 7.39% en ese sector.

Se estableció el retorno de inversión que soportara la empresa de agua por el reemplazo de un medidor ensayado para mermar las imprecisiones de medida. Se realizó mediante el *método ROI* – Return of Investment.

Palabras Claves: *Error de Medición, Balance Hídrico, Agua No Facturada, Error Global, Patrón de Consumo, Curva de Error.*

ABSTRACT

This Investigation Project is based on a residential and commercial users' study to determinate the measurement error from the meter park, that is to be able to quantify the imprecisions of the meters as such, before and after of its installation. But also, through the hydric balance manage to calculate the Non-Revenue Water (NRW). This study consists from 40000 users, the same ones that were statistically analyzed using the normal distribution method.

The provider company of drinking water quantifies this global error through two main parameters: consumption pattern and error curve. It was determined that exists an 7.39% in that sector.

Key Words: *Measurement Error, Hydric Balance, Non-Revenue Water, Global Error, Consumption Pattern, Error Curve*

1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Conscientes de la importancia de conocer las razones por las que se generan las pérdidas de agua y los problemas que esto conlleva, he decidido enfocar este trabajo de investigación en una de las razones principales que ocasiona esta pérdida de agua; la inexactitud en el momento de la medición. Es de vital importancia comprender la responsabilidad de buscar que los medidores sean eficaces desde su elaboración para brindar así mayor seguridad y calidad a los clientes. No obstante, una medición mal elaborada desencadenara a corto y largo plazo un gran inconveniente para la empresa abastecedora de agua.

Un estudio realizado por el Banco Mundial reveló que el volumen anual del Agua No Facturada en países en desarrollo está en un rango de 26,7 mil millones de m³, lo que equivale a una pérdida económica de 5,9 mil millones de dólares para las empresas que suministran agua (Kingdom, 2006). Convirtiéndose así, la economía, en otra gran razón por la que resulta de suma importancia ser exactos en el momento de la medición y evitar grandes pérdidas de agua.

Es indispensable recordar que la reducción de pérdidas de agua potable abarcara áreas importantes como gerencia dentro de la empresa, financieros y político-social. Por ejemplo, en el aspecto político a pesar de que el gobierno ya tiene un proyecto de red de distribución para todo el país, el comportamiento de los usuarios con el uso de esa agua será determinante. En el aspecto financiero, el poder controlar las pérdidas mediante la reducción provocaría que el desempeño de la empresa mejore considerablemente reduciendo costos innecesarios. Y en cuanto al aspecto gerencial intervienen nuevamente los usuarios al reportar los daños o fugas en las tuberías que se producen por varios aspectos o simplemente por el desgaste del instrumento. Con ayuda de los consumidores se logra un trabajo en equipo práctico y eficaz.

Según la IWA (International Water Association), establecer un balance hídrico proporciona una base para la reducción de pérdidas. En el 2002 se publicó un documento acerca de las prácticas realizadas en algunos países en desarrollo para

calcular los balances hídricos, el cual se ha reconocido y ahora es recomendado por esta asociación con el fin de tener una mejor visión sobre la distribución del agua que ingresa al abastecimiento. Está compuesto por los siguientes elementos: el agua inyectada a la red de distribución la cual se divide en Consumo Autorizado y Pérdidas de Agua. Cada división tiene sus ramas que se explicarán a continuación.

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		
	Pérdidas de agua Q_p	Consumo autorizado no facturado Q_{AUNF}	Pérdidas aparentes Q_{pA}	Consumo no facturado medido	Agua no facturada
				Consumo no facturado no medido	
		Pérdidas reales Q_{pR}	Pérdidas reales Q_{pR}	Consumo no autorizado	
				Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
				Fugas en las tuberías de adducción 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: Guía Técnica (VAG & GIZ)

- *Consumo autorizado:* Incluye el consumo autorizado facturado y no facturado. Es el volumen de agua medida por la empresa, se refleja por medio del medidor de agua existente en cada vivienda. Por otra parte, la empresa como requisito necesita limpieza de sus tuberías por lo que cuenta como consumo autorizado, pero no facturado.
- *Pérdidas de agua:* Clasificadas en aparentes y reales. Las pérdidas aparentes se subdividen en las inexactitudes, errores de manejo y consumo no autorizado. Mientras que las pérdidas reales son las fugas que se generan en las conexiones o reboses en los tanques de almacenamiento.

Como se puede observar en la Ilustración 1, lo único que va a generar ingresos a la empresa prestadora del servicio es el Agua Facturada.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Existen varios motivos y a la vez sub clasificaciones que generan pérdidas de agua, sin embargo, este trabajo de investigación está enfocado en cuantificar los errores de medición que se presentan a diario por diferentes factores en los micromedidores.

La disponibilidad del agua es vital ya que no solo es un recurso importante para los seres humanos sino también resulta indispensable para la agricultura y producción industrial. Las pérdidas de agua a causa de diferentes componentes implican un fuerte impacto para la empresa portadora de ese servicio tanto hidráulicas como financieras a corto y a largo plazo, por esa razón se presentará un método para conocer en cuanto tiempo la empresa recuperara su inversión y que tan conveniente es el reemplazo de los medidores.

Por otro lado, los consumidores son una parte fundamental dentro de esta problemática debido a que ellos como usuarios están en la obligación de reportar cualquier pérdida de agua que se registre y así obtener un mejor resultado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Determinar el error de medición en los micromedidores de agua potable de una zona de usuarios residenciales y comerciales y analizar su impacto actual y futuro en el sistema de abastecimiento.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Zonificar y establecer los patrones de consumo para los diferentes tipos de consumidores.
2. Evaluar la curva de error de los medidores de los diferentes patrones de consumo de los usuarios.
3. Determinar la valoración económica que causan dichas imprecisiones de medida en la empresa prestadora del servicio.
4. Establecer un método que ayude a la optimización de los errores de medición que registra la empresa de agua.

2 CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES

2.1 PÉRDIDAS DE AGUA

Se entiende como pérdida en una red de distribución a la diferencia del volumen de agua total entregado al cliente menos el volumen medido o registrado por la empresa. Estas se clasifican en reales y aparentes.

Las pérdidas reales son físicas, provienen de fugas o fallos en las tuberías de la red; mientras que las aparentes se dan a causa de error de medición o consumo no autorizado.

A pesar de que cada red de distribución trabaja de manera diferente, se puede interpretar que del consumo total entregado las pérdidas reales representan un 75%, mientras que las pérdidas aparentes solo el 25%.

Esto desencadena impactos negativos tanto en el ambiente social, económico y ambiental.

Desde el punto de vista social, las pérdidas de agua propician se deteriore la imagen de la empresa. Y aceleran las inversiones ya que a mediano plazo resultaran ineficientes las instalaciones. Por otro lado, desde la óptica ambiental, se traduce en más energía lo que conlleva se generen más gases de efecto invernadero y apesure el cambio climático. Y por último en el ámbito económico, altera el precio del agua y en sus precios variables tiene la energía que como ya se ha mencionado se va a generar más.

El propósito es reducir estas pérdidas para así brindar excelencia y calidad al consumidor.

2.1.1 Pérdidas Reales

Las pérdidas reales son básicamente el volumen de agua perdida por rebose, estallidos o fallas en las tuberías de las redes de distribución y fugas. Estas se clasifican en:

- ✓ Fugas en tuberías de transporte y distribución
- ✓ Fugas y reboses en depósitos de almacenamiento
- ✓ Fugas en acometidas hasta el punto de medidor

También existe una subdivisión de estas pérdidas reales por su tamaño y tiempo de la fuga como visibles, no visibles y fugas de fondo; que influye bastante en las pérdidas totales. Se pueden localizar fácilmente mediante dispositivos acústicos en zonas donde se vea alterado el consumo.

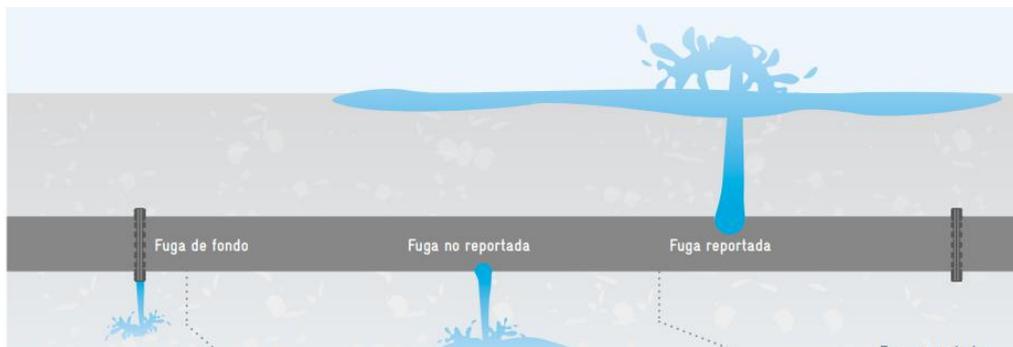


Ilustración 2.- Tipos de fugas por su tamaño

Fuente: Guía Técnica (VAG & GIZ)

Las fugas en tuberías de transporte y distribución nacen por la mala conexión entre tuberías que forman uniones, también son ocasionadas por el material o estallidos en las mismas tuberías que reparten.

Por otro lado, los reboses en los tanques de almacenamiento son causados por el deficiente control del nivel de los mismos, estas pueden ser controladas parcialmente ya que son visibles, pero un factor importante que complica su reparación es el material del tanque: plástico o depósitos de hormigón.

Las fugas en acometidas hasta el medidor se presentan con frecuencia, aunque son difíciles de detectarlas debido a que sus flujos son bajos por lo tanto tienen tiempos largos (VAG, 2011).

El comportamiento hidráulico de las fugas tiene que ver con la relación entre la presión y la fuga, es decir, a mayor presión mayor fuga de agua, por el contrario, menos presión, menos volumen de agua perdido. Aquí cabe recalcar que es importante

conocer el material y propiedades de los tubos cuando hablamos de la relación presión – fuga, ya que responderán de manera diferente.

Las causas más comunes que se presentan en estas pérdidas se mencionarán a continuación

- ❖ Material, condición y edad del tubo
- ❖ Diseño e instalación
- ❖ Presión
- ❖ Tráfico

Esta última corresponde a las que las tuberías están instaladas en carreteras, que por lo general son colocadas a una profundidad establecida para evitar que sufran daños a causa del tráfico pesado.

Cada división y sub división son sin duda, de suma importancia al momento de establecer las causas y hallar las pérdidas totales; Sin embargo, no abarcaremos todas las causas en su totalidad porque este trabajo está enfocado en la imprecisión de medidas a causa de los medidores.

2.1.2 Pérdidas Aparentes

Este tipo de pérdidas son causadas por otros factores diferentes que las pérdidas antes mencionadas. En este caso, el volumen de agua entregado al cliente no es medida o registrada por la empresa, por lo tanto, no es facturado y se convierte en pérdidas de agua.

Por lo general, se tienen que basar principalmente en estimaciones debido a que es un volumen desconocido.

Estas pérdidas aparentes se clasifican de la siguiente manera:

- ✓ Consumo no autorizado
- ✓ Imprecisiones de medida
- ✓ Errores sistemáticos en el manejo de datos

La empresa de agua busca reducir estas pérdidas que sirve como un buen punto de partida para la inversión del volumen no registrado. Se puede considerar que son las que causan mayores pérdidas económicas para la empresa que suministra.

2.1.2.1 Consumo No Autorizado

La extracción de agua no autorizada se representa de diferentes maneras, en muchos países significa un gran golpe para la parte económica de la empresa de agua. En nuestro país, una de las maneras más comunes que se encontramos; son las conexiones ilegales, especialmente en zonas rurales, donde ese volumen de agua no es autorizado por ningún miembro de la empresa, pero si, por el consumidor, lo que se traduce como pérdidas.

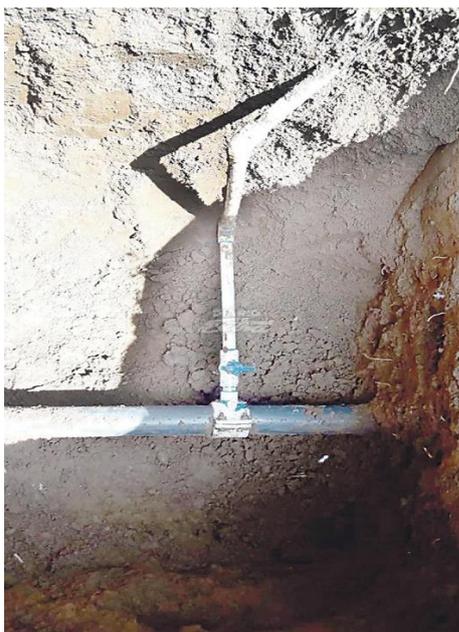


Ilustración 3.- Conexiones fraudulentas

Fuente: <https://www.diarioextra.com/Noticia/detalle/360241/aya-detecta-mas-de-700-conexiones-ilegales>

Como se observa en la ilustración estas conexiones clandestinas se presentan a lo largo de la tubería y de los elementos o accesorios como válvulas, grifos en toda la etapa de distribución.

Muchas veces, los medidores son manipulados con las lecturas que se miden mensualmente, lo que hace que se facture menos. Sin embargo, también existen casos donde los consumidores evitan colocar un medidor de agua potable en su vivienda.

Otro caso es, la mala gestión del volumen de agua que se ocupa de los hidrantes o tuberías contra incendios. Para la empresa de agua significa un consumo autorizado no facturado mas no un consumo no autorizado.

2.1.2.2 Imprecisiones de medida

Las pérdidas por imprecisiones de medida son estimadas por un grupo de contadores domésticos dentro de un parque de medidores ya sean grupos divididos por marca, tamaños, edad los mismo que pasan por un banco de ensayos.

Los medidores de agua potable presentan errores asociados al registro de volúmenes principalmente en la estructura de consumo, tecnología del medidor, calidad del agua y volumen acumulado en el tiempo. La estimación de las pérdidas aparentes está sujeta a un alto grado de incertidumbre.

Las pérdidas aparentes por errores de medición se deben a las siguientes causas

- a. Insensibilidad: corresponde al volumen consumido o perdido debido a que los medidores no lo registraron porque son caudales bajos.
- b. Imprecisión: corresponde al volumen consumido o perdido debido a la mala calibración o instalación de los instrumentos.

Los parámetros que afectan a la exactitud de medida en los medidores resultan ser el envejecimiento, calidad de instalación y orientación, esta última dependerá del tipo de medidor que se use.

2.1.2.3 Errores Sistemáticos en el manejo de datos

Es muy común que el personal capacitado para recoger datos de los usuarios y pasarlos a una base de datos tenga errores, generando pérdidas económicas a la empresa. No solo el error de tipeo, también perder información de datos de consumo o muchas veces alteraciones de lecturas en sitio.

2.1.3 Balance Hídrico

El balance hídrico realiza una estimación de las pérdidas de agua, tanto real como aparente y puede constituir la base para el cálculo de indicadores de rendimiento.

Es también una herramienta importante para diagnosticar los diferentes tipos de pérdidas. Realizar periódicamente un balance hidráulico permitirá calcular la magnitud de cada pérdida y así poder delinear un plan de acción acorde a la circunstancia. Existe un balance diseñado por la Asociación Internacional del Agua – IWA.



Ilustración 4.- Balance Hídrico según la IWA

Fuente: FACSA – Ciclo Integral del Agua

Para definir el balance hídrico es importante tener presente que la exactitud al determinar el agua no facturada depende de la precisión y calidad de datos.

El volumen de entrada inyectado debe determinarse con base a las mediciones por año de los medidores desde la planta de tratamiento, es decir, saber cuánto es lo que se consume anualmente. La estimación de este volumen de entrada también es una opción en caso de que no se tenga un número exacto para empezar.

La ilustración 4 nos muestra que este volumen de entrada se clasifica en dos partes: Consumo y pérdidas totales. Cabe recordar, que el único ingreso para la empresa es el agua facturada, es decir, el consumo autorizado facturado, el cual comprende de 3 componentes: consumo exportado medido, consumo facturado medido, consumo facturado no medido.

El consumo autorizado facturado, intervienen todas las empresas, industrias, usuarios a los que se reparte agua a diario y se factura mensualmente mediante lecturas de medidores realizadas por un equipo especializado de la empresa prestadora. Es recomendable determinar el consumo promedio con base a mediciones individuales de usuarios para una estimación significativa.

- Consumo exportado medido consiste en los metros cúbicos vendidos a otras empresas que suministran dicho servicio a otros cantones.
- Consumo facturado medido no es otra cosa que el volumen que consumen mensualmente los usuarios y que es registrado por la empresa.
- Consumo facturado no medido abarca el volumen autorizado que se basa en un presupuesto fijo. Este consumo es generalmente usado para clientes que no cuentan con medidores. Dentro de este grupo existen usuarios comerciales, residenciales o industriales.

El consumo autorizado no facturado, consiste en un volumen de agua que la misma empresa tolera, pero del que no se generan ingresos, ya sea medido o no, simplemente no se factura. Como ejemplo: hidrantes, agua utilizada por bomberos, agua utilizada por el Municipio. Dentro de este grupo se encuentra: consumo no facturado medido y no medido.

- Consumo no facturado medido: No genera ingresos a la empresa, pero es contabilizado para cualquiera análisis anual.
- Consumo no facturado no medido: Un claro ejemplo de este subgrupo es la evacuación del agua desde la red y el uso contra incendios.

En resumen, el procedimiento para la determinación del Agua No Facturada en el Balance Hídrico se aplica siguiendo los pasos

- Definir consumo autorizado no facturado
- Calcular consumo autorizado

- Estimar pérdidas totales: reales y aparentes

Al igual que los otros consumos este también cuenta con sus componentes: Consumo medido y no medido. Básicamente, el consumo no facturado medido es el que la empresa utiliza para las reparaciones internas, limpieza, etc.

Por otro lado, el consumo no facturado no medido se constituye por el volumen distribuido a bomberos mediante los hidrantes que están ubicados en puntos estratégicos. Hoy en día los hidrantes ya cuentan con un medidor, sin embargo, sigue formando parte de este grupo.

Finalmente, las pérdidas de agua como ya se las ha estudiado en los capítulos anteriores están compuestas por reales y aparentes.

Pérdidas reales, se las estima mermando las pérdidas aparentes de las pérdidas totales ya que estas son un poco más complejas de calcular debido a que son causadas por fugas. Las pérdidas totales resultan de la diferencia entre el volumen inyectado en la entrada menos el consumo autorizado.

Por otra parte, dentro las pérdidas aparentes en primer lugar se deben estimar el número de conexiones fraudulentas realizando muestreos en diferentes puntos de la zona. En segundo lugar, se determina las pérdidas debido a errores en el manejo de información, así como las inexactitudes. Hay que tener en cuenta los medidores averiados y tener una estimación de ese volumen perdido en base a esos estudios realizados.

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

1. Determinación del volumen de ingreso del sistema QI
2. Determinación / estimación del consumo autorizado facturado QAF
3. Determinación / estimación del consumo autorizado no facturado QAuNF
4. Cálculo del consumo autorizado $QA = QAF + QAuNF$
5. Estimación de las pérdidas aparentes QPA
6. Cálculo de las pérdidas de agua reales $QPR = QP - QPA$

2.2 MICROMEDICIÓN

La micromedición se refiere a medición, instalación y calibración de los medidores de agua, los cuales se definen como el instrumento de carácter domiciliario y comercial que ayuda a la empresa prestadora del servicio a controlar el consumo del volumen de agua. Este instrumento permite llevar el servicio hasta los grifos de las viviendas.

Es la actividad de control de caudal cuyo diámetro de alimentación y descarga está en el rango de 0.5 a 1 pulgada (15 y 25mm). Este rango es manejado e instalado en las residencias y en pequeños locales comerciales.

Básicamente, la micromedición permite:

- Racionalizar el consumo
- Buena administración
- Posible igualdad de servicio para la ciudad
- Ser vigilante del usuario.

2.2.1 Tipos de medidores mecánicos para usuarios residenciales y comerciales

El medidor de agua es un dispositivo que pertenece a una conexión que registra con cierta presión la cantidad de agua que cruza por él.

Los medidores de agua se pueden clasificar en función de la forma de contar el caudal:

- Contadores Volumétricos
- Contadores de Velocidad
- Contadores electromagnéticos
- Contadores por ultrasonidos

2.2.1.1 Medidores Chorro Único

Este tipo de contadores pertenece a la categoría de contadores de velocidad, esta tecnología es muy frecuente para los registros de medidores domésticos debido a su

bajo costo y su alto grado de confianza. Los medidores de chorro único se fabrican en varios diámetros entre 7 y 100mm, pero es recomendable trabajar con diámetros menores a 25mm.

Existen varias dimensiones y características metrológicas de este medidor de chorro único, desde el diámetro más pequeño hasta el más grande se encuentran todas las presentaciones en función a su caudal nominal y a su longitud. Un medidor de un mismo diámetro puede tener presentaciones de diferentes longitudes.

El despiece de este contador de chorro único está compuesto por el cuerpo en el que se introduce la turbina, cuenta también con un sello o sistema de ajuste (sirve para evitar fraude o manipulación) y en la parte superior encontramos el totalizador. Por lo general el cuerpo del medidor se fabrica con bronce.

El elemento principal es la turbina ya que convierte la velocidad lineal en un flujo rotacional, por lo general es fabricada de plástico con una densidad menor que la del agua. El objetivo es que este elemento flote y solo se apoye en un extremo; mientras que el otro extremo servirá para combatir el desgaste.

Su principio de funcionamiento se basa en la incidencia tangencial de un chorro de agua sobre la turbina alojada en el interior de la carcasa, la velocidad de giro de la turbina es directamente proporcional a la velocidad de impacto de agua (Arregui, 2007).

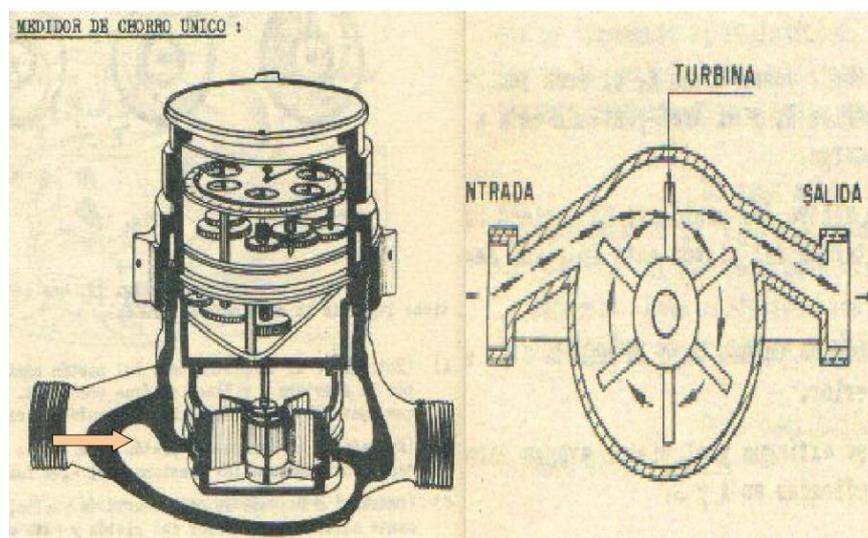


Ilustración 5.- Medidor de Chorro Único

Fuente: <https://es.slideshare.net/andesco/2-marconormativomicromedicion>

En la metrología de los contadores de chorro único intervienen: la orientación, perfil de velocidades y envejecimiento.

Todo esto gira entorno a la curva de error de cada medidor que es la base para cualquier estudio a realizar, por ende, todos los parámetros importantes deben ser tomados en cuenta para determinar la curva de error más precisa posible.

La orientación de estos medidores es un factor importante ya que están diseñados para funcionar de manera horizontal, con esta posición se logra que la turbina este apoyada en un solo extremo y evita también el desgaste apresurado de la misma. Si se coloca de forma inclinada el medidor, la turbina queda apoyada en zonas no deseadas donde los materiales no son adecuados y hace que esto provoque que la turbina no trabaje en su totalidad.

El caso más extremo se da cuando el medidor es ubicado de manera vertical y el eje en horizontal porque la turbina se apoya en todo el eje. El fenómeno de rozamiento aumenta considerablemente los errores a caudales bajos y no brinda confianza al funcionamiento.

Otro componente importante es el caudal de arranque del medidor, con el que empieza su funcionamiento, por lo que como ya se ha mencionado una mala orientación no permitirá la sensibilidad a caudales bajos, lo que quiere decir que el registro no será correcto. No obstante, tener en cuenta que, aunque este tipo de medidores se ven afectados por la orientación esta no afecta a todos por igual.

Los medidores de chorro único son de velocidad por ello si existe alguna variación en este factor va a alterar la curva de error, esta variación se puede presentar por medio de la instalación de algún accesorio: válvulas, codos, etc. Hay que tener en cuenta que una obstrucción total o parcial de la tubería puede afectar la velocidad con la que el agua ingresa o recorre la red.

Y por último y el más importante, el envejecimiento del instrumento, esto hará que el deterioro de la curva de error de este tipo de medidores se acelere. Los primeros síntomas para detectar envejecimiento toman lugar con caudales bajos.

Por ejemplo, para un medidor nuevo de ciertas características, el caudal de arranque suele ser de 10 l/h, pero si evaluamos el mismo medidor dentro unos años se observará

el cambio de caudal de arranque con un porcentaje de error del 100%. A un caudal medio o alto, el error será mínimo.

Dado que el error de medición es variable a lo largo de los rangos de caudales, no se puede hablar de un solo error, por eso cada tipo de contador cuenta con una exclusiva que depende de parámetros importantes. Un contador se deteriora con mayor rapidez dependiendo de los caudales que circulan por él.

Existen desventajas que hay que tener presente para la selección de este tipo de medidor en las zonas residenciales como, por ejemplo:

- ✓ La posición de instalación afecta a la curva de error, no brinda fiabilidad.
- ✓ La turbina y el eje no están calibrados hidráulicamente por lo que acelere el desgaste.
- ✓ Los caudales de arranque no son suficientemente bajos para detectar fugas.

Por el contrario, también cuenta con una serie de ventajas como, por ejemplo:

- ✓ Tecnología de medición fiable
- ✓ No requieren grandes espacios para su instalación
- ✓ Son sensibles al perfil de velocidades entrantes.

2.2.1.2 Medidores Chorro Múltiple

Este tipo de medidor es incluido también en el grupo de los contadores de velocidad. Son manejados generalmente para el consumo doméstico, comercial y en algunos casos en sistemas de riego (Arregui, 2007). Trabajan con diámetros más grandes generalmente son fabricados desde 15mm a 50mm.

La única diferencia del despiece de este contador de chorro múltiple es en el cuerpo en el que se introduce la cámara de distribución y adicional cuenta con un filtro en la entrada. En este medidor se tienen tolerancias de fabricación amplias.

Su funcionamiento es parecido al tipo de medidor explicado anteriormente, la diferencia se encuentra en que el tipo de medidor de chorro único trabaja con la turbina en un solo extremo, mientras que en el chorro múltiple la turbina va a trabajar en toda su periferia generando así un trabajo más equilibrado y mayor durabilidad para el

contador. Una similitud entre los tipos de medidores es que la velocidad del impacto del agua afecta directamente a la velocidad con la que gira la turbina.



Ilustración 6.- Medidor de chorro múltiple

Fuente: Innovagua

Para que la curva de error en estos medidores no se vea alterada se ajusta mediante un tornillo de regulación el cual va a restringir el caudal que circula por el bypass.

Como se mencionó anteriormente, este medidor cuenta con un filtro el cual puede llegar a causar inconvenientes alterando directamente a la curva de error y a su vez provocando errores de medición no deseables. Esto es debido a su obstrucción ya que aumentan las velocidades y la turbina gira más rápido a un determinado caudal.

Las dimensiones que se encuentran en el mercado con este tipo de medidor con diámetros entre 15 y 50 mm están en función del caudal nominal, longitudes y también de las clases metrológicas B y C.

Contadores de chorro múltiple

En pequeños diámetros se encuentran en clase B y C

clase metrologica		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	900
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

La capacidad de caudal en los diámetros superiores es pequeña en comparación con otros contadores como los Woltmann

Ilustración 7.- Dimensiones de medidores chorro múltiple

Fuente: Medición e Instrumentación – Francisco Arregui.

En la metrología de los contadores de chorro múltiple intervienen: la orientación, perfil de velocidades, envejecimiento y flujo inverso.

Están diseñados para trabajar con el eje de la turbina verticalmente, es decir el medidor debe ser ubicado de manera horizontal ya que en esta posición se consigue evitar el desgaste prematuro de los materiales que componen al medidor. Se puede decir, que la orientación del medidor de chorro único es válida para el medidor de chorro múltiple. El único parámetro afectado será la curva de error en caso de una mala instalación.

Por otro lado, tenemos al perfil de velocidades el cual es condicionado por los cambios de sentido dentro del cuerpo de contador. El filtro ubicado en la entrada del medidor puede sufrir obstrucción alguna o suciedad del mismo y no afectará al parámetro más importante.

Según un estudio realizado por Francisco Arregui y Enrique Cabrera sobre cierto tamaño de muestra en diferentes condiciones, filtro sucio y sin filtro nos dice que las diferencias que se observaron son debidas a otros factores que generan incertidumbre, en otras palabras, la curva de error no resulta afectada. No obstante, no es que no existen errores de mediciones, sino que están dentro de un rango permitido dependiendo en que zona de la curva se encuentre.

El envejecimiento se basó también en el estudio comentado anteriormente, en el que se pudo observar que, a caudales bajo, el aumento de fricción debido al desgaste el error de medición se incrementó. El caudal de arranque aumenta con la edad. Detectar a tiempo este fenómeno es realmente importante para no aumentar las pérdidas de agua o tener errores altos.

Finalmente, al hablar de flujo inverso hablamos del error de registro del medidor que depende de la velocidad del agua en la turbina a cierto caudal. Se define si es o no inverso porque depende de cómo entre el agua, por la parte superior (sentido inverso) y por la parte inferior (sentido normal). Puede haber un error abismal si el medidor es ubicado de manera incorrecta.

Existen desventajas que hay que tener presente para la selección de este tipo de medidor en las zonas residenciales como, por ejemplo:

- ✓ A caudales medios y altos se encuentran errores más elevados que causan problemas con los usuarios.
- ✓ Los caudales de arranque no son bajos para poder detectar fugas.
- ✓ Son más voluminosos en diámetros pequeños.

Por el contrario, también cuenta con una serie de ventajas como, por ejemplo:

- ✓ Gran variedad de modelos con diferentes metrologías, construcciones y precios.
- ✓ Resistentes a sólidos en suspensión
- ✓ Larga vida útil al medidor de chorro múltiple por la buena orientación al momento de instalar.

2.3 METROLOGÍA DE MEDIDORES MECÁNICOS PARA USUARIOS RESIDENCIALES Y COMERCIALES

Existen parámetros generales para los contadores de agua independientemente de los tipos. Estos nos ayudan a caracterizar los distintos tipos de funcionamiento de los medidores. Los parámetros metrológicos tienen que ver con la incertidumbre, delimitación y cuantificación del error de medición.

Nos enfocamos en los parámetros metrológicos, que están directamente relacionados a la función del medidor. El volumen de agua que circula a través de ellos. Se detallan a continuación:

Volumen Real: es el volumen que ha circulado por el medidor en un tiempo determinado. El caudal real se obtiene de la relación entre el volumen real y el tiempo.

Volumen Medido: es el volumen que muestra la lectura del medidor. El caudal medidor se obtiene de la relación entre el volumen medidor y el tiempo.

Error de medición absoluto: Resulta de la diferencia entre el volumen real menos el volumen medido. Puede ser tanto positivo como negativo. En caso de que sea positivo se la denomina sobrecontaje y si es negativa subcontaje.

Error de medición relativo: Relación entre el error absoluto y el volumen real. Es un parámetro adimensional y este también puede ser positivo y negativo.

Curva de error del contador: Como el error de medición relativo de los medidores no son constantes y varían dependiendo del caudal que circula se representa con una curva la misma que es denominada curva de error.

Resulta importante conocer la curva de error de cada medidor puesto que con este parámetro se puede conocer la fiabilidad del funcionamiento. Las normas se enfocan mucho en este factor por lo que hay que estar al tanto de los requerimientos. La clasifican en tres zonas y cada una de ellas cuenta con un error máximo permitido.

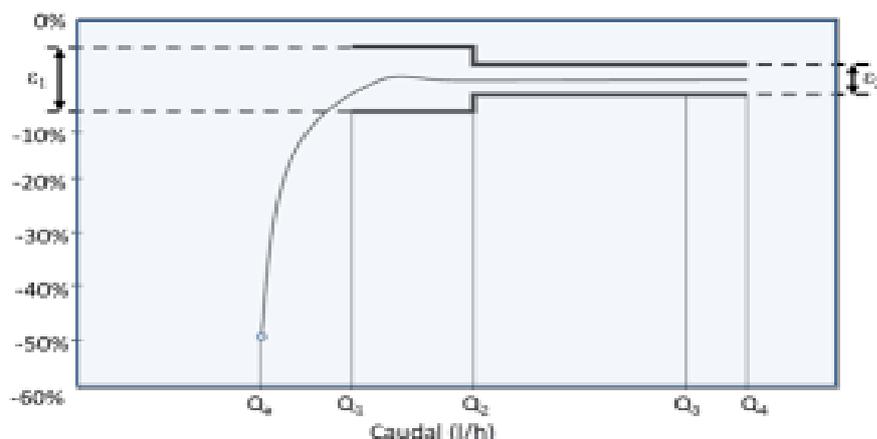


Ilustración 8.- Errores máximos permitidos

Fuente: Medición e Instrumentación – Francisco Arregui

En la primera zona es donde encontramos el error del medidor en 100%, es decir, se traduce como agua que no es contabilizada debido a que el flujo puede ser muy lento y no es detectado el instrumento. En la zona número dos es donde se encuentra el caudal mínimo hasta llegar al caudal de transición y se tiene un error máximo permitido del 5%, mientras que en la tercera zona es donde está el caudal de transición hasta el caudal máximo se permite un error del 2%; esta reducción del porcentaje de error es debido a que según estudios en la parte superior el caudal no varía tanto.

Debido a que la calidad metrológica de los medidores que está ligada a la curva de error, las normas cuentan con unos caudales característicos:

- Caudal de arranque: no es fácil de determinar ya que es el caudal que le da movimiento al medidor y este con exactitud no se encuentra en ninguna norma. Este concepto es importante al momento de la determinación del porcentaje del volumen registrado por un contador.
- Caudal mínimo: mínimo caudal en el que el contador empieza a funcionar dentro del error máximo permitido.
- Caudal de transición: es el caudal que está entre el mínimo y el permanente, este es el caudal que separa la zona inferior y la zona superior.
- Caudal permanente o nominal: valor máximo de caudal para que funcione correctamente el contador.
- Caudal máximo o de sobrecarga: valor de caudal para el cual el medidor funciona de forma excepcional en periodos cortos.

En diferentes normas y a las diferentes calidades metrológicas de los contadores se las denomina como clases metrológicas. La norma ISO 4064:2005 tiene un abanico de clases metrológicas más amplias que en todo caso se destacan estos parámetros metrológicos antes mencionados.

La normativa nos ayuda a regular el funcionamiento y características constructivas de los contadores de agua que son realmente importantes para avalar una buena metrología.

La ISO4064:1993 es la versión anterior a la que nos regiremos en este trabajo de investigación, se mencionarán ciertos apartados de esta normativa para su conocimiento.

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 9.- Caudales característicos por clase metrológica. ISO4064:1993

Fuente: ISO 4064:1993

La ISO4064:1993 está compuesta de tres partes diferentes:

- ❖ Especificaciones
- ❖ Condiciones de instalación
- ❖ Métodos y materiales para los ensayos

Algunos puntos importantes que se rescatan de esta norma son

1. Es aplicable a los instrumentos de medida que determinan de manera continua el volumen de agua que atraviesa por ellos, excluyendo cualquier otro líquido. Este instrumento debe ser mecánico.
2. La designación del medidor está establecida por el valor del caudal permanente y precedido de la letra N.
3. Se determinan cuatro clases metrológicas: A, B, C y D también en función del caudal permanente. Se las muestran en la siguiente ilustración.

La norma ISO4064 – 2005, sirve también para la calibración tanto de medidores como de banco de ensayo (volumétrico) utilizado en el taller de medidores. Es realmente importante conocer los requerimientos ya que en base a esto funcionará el banco de ensayo y se corregirá los errores de medición.

4. El valor del caudal de sobrecarga se define para todas las clases metrológicas como el doble del caudal permanente.
5. El error máximo permitido para cada rango de caudal está establecido entre 5% y 2%. En ningún caso varían las tolerancias de error en una clase metrológica a otra.

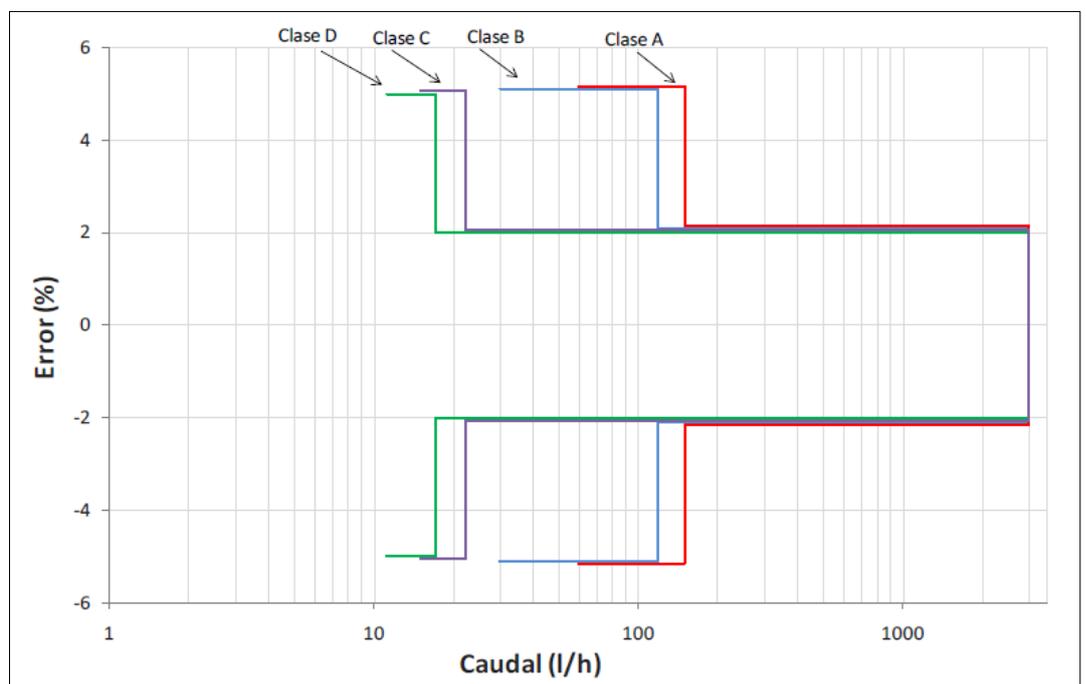


Ilustración 10.- Clases metrológicas para medidores según ISO4064:1993

Fuente: Informe – Xavier Molina

6. La presión de trabajo mínima admisible para un medidor queda establecida en 10 bar para todos los contadores. En caso de que esta sea mayor deberá quedar señalado ese instrumento en la parte exterior.
7. La temperatura de trabajo máximo admisible queda establecida en 30 para todos los contadores.

La norma a la que este trabajo de investigación se rige es la ISO4064:2005. Esta norma es una actualización de la ISO 4064:1993. A pesar de que la nueva versión es

prácticamente idéntica a la anterior, trabajaremos con la del 2005. No obstante, la versión de 1993 sigue siendo aplicada a algunos contadores que aún se comercializa.

La ISO4064:2005 está compuesta de tres partes diferentes:

- ❖ Especificaciones
- ❖ Condiciones de instalación
- ❖ Métodos y materiales para los ensayos

Algunos puntos importantes que se rescatan de esta norma son

1. Trabaja con contadores de agua basados en principios electrónicos o con contadores mecánicos pero que cuenten con algún tipo de instrumento electrónico.
2. Los medidores de agua son caracterizados por el diámetro nominal de las conexiones. Cada diámetro cuenta con una serie de valores: longitud, altura y anchura.
3. La clase metrológica del contador se denominan: caudal mínimo (Q1), caudal de transición (Q2), caudal permanente (Q3) y caudal de sobrecarga (Q4).
4. El caudal que predomina es el permanente por lo que se puede identificar de manera más rápida el medidor. Y esta expresado en m³/hora.
5. El caudal permanente Q3 debe ser restringido a algunos valores que se muestran en la siguiente tabla.

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: Cindy Correa Reinoso

6. El caudal mínimo y la calidad metrológica del contador se rige a la relación Q3/Q1.

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: Cindy Correa Reinoso

7. La marca de cada medidor será de la siguiente manera: la letra R precedida de la relación Q3/Q1.
8. El caudal de transición Q2 se establece de la relación Q2/Q1, pero este tiene un único valor de 1.6
9. El caudal de sobrecarga tiene un único valor de 1.25 a pesar de que este también se establece de la relación Q4/Q3
10. El error máximo permitido para los rangos de caudales queda definido de la siguiente manera: 5% desde el caudal Q1 (mínimo) hasta el caudal Q3 (transición) y $\pm 2\%$ desde el caudal Q3 (transición) hasta el caudal Q4 (máximo).

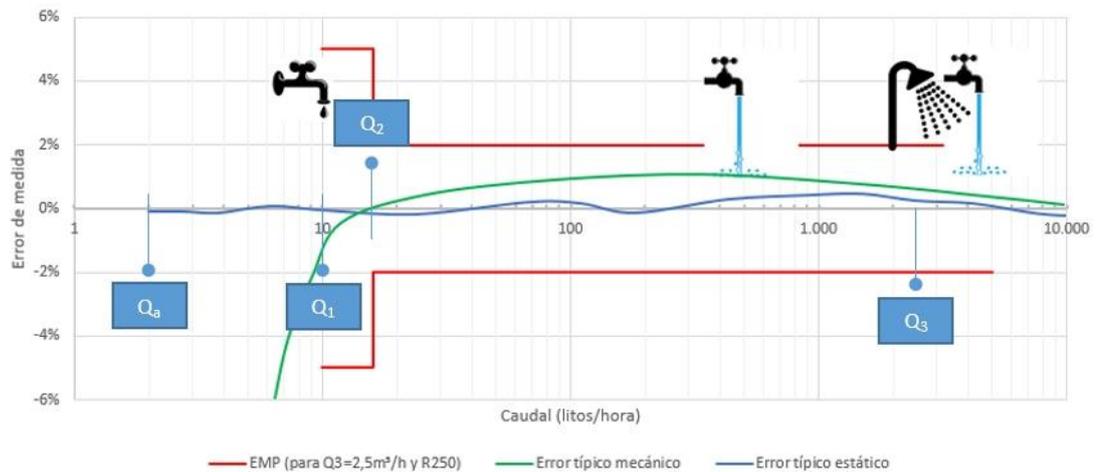


Ilustración 11.- Límite de error en un medidor de $Q_3 = 2.5 \text{ m}^3/\text{h}$

Fuente: FACSA, Ciclo Integral del Agua

Existen también diferentes clases de medidores que dependen de la presión, de la sensibilidad y de la temperatura y que cuentan con sus propias nomenclaturas.

Se establecen tres clases para las condiciones climáticas y mecánicas del contador

Clase B: Contadores fijos en interior

Clase C: Contadores fijos en exterior

Clase I: Contadores móviles

Para estas clases mencionadas se define un nivel de severidad en cuanto a calor seco, húmedo, frío, vibraciones y golpes y que son considerados en el laboratorio de ensayo.

2.4 DESCRIPCIÓN Y TIPOS DE BANCOS DE ENSAYOS

Uno de los pilares fundamentales para la gestión de un parque de medidores es el control metrológico de los contadores por ello es importante realizar ensayos de error con procedimientos establecidos y buscando la mayor exactitud posible.

El banco de ensayos se encarga de mantener en buen estado el parque de medidores debido a que es el encargado de regular, controlar y verificar el funcionamiento de los mismos, además, es un factor primordial para la medición de consumos y facturación.

Controla la precisión de los medidores en servicio, verifica la metrología de medidores y regula todas las acciones de las áreas de operación para un mejor desempeño y optimización del agua. Resulta importante mantener y controlar la precisión de los medidores de agua con los que se trabaja.

Con la ayuda de estos bancos de ensayos se determinan las curvas más relevantes, la curva de error y la curva de pérdidas de carga. También establece los caudales característicos: caudal máximo, caudal de transición, caudal permanente y caudal mínimo.

Un banco de ensayo de medidores es un equipo que se puede fabricar a partir de una versión económica y simple, hasta tener una alta tecnología con equipos especializados.

Tener en cuenta que es importante considerar si se requiere un banco de ensayo propio o subcontratado, esto dependerá del tamaño de muestra que se analice ya que si se opta por un banco de ensayos propio debemos estar conscientes de que implica mayor costo

por mantenimiento, por ende, esto resultaría óptimo si se está evaluando constantemente parques de medidores.

Los medidores de agua que pertenezcan a un mismo tipo o mismo caudal podrán ensayarse en serie con la condición de que la presión de salida de los medidores debe ser mayor a la presión atmosférica para evitar cavitación.

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

- Bancos Volumétricos: Usan tanques con escalas graduadas que permiten saber la cantidad de agua que pasa por los medidores ensayados.
- Bancos Gravimétricos: Usan una balanza. Emplean reservorios de dimensiones cualquiera y son más precisos que los bancos volumétricos.
- Bancos portátiles: Se fabrican para probar medidores en sitio. Las condiciones de presión varían en el ensayo por lo que resulta no ser tan confiable que un banco de ensayo estacionario.

Básicamente, este banco de ensayo mostrado en la ilustración 7, está compuesto por un depósito de succión, grupo de bombeo, un tanque hidroneumático, varios filtros, válvulas de control, caudalímetros, una bandeja donde colocar los medidores ensayados. Adicionalmente, se puede aumentar instrumentos de presión y temperatura.

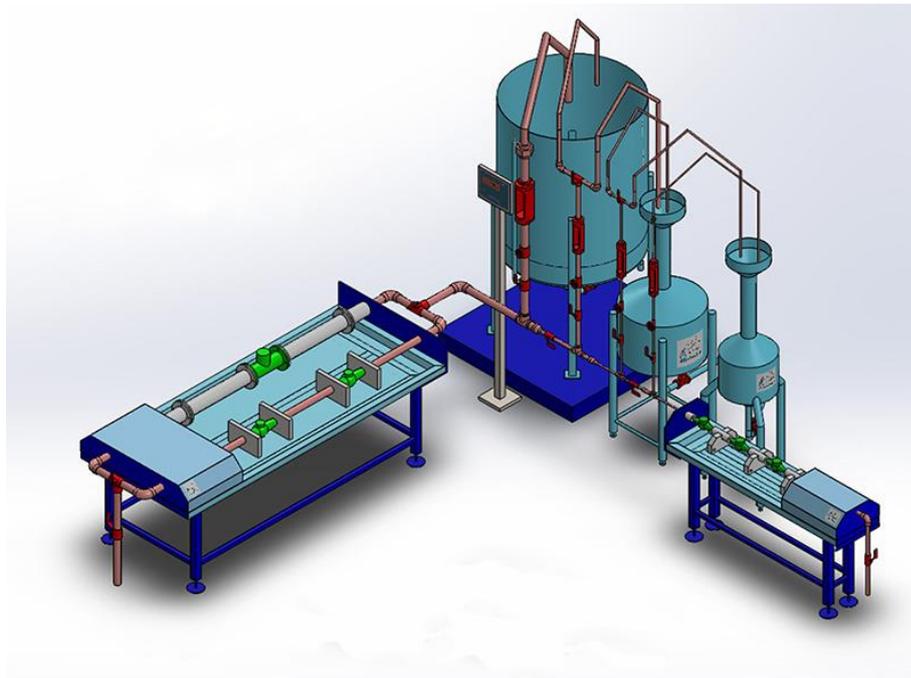


Ilustración 12.- Esquema de un banco de ensayo

Fuente: <http://www.ibpcal.com/es/bancos-de-ensayo>

El propósito del depósito de succión es evitar la cavitación en la bomba, por ende, tiene que tener suficiente capacidad para cuando se ensaye con el medidor de mayor diámetro no sufra interrupciones innecesarias. También, debe tener una capacidad volumétrica que garantice que durante los ensayos con bombas la temperatura del agua no sobrepase las normas establecidas. Según el rango de caudales de ensayo, puede ser necesario el uso de dos o más bombas en paralelo (Arregui, 2007).

La presión mínima de la bomba deber ser suficiente para eliminar las pérdidas de carga. Generalmente a caudal máximo, esta pérdida de presión está por debajo de 1 bar por lo que se puede deducir que la altura mínima para la bomba a caudal máximo está dada por la siguiente ecuación:

$$H_b = \text{números de medidores ensayados} * 1.2$$

Es recomendable que en el grupo de bombeo se instale un depósito hidroneumático para que merme las vibraciones que se provocan en la bomba y el objetivo de esto es obtener un ensayo fiable. Hay que prevenir que la presión en el depósito hidroneumático no se reduzca y afecte al caudal de ensayo más de lo permitido. Como solución para el banco de ensayo es permitir que se lleve a cabo los ensayos con una presión de entrada libre de las vibraciones en el grupo de bombeo. A su vez, la instalación de una válvula reductora de presión para ayudar a mantener el caudal de ensayo constante es también una solución.

Por otro lado, con la ayuda de filtros se logra disminuir los sedimentos o partículas que entran desde el depósito de succión y dañan a los medidores. Estos filtros resultan importantes en casos de que se los usen como instrumentos volumétricos de sección reducida.

Dependiendo del tipo de banco de ensayo que se utiliza, se pueden usar los caudalímetros: mecanismo para convenir el caudal o como elemento de comparación para el error en los contadores ensayados. Ambas tienen exigencias diferentes. Si son usados para ajustar el caudal se acepta un error hasta el 2%, mientras que si es el caso de elemento de comparación se acepta un error en el intervalo de 2% a 5%.

Estos instrumentos se pueden instalar aguas arriba o aguas debajo de los medidores sujetos a ensayos siempre y cuando cumplan con las exigencias o normas.

3 CAPÍTULO III: PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DETERMINACIÓN DEL ERROR DE MEDICIÓN DE MEDIDORES MECÁNICOS PARA USUARIOS RESIDENCIALES Y COMERCIALES

3.1 ENSAYO DE BANCO DE PRUEBAS

El objetivo es identificar el grado de error que están registrando los instrumentos de medida seleccionados mediante la muestra estadística.

Este proceso de ensayo se lo realiza a los medidores tanto antes como después, es decir, previo a la instalación para conocer el error del instrumento ya que no es recomendable deducir que este viene con un porcentaje de error de 0%, y también después de un tiempo determinado para asegurar un buen estado del parque de medidores.

Como primer paso, es necesario informar a los usuarios de la zona a analizar que sus medidores de agua serán extraídos por un determinado tiempo hasta que el análisis concluya, mientras tanto, se les coloca un medidor electrónico el cual seguirá registrando el consumo, luego de ser retirados son llevados con mucha cautela al laboratorio.

A pesar de que el tipo de ensayo gravimétrico es más preciso, en este proyecto se trabajó con un banco de ensayo tipo volumétrico, el cual se compone de un tanque elevado, el mismo que suministra el agua para los medidores de ensayo. Cuenta también con una mesa en la que se ubican los contadores de agua a ensayar unidos mediante tuberías y neplos por donde atraviesa el caudal de ensayo, este es manejado por válvulas monitoreadas por los trabajadores. El caudal a ensayar sube hasta llegar al reservorio donde se deposita el agua, el mismo que es calibrado y se rige a las normativas INEN. Una vez realizado esto, se procede a comparar el volumen de agua que registra cada contador y el volumen que entro al reservorio, con una simple resta se conocerá el error del instrumento.

Brevemente se explicó cuál es el procedimiento que se utiliza para su cálculo de error, no obstante, existen otros factores como el aire, presión, etc. que también forman parte

de este proceso, las cuales se van regulando a medida que se ensaya. El parámetro presión es importante debido a que en la zona a analizar se considera una presión de 1 a 2 bares, por lo tanto, este valor no puede ser elevado.

Del mismo modo, para caudales más grandes se cuenta con un reservorio en el que abarca más volumen, pero la diferencia es que para estos caudales de ensayo se requiere de bomba, la cual también forma parte del banco de ensayo volumétrico.



Ilustración 13.- Representación de Banco Volumétrico

Fuente: <https://www.testotis.es/servicios/calibracion/variables-de-medicion-de-caudal/>

3.1.1 Ensayos realizados en el laboratorio de medidores

Mediante entrevistas realizadas al encargado del taller de micromedidores, se presenta algunos de los ensayos generales que se practican a cada uno de los micromedidores. Como ya se ha mencionado, el objetivo es lograr identificar el grado de error que tienen los micromedidores que han sido seleccionados en la muestra estadística; ya sean antes

de su instalación o después debido a que no es correcto considerar que un contador de agua por ser nuevo cuenta con un 0% de error.

Los ensayos son:

- a. Ensayo de error de indicación: Estas pruebas se realizan con los caudales típicos exigidos por la norma ISO4064 – 2005 a la que se rige este documento, el resultado de estas pruebas debe pasar los certificados de calibración. Este ensayo toma alrededor de 1 o 2 horas. Para este caso hay que tener el análisis de las curvas y márgenes de error de manera que permitan saber el nivel de pérdidas ya sea para: reposición, cambio o reinstalación.
- b. Ensayos para la identificación del patrón consumo: Este proceso puede tardar un poco más ya que se ensaya con cierto caudal para toda la muestra de medidores, se necesita conocer el comportamiento del usuario y se requiere ser lo más detallado posible. Los rangos de caudales están expresados en las siguientes unidades: Litros / Horas y se ensayaron los caudales a continuación.
 - 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 (Ilustración 16). También, se

analizó una gráfica (Ilustración 17) de producción con los siguientes datos: segmento horario vs factor.

3.2 SELECCIÓN DE MUESTRA

Con el fin de obtener una muestra homogénea, se estratifica el parque de medidores dependiendo de las características de cada contador entre ellas el modelo, material, año de instalación, volumen acumulado. Esta clasificación debe estar bien definida para asegurar un resultado más eficiente.

Para este trabajo, utilizaremos el método de distribución normal en el que interviene una variable aleatoria de muestreo simple que consiste básicamente en una técnica probabilística donde aleatoriamente es elegido un grupo de elementos dentro toda una población, no obstante, todos los elementos de esa población tienen la misma probabilidad de elección. Es importante tener el tamaño de muestra correcta para evitar un error grande.

El objetivo de este método es fácil y simple, consiste en obtener la mayor información sobre los parámetros de la población. Un intervalo de confianza es de vital importancia al igual que la precisión del muestreo y otros factores, a continuación, se presentará la fórmula para determinar el tamaño de la muestra:

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

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

Estadísticamente el cálculo del nivel de confianza se lo determina de la siguiente manera.

$$Z = \frac{x * \mu}{\sigma}$$

Esta ecuación nos dice que el nivel confianza está en función de los datos a analizar multiplicados por la media de la población entre la varianza de la misma, es decir es un rango de valores donde se espera encontrar una determinada probabilidad del verdadero valor. Uno de los objetivos es que la desviación estándar sea baja para los medidores.

Este porcentaje de nivel de confianza se basa como ya se ha mencionado en distribuciones normales, es decir, que entre 90% - 99% de las observaciones están dentro del rango $\pm 1.64 - \pm 2,57$ de desviaciones estándar alrededor de la media.

El uso del nivel de confianza 95% ayuda a identificar los componentes con una gran varianza y por ende los impactos más altos en la exactitud de la medición de resultados. Una vez ya identificados se pueden analizar métodos para mejorar la exactitud de los resultados.

Para agilizar los cálculos contamos con una tabla del factor de fiabilidad para diferentes niveles de confianza.

<i>Nivel de confianza</i>	90%	95%	99%
<i>Coeficiente de confianza (z)</i>	1,64	1,96	2,57
<i>z²</i>	2,69	3,84	6,6

Tabla 3.- Factores de fiabilidad para diferentes niveles de confianza

Fuente: Cindy Correa Reinoso

Para efecto del estudio, se ha tomado un nivel de confianza del 90% según la tabla 3 el valor de Z es igual a 1.64, con un error esperado de la muestra del $\pm 10\%$ y para las probabilidades de ocurrencia y fracaso se tomará en cuenta un 50% para cada una. Por lo tanto, la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$n = \frac{2,69 * 0,50 * 0,50 * 40000}{0,10^2 (40000 - 1) + 2,69^2 * 0,50 * 0,50}$$

Es decir, para un total de 40000 usuarios residenciales, el tamaño de la muestra resulta ser de 60 micromedidores.

Debemos tener presente que mientras menor sea el tamaño de la muestra el error permitido será más alto porque se analizó menos micromedidores y podemos obtener un resultado con un poco de más incertidumbre, pero no por eso deja de ser válido. Caso contrario si tenemos mayor tamaño de muestra el error será menor.

3.2.1 Clasificación de los Medidores Extraídos

3.2.1.1 Clasificación por Marca de Micromedidores: Como se ha mencionado en el numeral anterior la cantidad de medidores a ensayar serán 60, los mismos que serán clasificados por su marca para saber cuál es la más preponderante.

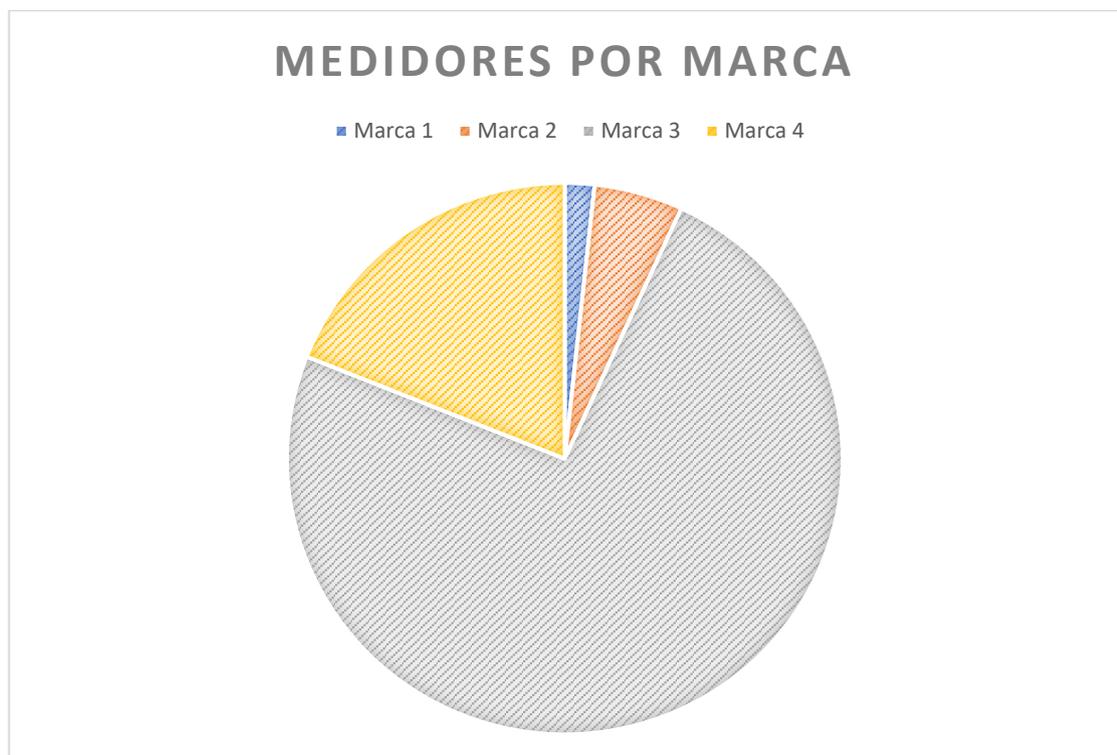


Ilustración 14.- Clasificación de Medidores por marca

Fuente: Cindy Correa Reinoso

En la ilustración 14 se demuestra que la marca más relevante en ese grupo de medidores es la marca número 3, a la que la empresa portadora del servicio se ha confiado más ya sea por ser más efectiva o más rendidora. Esta marca de medidores ocupa un 74% de equipos seguido por la marca número 4.

3.2.1.2 Clasificación por Años / Edad de los Micromedidores e Instalación: Los micromedidores extraídos tienen una vida útil de 10 años, de esta manera se los va a clasificar según vida de servicio desde su instalación. Es preciso acotar que el promedio de la vida de estos micromedidores es de 4.5 – 5 años. Teniendo en cuenta que la base de datos fue ensayada entre 2009 - 2011; extrayendo medidores instalados desde el 2004 hasta el 2008.

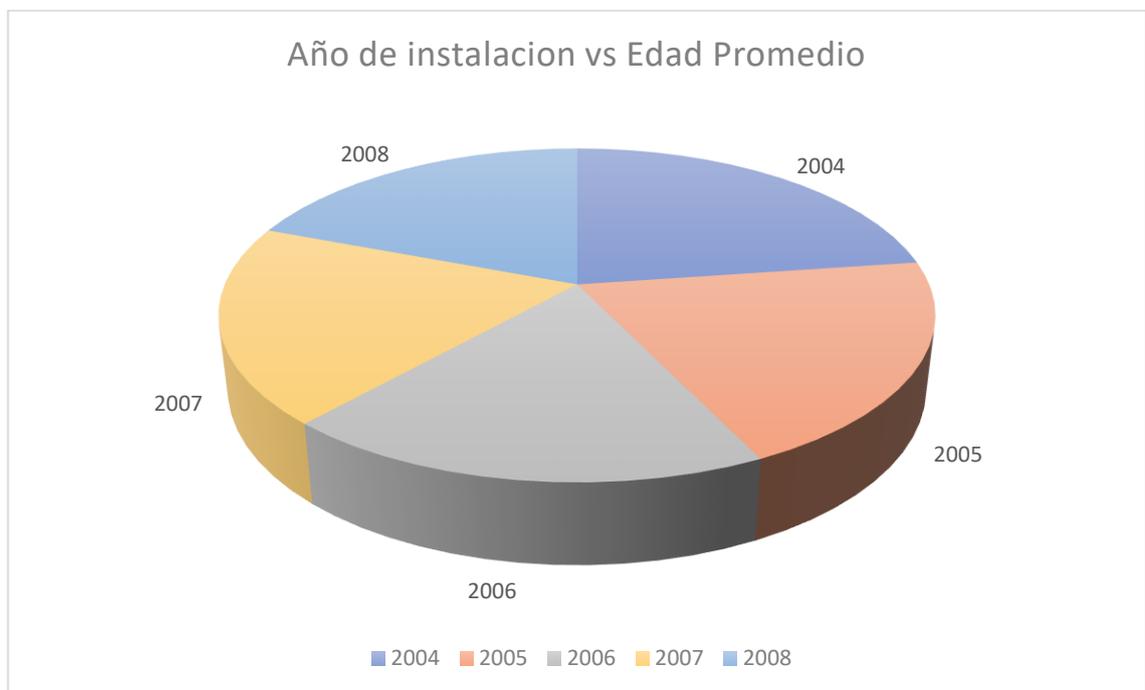


Ilustración 15.- Clasificación de medidores extraídos por Edad y Año de Instalación.

Fuente: Cindy Correa Reinoso

3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

3.3.1 DETERMINACIÓN DE PERFIL DE CONSUMO DE USUARIOS

Uno de los factores importantes a hallar es el perfil de consumo con el que se logra segmentar los caudales típicos de consumo de los usuarios en distintos períodos de tiempo y así conocer cuál es el porcentaje de volumen consumido en dichos rangos.

Resulta imprescindible conocer la forma en la que los usuarios consumen el agua distribuida, a que caudales se reportan mayor consumo para así establecer la demanda y por ende las dimensiones de los medidores y redes de distribución, pero sobre todo para la determinación del error global. Se debe prestar atención a la selección de los rangos de caudales.

La obtención de este parámetro importante debe ser muy minucioso tanto en campo como en el laboratorio, como los usuarios son tantos se recurre a la selección de muestra que tenga la incertidumbre más baja para poder obtener un resultado más fiable.

Se presenta mediante un histograma, en el eje de las abscisas tenemos los diferentes rangos de caudales a analizar mientras que en el eje de las ordenadas encontramos el volumen en dos presentaciones: metros cúbicos y porcentaje. Resulta más fácil encontrar el perfil de consumo de esta manera ya que el usuario a lo largo del día no consume el mismo caudal.

Básicamente, el primer paso es clasificar en: calidad de instalación, presencia de depósitos domiciliarios, tamaño y tipo de vivienda (Arregui, 2007). Pero nos enfocaremos en el más importante que es el tipo de vivienda.

La caracterización que se tomará en cuenta para este proyecto es el siguiente.

- Tipo I: Viviendas con alimentación directa a la red.
- Tipo II: Viviendas con cisterna.

Un mismo contador midiendo diferentes tipos de abonados puede contabilizar errores diferentes ya sean del 2% o el 100%, por eso es importante clasificar el tipo de usuario (Ramirez, 2018). Existen dos tipos de usuarios: grandes consumidores y usuarios

domésticos, ambos se analizan de manera diferente. Los usuarios domésticos trabajan bajo técnicas estadísticas como lo haremos en este proyecto.

Por otro lado, hay que tener en cuenta la magnitud y homogeneidad de cada grupo para que el resultado no se vea afectado y genere fiabilidad, en esta base de datos se trabajó con una sola clase metrológica lo que se traduce en un grupo homogéneo.

En segundo lugar, se extrae el medidor existente de la vivienda para ser ensayado en el laboratorio, mientras que en campo se instala un micromedidor electrónico que analice el volumen de agua en un determinado periodo de tiempo. Luego para calcular el error ponderado se multiplica el error de ese tipo de medidor por el volumen consumido en ese rango de tiempo.

Los caudales de consumo de los usuarios en rangos inferiores se ven afectados generalmente por fugas y condicionan la exactitud de medición debido a que el medidor cuenta con un caudal de arranque o un caudal mínimo. Si estos caudales están por debajo del mínimo el medidor no procede a registrar.

Por último, la duración de las mediciones principalmente está condicionado por el presupuesto, es decir que si hay disponibilidad económica se puede realizar un estudio más detallado y por ende un mejor resultado. Pero, también depende del estado de la red de distribución debido a que sin la presencia de fugas el tiempo para obtener resultados es menor. Sin embargo, la presencia de fugas varía la distribución del caudal de consumo y esto puede llevar más tiempo.

Uno de los hallazgos al realizar esta investigación corresponde a identificar los perfiles de consumo por rango de caudales, en los cuales los clientes consumen agua y por tanto las horas picos y valles.

Por un lado, tenemos la ilustración 16 la misma que nos dice en porcentaje el volumen consumido por el abonado en los rangos de caudales, donde es relevante el 23,21% como el más alto y donde se nota el mayor consumo. Posteriormente se muestra la tabla en anexo 3 con la que se calcularon dichos porcentajes de todos los datos analizados, de la que se obtienen los valores de volumen consumido por cada medidor dentro de un mes y después se tienen los rangos de caudales a los que se va a ensayar. A todos estos valores se les calcula un promedio como se muestra en la tabla resumen 4 y con dichos resultados se continua con la gráfica.

PATRON DE CONSUMO											
Rango de Caudales de Ensayo(%)											
0 - 7	7 - 15	15 - 22.5	22.5 - 60	60 - 120	120 - 250	250 - 500	500 - 750	750 - 1000	1000 - 1500	1500 - 3000	3000
0,40%	3,15%	2,19%	6,15%	4,10%	11,14%	23,21%	17,19%	13,15%	15,01%	4,30%	0,00%

Tabla 4.- Porcentaje de volumen consumido correspondiente a los datos ensayados

Fuente: Cindy Correa Reinoso

Las unidades de los caudales están en litros/hora

Del mismo modo se muestra la tabla resumen 5 el promedio de volumen consumido a cada hora del día

FACTOR											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,45	0,45	0,45	0,45	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,37	1,37
FACTOR											
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1,37	1,25	1,25	1,25	1,25	1,09	1,09	1,09	1,09	0,45	0,45	0,45

Tabla 5.- Promedio del volumen consumido las 24 horas del día.

Fuente: Cindy Correa Reinoso

En la ilustración 17 se analizaron estos resultados para determinar picos y valles. Se observa un fuerte cambio entre las 4 – 5 de la mañana donde generalmente las personas empiezan su día laboral. Se deduce que entre las 5 am - 10 am el consumo es contante. Se registra un pico, el más alto, entre las 10 am y 2 pm, el consumo es elevado. Entre las 2 y las 6 de la tarde el consumo va disminuyendo. Desde las 6 a las 9 pm se reduce un poco más debido a que los datos reflejan que no hay mucho consumo, se considera constante en esas horas. En la noche hasta las 12 am un cambio brusco de bajada debido a que es un horario donde se presenta poco consumo porque son horas de descanso.

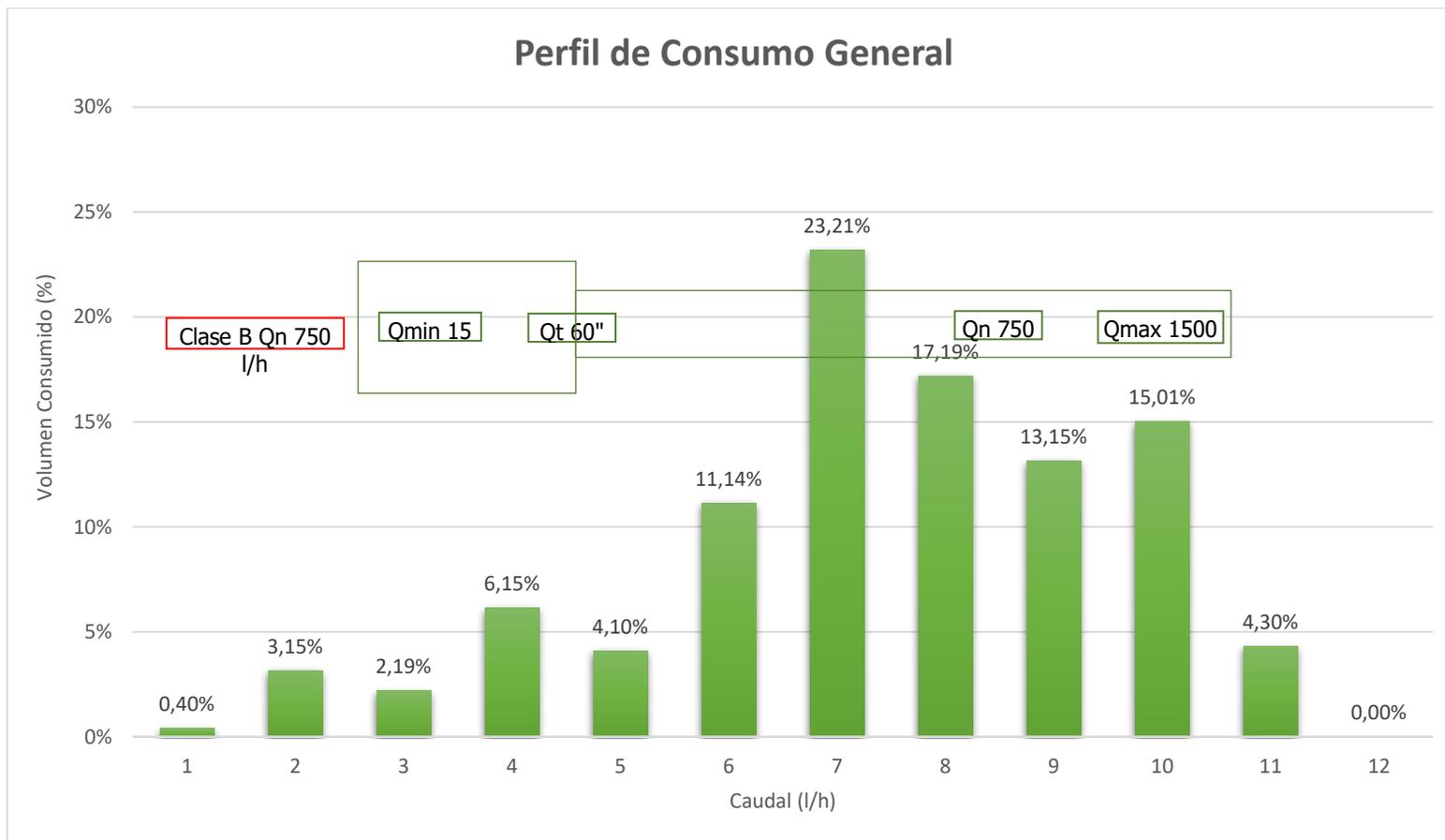


Ilustración 16.- Patrón de Consumo en porcentaje

Fuente: Cindy Correa Reinoso

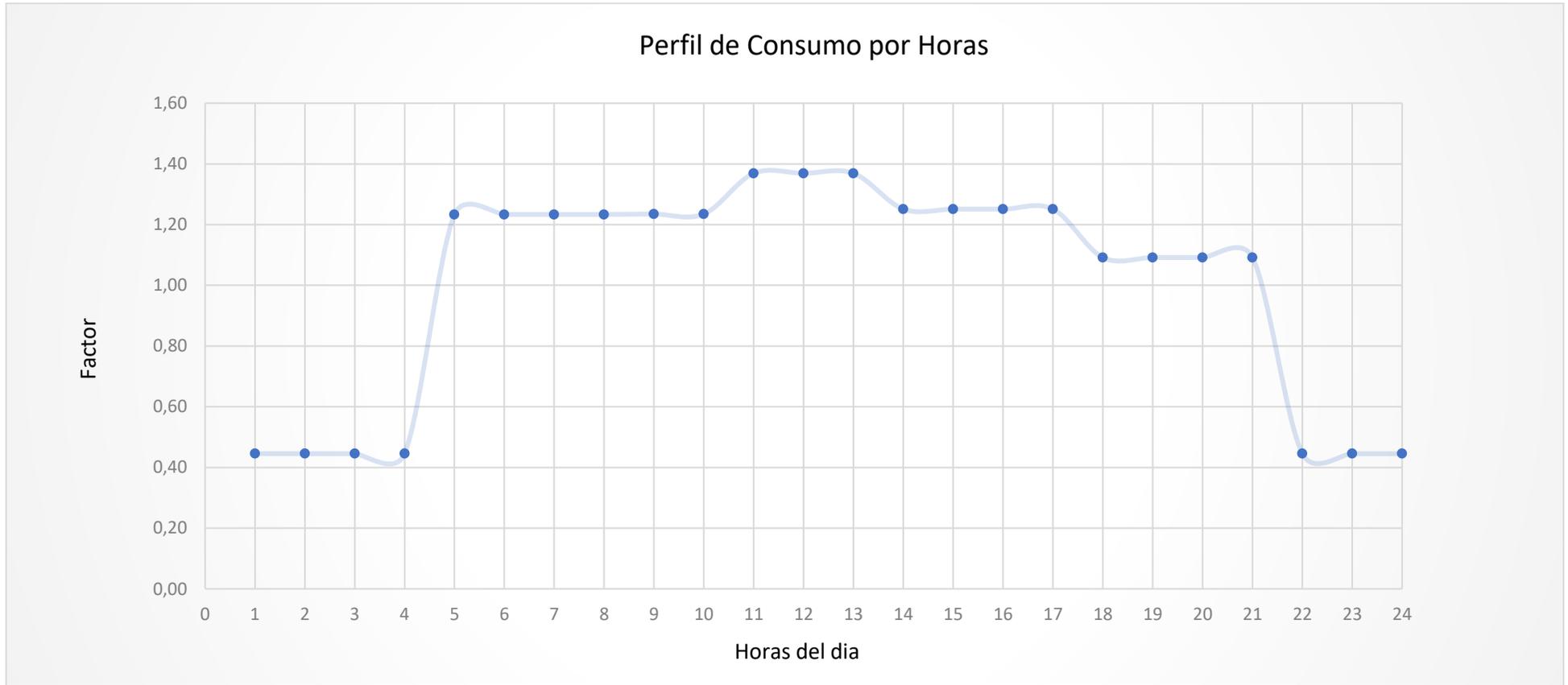


Ilustración 17.- Curva de Consumo Diario - Usuarios Residenciales S72

Fuente: Cindy Correa Reinoso

3.3.2 DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE ERROR DE MEDICIÓN

Como sabemos existen varios tipos de contadores y cada uno de ellos tiene su propia curva de error, la misma que ayuda a definir la calidad y capacidad del contador. Evidentemente, no todos los tipos de medidores sufren el mismo desgaste e incluso con la misma tipología de contador se presentan notables diferencias, hay que tener en cuenta que son factores importantes para la obtención de la curva.

En primer lugar, se debe seleccionar los caudales a los que se van a ensayar los medidores, según la AWWA, los caudales que tradicionalmente se analizan son: caudal inferior, intermedio y superior. Como siguiente paso planificamos el muestreo de modo que se acote la incertidumbre hasta los niveles deseados (Arregui, 2007).

Al tener claro los rangos de caudales que se van a ensayar podemos proceder con el cálculo de la curva de error. Hay que tener en cuenta que con caudales bajos debemos realizar un análisis más detallado ya que aquí es donde se altera un poco la curva, para ello es importante conocer el caudal de arranque que no es más que el mínimo caudal que mantiene un contador en movimiento.

En la ilustración 18 se puede observar que existen dos zonas, inferior y superior, con cuatro caudales ensayados. En la zona inferior como ya sabemos encontramos errores más grandes hasta alcanzar el caudal mínimo; el segundo caudal es el que dividirá las dos zonas y se denomina caudal de transición este ya está en un rango permitido de error. Y por último los dos caudales ubicados en la zona superior en los que el error se puede considerar constante. Esta gráfica es una representación de la curva de error de los medidores.

Por otro lado, como se ha mencionado anteriormente es importante tener en cuenta el caudal de arranque para una mejor visión de cómo empezará la curva de error por lo que mediante esta ilustración se explicará.



Ilustración 18.- Curva de error según ISO 4064

Fuente: Artículo Determinación del error de medición – José Casilla

Previo a realizar una hoja de cálculo con datos del medidor donde se incluye obligatoriamente los siguientes datos: Marca de medidor, Modelo de medidor, Tipo, Clase Metrológica en este caso clase B, Datos de ensayo como fecha de ingreso y retirada, rangos de caudales de la clase metrológica B: 3000l/h, 1500l/h, 500l/h, 250l/h, 120l/h, 60l/h y 30l/h. Es importante señalar la curva de error de la clase metrológica que se analiza ya que de eso dependerá si se pueden aceptar o no los rangos de errores.

Para medidores nuevos se toma una tolerancia del 5% entre los caudales Q1 y Q2, y un 2% para los caudales Q3 y Q4. Para medidores que ya han sido instalados y usados se tiene una tolerancia del doble del error a comparación de uno previamente instalado, es decir para el rango de Q1 y Q2 una tolerancia del 4% y por otro lado una tolerancia del 10% entre el caudal Q3 y Q4, esto como ya se ha explicado antes es debido a que caudales más altos se considera constante. En el anexo 6 se muestra una tabla con los valores de margen de error para la clase metrológica analizada y poder graficar el túnel de error del medidor.

Por temas de fiabilidad y generar un poco más exactitud a los datos, se trabajó con siete caudales. Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6 y Q7, lo que va a generar que se grafique mejor la curva de error de cada medidor.

En la tabla resumen que se muestra a continuación se observa un promedio de dichos caudales (Q1, Q1, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7) con los errores que cada medidor ensayado arroja. Recordar que la clase metrológica trabajada es Clase B y según eso tienen los caudales.

Clase B						
3000	1500	500	250	120	60	30
-2,13	-1,70	-1,02	-1,06	-4,26	-32,86	-99,85

Tabla 6.- Promedio de errores de medidores ensayados

Se adjunta el Anexo 7 con tabla de datos del error de cada medidor. Analizando cada valor hallado observamos que la curva está graficada correctamente y que cumple con los márgenes de errores como antes lo hemos explicado.

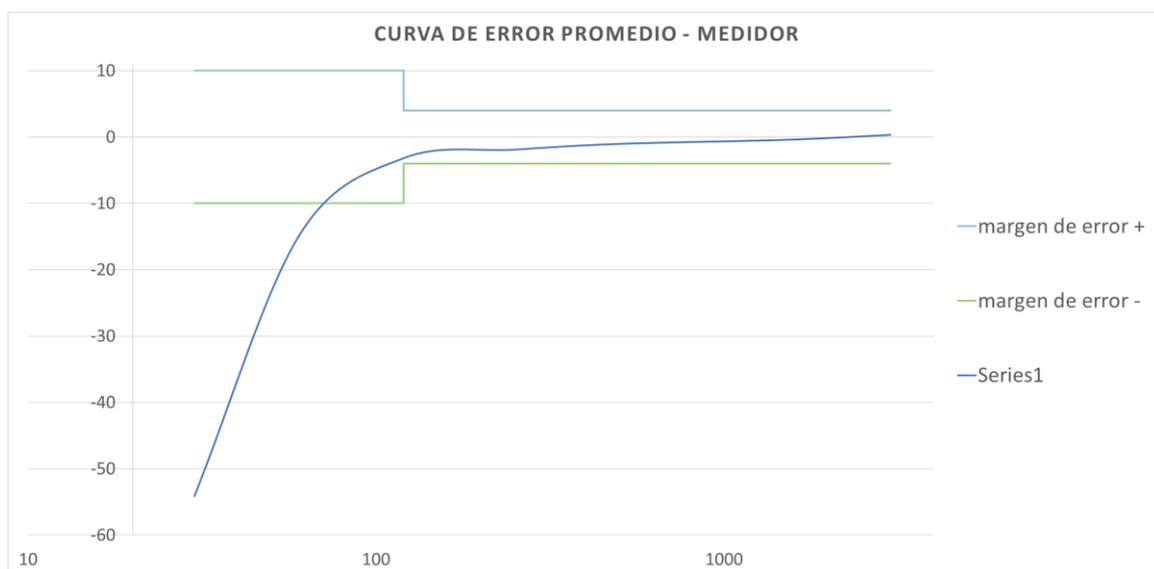


Ilustración 19.- Curva de Error Promedio del Medidor

Fuente: Cindy Correa Reinoso

La ilustración 19 nos muestra la curva de error del medidor clase B reconstruida en base a los datos recogidos. Una vez obtenida esta curva de error procedemos con el último cálculo y así poder hallar el error medio ponderado.

CURVA DE ERROR DE MEDIDORES ENSAYADOS

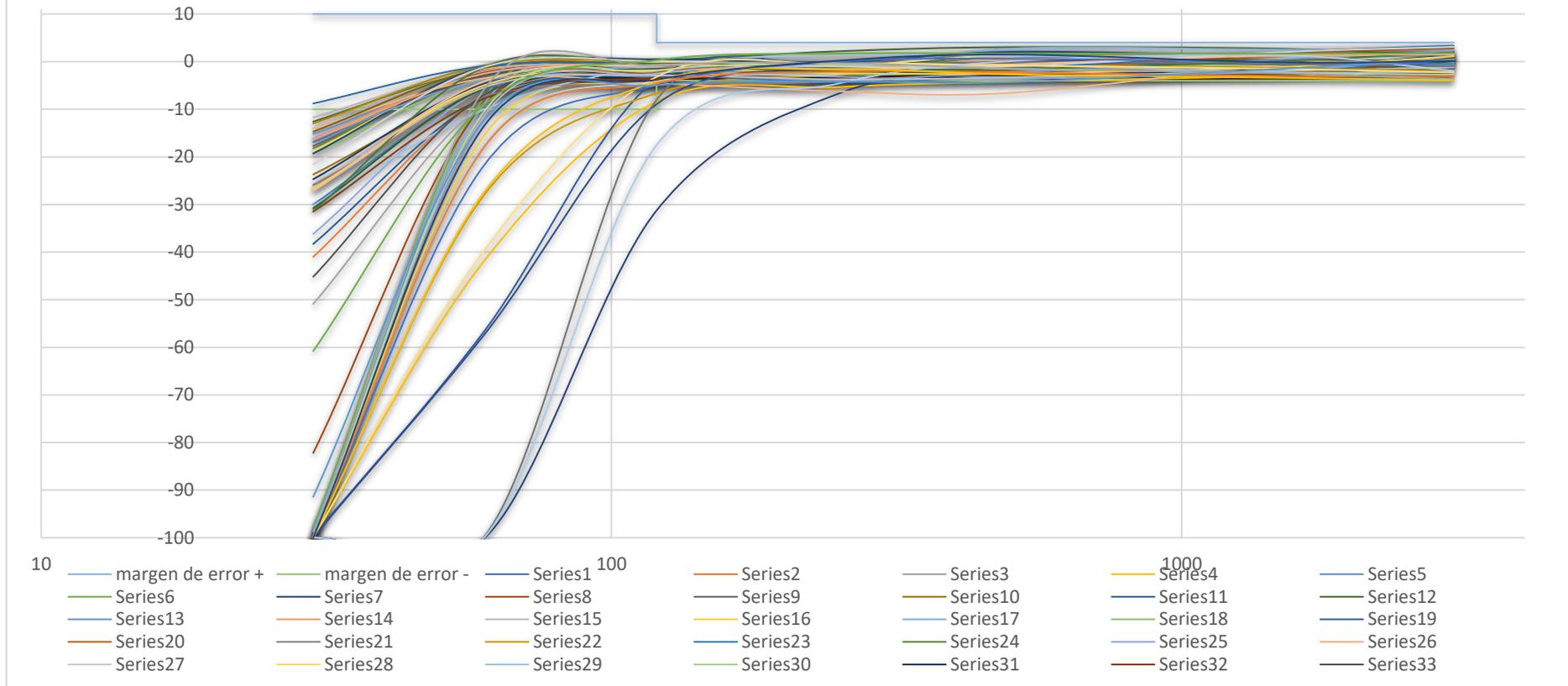


Ilustración 20.- Curva de error de cada medidor ensayado

Fuente: Cindy Correa Reinoso

3.3.3 CÁLCULO DEL ERROR MEDIO PONDERADO

Con el fin de obtener un único valor de error el cual denominamos error global o error medio ponderado en el parque de medidores hallamos los dos parámetros más influyentes que son la curva de error y el patrón de consumo para calcular el porcentaje de consumo y a su vez el porcentaje de error de los contadores en base a esos datos recogidos.

Evidentemente los instrumentos de medida van a sufrir cambios respecto a sus condiciones iniciales por el paso del tiempo, por esto, hay que conocer cómo evoluciona la curva de error del contador y por ende su error global, con esto determinamos el estado del parque de medidores.

La norma ISO 4064:2005 distingue a los medidores por su caudal y existen cuatro clases metrológicas conocidas: Q1, Q2, Q3, Q4. El error permitido que esta norma establece es del 5% entre el caudal de arranque y el caudal de transición y por otro lado el 2% entre el caudal de transición y el caudal de sobrecarga ya que en este último rango la curva de error no sufre muchos cambios. Otro caso de errores permitidos, es cuando el medidor está en uso y sus rangos van del $\pm 4\%$ y $\pm 10\%$, es decir, el doble de error que un medidor ensayado antes de su instalación.

En el cálculo intervienen los porcentajes de consumo de cada caudal de ensayo el cual será multiplicado por el porcentaje de error de medición. Estos procedimientos se hacen para cada patrón de consumo siendo así más ordenado para la obtención de resultados. La fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Error Global} = \% \text{ de consumo} * \left(\% \text{ error de } 30 \frac{l}{h} \right) + \% \text{ de consumo} * \left(\% \text{ error de } 60 \frac{l}{h} \right) + \dots$$

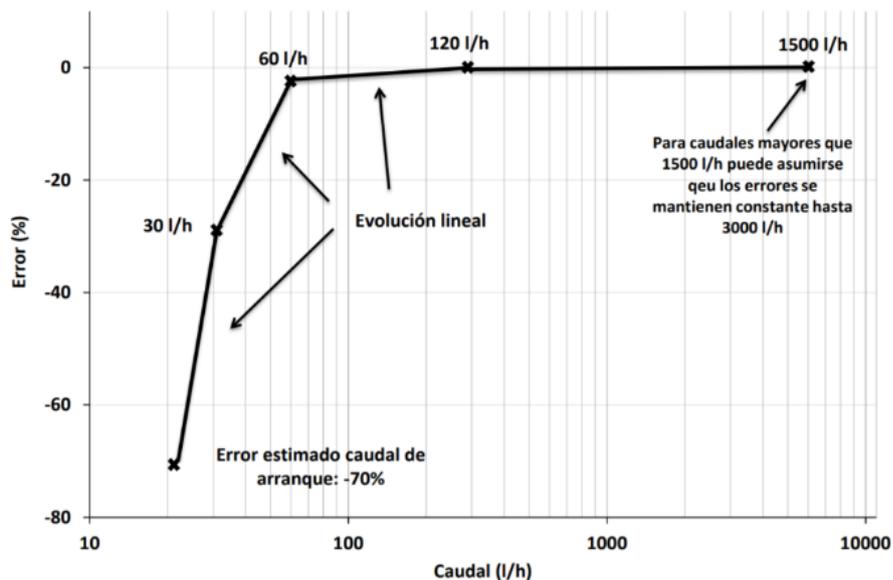


Ilustración 21.- Curva de error reconstruida

Fuente: Gestión Integral de Contadores de Agua

Los caudales de ensayo conforme a la ISO 4064 serían de 15 l/h, 30 l/h, 60 l/h, 120 l/h, 1500 l/h para una clase metrológica B.

Se puede observar en la ilustración 21 con respecto a la curva de error reconstruida que se estima el caudal de arranque con un -70% y que en los rangos en los que no se sabe con exactitud el error se asume una evaluación lineal. Para caudales mayores que 1500 l/h se asume que la curva es constante. Hay que tener en cuenta que cualquier volumen consumido por debajo del caudal de arranque no será registrado y que estos son los volúmenes que llegan a significar más en relación a pérdidas debido a errores de medición.

Para el cálculo de este error global se lo graficó mediante la ilustración 22 la misma que es clasificada por marcas.

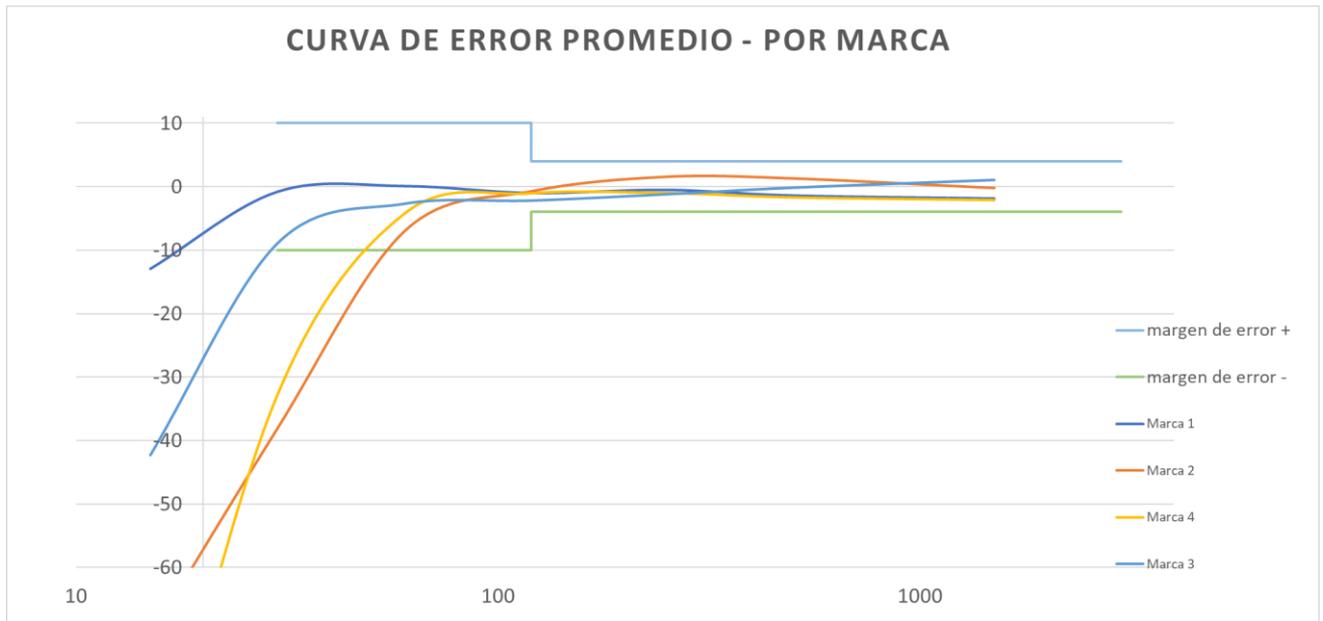


Ilustración 22.- Curva de Error Promedio por Marcas

Fuente: Cindy Correa Reinoso

<i>Error Promedio por Marcas</i>								
<i>Caudales de Ensayo</i>	1500	500	250	120	60	30	15	<i>Error Promedio</i>
Marca 1	-1,86	-1,39	-0,50	-1,00	0,10	-0,80	-12,96	-2,63
Marca 2	-0,22	1,29	1,54	-0,74	-7,04	-38,13	-70,87	-16,31
Marca 3	1,01	-0,21	-1,24	-2,23	-2,73	-8,97	-42,27	-8,09
Marca 4	-2,13	-1,70	-1,02	-1,06	-4,26	-32,86	-99,85	-20,41

Tabla 7.- Error Promedio por marca

Fuente: Cindy Correa Reinoso

3.4 CÁLCULO DE LAS IMPRECISIONES DE MEDIDA

En resumen, para el cálculo de las imprecisiones de medida se debe hallar el error medio ponderado y así poder conocer cuanto en metros cúbicos se perderá en un tiempo determinado en el que se haya ensayado los medidores.

Como ya hemos mencionado, el primer paso será la selección de muestra porque al hablar del parque de medidores nos referimos a una gran cantidad. En todo caso, luego de obtener el tamaño de muestra, se procede a analizar en un banco de ensayos que cumpla con todos los requisitos de calibración dados por las normas. Una vez

muestreados, se determina el patrón de consumo para conocer cuál es la forma de consumir del abonado. El siguiente paso, determinar la curva de error de los medidores a ensayar y por último al sumar estos dos factores antes mencionados nos da como resultado el error medio ponderado con el que sabremos como y en qué cantidad fallan los medidores.

Siguiendo con la fórmula mostrada en el capítulo 3.3.3 para el calculo del error global, al momento de calcular el error para diferentes rangos de caudales, los mismos que no existían en el error de medición se procedió con una interpolación para hallar un porcentaje aproximado y así lograr la obtención del error medio ponderado. Fue el caso de los caudales 1000 l/h y 750 l/h, en el que se utilizó ese artificio n el rango de caudales de 1500 l/h y 500 l/h.

Adicional, como dato informativo podemos analizar también a los medidores por su marca y edad, mediante este ejemplo resulta que a pesar de que los medidores de marca 4 registran un error alto de -18,92%, su edad no es muy alejada 3,90 años. Y, por otro lado, el grupo de medidores con marca 3 registran un valor bajo a sus 4,50 años.

<i>Dato Importante</i>		
<i>Marcas - Medidores</i>	<i>Error Global</i>	<i>Años-Uso</i>
Marca 1	-15,50	4,90
Marca 2	-1,76	2,30
Marca 3	-4,64	4,50
Marca 4	-18,92	3,90

Tabla 8.- Medidores clasificados por marcas y edad

Fuente: Cindy Correa Reinoso

Tabla 9.- Tabla Resumen del Error Global

Error de Medición Global												
(Litros / Horas)	Caudal < 15		Caudal Mínimo	Caudal Transición		Caudal de 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	750 l/h	500 l/h	1000 l/h	1500 l/h	3000 l/h
% Consumo	0,40%	3,15%	2,19%	6,15%	4,10%	11,14%	23,21%	13,15%	17,19%	15,01%	4,30%	0,00%
Error de Medición	100%	100%	54,7%	14,87%	3,19%	1,91%	1,04%	0,43%	0,43%	0,430%	0,30%	0,30%
Impacto de Medición	0,40%	3,15%	1,20%	0,91%	0,13%	0,21%	0,24%	0,06%	0,07%	0,06%	0,01%	0,00%
Error Global											7,39%	

Fuente: Cindy Correa Reinoso

4 CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Queda clara entonces la importancia de la reducción de pérdidas aparentes en el sistema de distribución. Realizando los pasos adecuados como el balance hídrico de un abastecimiento con los indicadores que nos muestran claramente de qué forma se distribuye el agua inyectada; es de crucial importancia evitar que las pérdidas se sigan generando con un mayor porcentaje.

Se presentó una metodología general que abarcó el cálculo del volumen no registrado debido al subcontaje de medidores de agua. En la primera parte de esta metodología se detalló el proceso de cómo obtener la curva de consumo de los usuarios, patrón de consumo, como uno de los principales factores y seguido la curva de error de cada medidor dependiendo de su clase metrológica hasta llegar al cálculo de error global.

El propósito de este trabajo de investigación es presentar los errores de medición que se calculó mediante la metodología mostrada.

Uno de los hallazgos más importantes, fue conocer el modo de consumo de los usuarios, el que permite dimensionar el sistema de abastecimiento y a su vez el parque de medidores. Para en un futuro, poder proyectar más infraestructura que abarque todas las zonas.

Otro aspecto importante en el que afecta directamente estas pérdidas es en lo económico, ya que este error calculado al convertirse en un tema financiero representa una gran cantidad en la que se deberá invertir y conocer que dicha inversión tendrá un retorno a largo plazo. Esto si el precio del agua se mantiene, por el contrario, si este precio aumentara, la inversión sería recuperada a mediano plazo. Como empresa de agua, hay que estar conscientes que estos reemplazos de medidores que significan grandes inversiones se realizan con frecuencia debido al desgaste o caducidad de vida útil de los instrumentos.

Frente a la demanda de consumo, se debe resaltar que a caudales bajos siempre existirá un porcentaje no contabilizado por el medidor el cual se puede corregir teniendo

medidores de alta sensibilidad. También, que factores importantes como el desgaste y envejecimiento provocarían pérdidas razonables.

4.2 RECOMENDACIONES

La reducción del agua no facturada proveniente de los errores de medición es un proceso con el que la empresa prestadora del servicio tendrá que lidiar siempre, por eso deben tener a la mano un plan estratégico para la reducción de este problema. Es importante, contar con un estudio para determinar o correlacionar independientemente de las marcas de medidores como se deteriora el equipo y cuál es el error del parque de medidores a estudiar. En este caso, se tiene un error global del 7.39%.

Esta estrategia se realiza con el fin de mejorar los siguientes puntos:

- Mejorar la lectura de los contadores y por ende la facturación
- Detectar consumos fraudulentos y conexiones ilegales en cualquier zona del sistema.
- Mejorar el sistema de medición minimizando los errores
- Asegurar un buen estado de micromedidores.

5 REFERENCIAS

- 1993, I. 4. (1993). Measurement of water flow in closed conduits – Meters for cold potable water – Part 1 Especificaciones.
- 2005, I. 4. (2005). Measurement of water flow in fully charged closed conduits - Meters for cold potable water and hot water.
- Arregui, F. (2007). Gestion Integral de Contadores de Agua . Valencia : Instituto Tecnologico del Agua .
- AWWA. (1986). Water Meter - Selection. Testing and Maintenance. . Denver, CO: AWWA 3rd Ed.
- Guevara, F. J. (2016). Analisis de la degradacion del error global en contadores de agua . En F. J. Guevara. Valencia .
- Kingdom, B. (2006). The Challenge of Reducing Non-Revenue Water. Washington.
- Patiño, L., Arregui de la Cruz, F., & Garcia Serra, G. (1998). Metodologia para la evaluacion de error de medicion . Valencia .
- Ramirez, R. (2018). Evaluacion y Control de Perdidas de Agua . Valencia: Universidad Politecnica de Valencia .
- VAG, G. (2011). Guia para la reduccion de perdidas de agua . En G. /. VAG.

6 ANEXOS

Anexo 1. Datos de las cuentas ensayadas

<i>Datos de la cuenta</i>				
Sector	Ciclo	Ruta	Manzana	Direccion
S72-102	18	29	2	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D23 SL. 10
S72-102	18	29	15	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D32 SL. 4 ESQ.
S72-102	18	29	19	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D35 SL. 12
S72-102	18	29	19	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D35 SL. 3
S72-102	18	29	32	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D34 SL. 1 ESQ.
S72-102	18	32	24	CDLA. HUANCAVILCA MZ. C17 SL. 1 ESQ.
S72-102	18	32	24	CDLA. HUANCAVILCA MZ. C17 SL. 2
S72-102	18	32	31	CDLA. HUANCAVILCA MZ. C5 SL. 8
S72-102	18	32	25	CDLA. HUANCAVILCA MZ. C13 SL. 7 ESQ.
S72-102	18	32	20	CDLA. HUANCAVILCA MZ. C14 SL. 3 ESQ.
S72-102	18	32	26	CDLA. HUANCAVILCA MZ. C10 SL. 13
S72-102	18	32	19	CDLA. HUANCAVILCA MZ. C11 SL. 10
S72-102	18	32	18	CDLA. HUANCAVILCA MZ. C12 SL. 9
S72-102	18	32	18	CDLA. HUANCAVILCA MZ. C12 SL. 3
S72-102	18	32	10	CDLA. HUANCAVILCA MZ. C24 SL. 13
S72-102	18	32	8	CDLA. HUANCAVILCA MZ. C26 SL. 3
S72-102	18	32	14	CDLA. HUANCAVILCA MZ. C29 SL. 7 ESQ.
S72-102	18	32	18	CDLA. HUANCAVILCA MZ. C12 SL. 10
S72-102	18	30	29	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D19 SL. 2
S72-102	18	30	3	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D13 SL. 2 ESQ.
S72-102	18	30	20	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D8 SL. 6 ESQ.
S72-102	18	29	20	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D37 SL. 7
S72-102	18	30	15	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D48 SL. 17 ESQ.
S72-102	18	29	18	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D36 SL. 3
S72-102	18	29	9	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D29 SL. 8 ESQ.
S72-102	18	30	26	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D16 SL. 6 ESQ.
S72-102	18	29	30	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D42 SL. 12
S72-102	18	29	31	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D44 SL. 2
S72-102	18	29	30	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D42 SL. 5
S72-102	18	30	14	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D46 SL. 10

S72-102	18	30	17	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D45 SL. 4 ESQ.
S72-102	18	30	10	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D4 SL. 4
S72-102	18	30	12	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D2 SL. 6 ESQ.
S72-102	18	30	11	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D1 SL. 1 ESQ.
S72-102	18	30	6	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D9 SL. 14
S72-102	18	30	8	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D6 SL. 2 ESQ.
S72-102	18	30	25	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D15 SL. 7
S72-102	18	30	2	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D14 SL. 4
S72-102	18	29	2	CDLA. HUANCAVILCA MZ. D23 SL. 6 ESQ.
S72-118	8	16	19	CDLA. PRADERA I MZ. E1 SL. 15
S72-195	8	4	7	CDLA. LAS TEJAS MZ. 14 SL. 2
S72-195	8	4	22	CDLA. LAS TEJAS MZ. 15 SL. 20
S72-131	8	16	29	CDLA. LAS TERRAZAS MZ. B SL. 27
S72-131	8	14	7	CDLA. VALDIVIA COND. VALDIVIA BLOQUE 04 PISO PB DPTO. 06
S72-131	8	15	12	CDLA. VALDIVIA BLOQUE 19 PISO 3 DPTO. 31
S72-195	8	4	4	CDLA. LAS TEJAS MZ. 19 SL. 9
S72-130	8	16	24	COOP. JUSTICIA Y LIBERTAD MZ. 12 SL. 32
S72-132	8	19	18	COOP. LOS TULIPANES MZ. 28 SL. 25
S72-195	8	4	19	CDLA. LAS TEJAS MZ. 09 SL. 14
S72-128	8	23	14	CDLA. FLORESTA I MZ. 35F SL. 13 ESQ.
S72-128	8	26	7	CDLA. FLORESTA I MZ. 66F SL. 1 ESQ.
S72-128	8	29	14	CDLA. FLORESTA I MZ. 69F SL. 20
S72-128	8	28	11	CDLA. FLORESTA I MZ. 77F SL. 9
S72-128	8	28	11	CDLA. FLORESTA I MZ. 77F SL. 24 ESQ.
S72-128	8	28	5	CDLA. FLORESTA I MZ. 89F SL. 13 ESQ.
S72-132	8	18	20	COOP. LOS TULIPANES MZ. 20 SL. 6
S72-132	8	18	10	COOP. LOS TULIPANES MZ. 9 SL. 3
S72-132	8	19	14	COOP. LOS TULIPANES MZ. 30 SL. 8 ESQ.

Anexo 2. Datos del ensayo y medidor.

Tiempo de ensayo			Datos Medidor				
Fecha y Hora de Inicio	Fecha y Horade Retiro	Tiempo (seg)	Lectura I.	Lectura F.	Vol. Consum,	Volumen real	Grupo
05/01/2010 15:20:21	13/01/2010 15:24:26	691445	270561,3	275508,2	4946,6	4946,9	1,00
05/01/2010 15:23:35	13/01/2010 15:25:24	691309	143908,7	151491,9	7582,9	7583,2	1,00
05/01/2010 15:16:00	13/01/2010 15:22:04	691564	177680,2	183760	6079,3	6079,8	1,00
05/01/2010 15:13:31	13/01/2010 15:23:44	691813	256731,7	264607,8	7875,5	7876,1	1,00
05/01/2010 15:11:50	13/01/2010 15:22:40	691850	179602,6	359684,7	180081,7	180082,1	1,00
05/01/2010 15:11:08	13/01/2010 15:03:20	690732	227521	231440,9	3919,4	3919,9	1,00
05/01/2010 15:12:38	13/01/2010 14:59:24	690406	206460,7	211832	5370,8	5371,3	1,00
05/01/2010 15:16:54	13/01/2010 15:21:28	691474	418525,2	423590,3	5064,7	5065,1	1,00
05/01/2010 15:18:43	13/01/2010 16:15:49	694626	179654,6	183377,1	3722	3722,5	1,00
05/01/2010 15:24:18	13/01/2010 15:46:09	692511	154824,1	159212,9	4388,3	4388,8	1,00
05/01/2010 15:10:18	13/01/2010 15:41:09	693051	178967,1	181525,8	2558,2	2558,7	1,00
05/01/2010 15:22:01	13/01/2010 15:20:22	691101	159950,6	164765,7	4814,6	4815,1	1,00
05/01/2010 15:22:43	13/01/2010 15:00:53	689890	154515,9	160546,9	6030,4	6031	1,00
05/01/2010 15:15:08	13/01/2010 15:20:54	691546	356468	358169,6	1701,1	1701,6	
05/01/2010 15:19:29	13/01/2010 15:25:57	691588	79041,4	83586,3	4544,5	4544,9	1,00
05/01/2010 15:21:10	13/01/2010 15:26:42	691532	228643,6	231813,5	3169,3	3169,9	1,00
05/01/2010 15:17:50	13/01/2010 16:08:57	694267	162689,6	180229	17539	17539,4	1,00
05/01/2010 15:24:57	13/01/2010 15:30:24	691527	206940,1	211540,5	4599,9	4600,4	1,00
05/01/2010 15:14:15	13/01/2010 15:31:07	692212	202685,5	204951,3	2265,5	2265,8	1,00
04/01/2010 13:50:53	12/01/2010 15:50:19	698366	152646,9	158833,4	6185,8	6186,5	1,00
04/01/2010 14:07:17	12/01/2010 15:29:56	696159	245129	252484,3	7354,9	7355,3	1,00
04/01/2010 14:03:47	12/01/2010 15:49:02	697515	292822,6	298385	5561,9	5562,4	1,00
04/01/2010 14:00:36	12/01/2010 15:49:43	697747	192028,7	195371	3341,8	3342,3	1,00
04/01/2010 14:09:58	12/01/2010 15:50:57	697259	263540,8	271021,8	7480,6	7481	1,00
04/01/2010 14:02:25	12/01/2010 15:28:57	696392	232732,6	238189,1	5455,8	5456,5	1,00
04/01/2010 13:48:43	12/01/2010 15:44:00	698117	351103,9	357471,7	0	6367,8	1,00
04/01/2010 14:04:26	12/01/2010 15:24:36	696010	306123,3	309377	3253,2	3253,7	1,00
04/01/2010 13:47:55	13/01/2010 15:51:48	785033	178985	185714,3	6728,9	6729,3	1,00
04/01/2010 14:01:50	12/01/2010 15:32:17	696627	214710	218179	3468,5	3469	1,00
04/01/2010 14:13:10	12/01/2010 15:41:28	696498	320355,2	324536,5	4180,8	4181,3	1,00

04/01/2010 14:08:52	12/01/2010 15:43:20	696868	359640,4	364450,5	4809,7	4810,1	1,00
04/01/2010 14:01:11	12/01/2010 15:39:04	697073	217160,6	221304,3	4143,2	4143,7	1,00
04/01/2010 14:06:35	12/01/2010 15:31:30	696295	153909	155558,3	1649	1649,3	
04/01/2010 14:11:14	12/01/2010 15:28:06	695812	180204	187845	7640,6	7641	1,00
04/01/2010 14:12:30	12/01/2010 15:42:07	696577	213055,7	217315,4	4259,3	4259,7	1,00
04/01/2010 14:05:07	12/01/2010 15:27:02	696115	178979,6	185671,8	6691,8	6692,2	1,00
04/01/2010 14:08:07	12/01/2010 15:42:42	696875	365573,3	371470,6	5896,8	5897,3	1,00
04/01/2010 14:05:43	12/01/2010 15:52:49	697626	195487,9	199326,1	3838	3838,2	1,00
04/01/2010 13:50:09	12/01/2010 16:13:07	699778	218173,8	222517,8	0	4344	1,00
05/07/2010 9:28:04	12/07/2010 14:56:24	624500	247157,1	247653,5	496,2	496,4	
05/07/2010 9:26:58	12/07/2010 14:40:14	623596	243200,4	250638,5	7437,7	7438,1	1,00
05/07/2010 9:24:57	12/07/2010 14:32:11	623234	299564,7	303889,5	4324,4	4324,8	1,00
05/07/2010 9:29:36	12/07/2010 14:33:42	623046	256280,3	256365,7	85,1	85,4	
05/07/2010 9:30:38	12/07/2010 14:36:09	623131	190319,5	196651,2	6331,3	6331,7	1,00
05/07/2010 9:30:08	12/07/2010 14:30:44	622836	340914,5	347448,8	6533,8	6534,3	1,00
05/07/2010 9:31:11	12/07/2010 14:39:37	623306	394568,6	399227	4658	4658,4	1,00
05/07/2010 9:31:44	12/07/2010 14:32:42	622858	226406,8	230399,7	3992,5	3992,9	1,00
05/07/2010 9:22:20	12/07/2010 15:27:25	626705	9643,3	13848,8	4205,2	4205,5	1,00
06/07/2010 8:25:28	13/07/2010 14:43:54	627506	211337,3	213880,5	2542,9	2543,2	1,00
06/07/2010 8:20:34	13/07/2010 14:33:56	627202	197101,4	209012,1	11910,2	11910,7	1,00
06/07/2010 8:18:59	13/07/2010 14:42:14	627795	294890,4	296878,2	1987,3	1987,8	
06/07/2010 8:23:10	13/07/2010 14:36:44	627214	333867	335402,4	1534,9	1535,4	
06/07/2010 8:16:54	13/07/2010 14:44:55	628081	188807,9	230420,7	41612,3	41612,8	1,00
06/07/2010 8:16:21	13/07/2010 14:39:20	627779	207890,4	214163,7	6272,9	6273,3	1,00
06/07/2010 8:24:38	13/07/2010 14:39:50	627312	404450,8	409838,1	5386,9	5387,3	1,00
06/07/2010 8:20:03	13/07/2010 14:38:49	627526	245106,3	249394,6	4287,8	4288,3	1,00
06/07/2010 8:21:03	13/07/2010 14:37:28	627385	117600,4	121478,8	3878	3878,4	1,00
06/07/2010 8:17:54	13/07/2010 14:35:36	627462	373879,6	376633,8	2753,9	2754,2	1,00

Anexo 3. Datos de volumen consumido en m³ para Patrón de Consumo

PATRON DE CONSUMO											
Rango de Caudales de Ensayo (m3)											
0 - 7	7 - 15	15 - 22	22 - 60	60 - 120	120 - 250	250 - 500	500 - 750	750 - 1000	1000 - 1500	1500 - 3000	3000
1,1	2,4	1,3	6,2	2,2	3,4	7,1	6,2	7,1	4909,6	0	0
0,4	280,3	1259	2104,7	461,8	244,7	75,1	103,9	765,8	2287,2	0	0
38,3	44,9	35,5	139	195,8	539,3	809,5	1037,8	2385,9	821,4	31,9	0
4,8	479,3	341,1	1182,2	1204,3	1039,3	1226	1624,9	773,1	0,5	0	0
11,4	24,9	18	76,1	67,4	215	1334,5	1903,4	139,4	16757,3	159521,6	12,7
2	3,6	2,1	11,6	1	4,3	4,9	7,8	2,2	3843,8	36,1	0
58,5	64,2	49,7	196,2	259,9	607,5	3910,7	221,9	2,2	0	0	0
13,7	28,9	19,3	69,4	107,1	651,8	2744,6	1062	250,9	117	0	0
25,1	44,2	32,3	93,6	100,1	275	493,9	2316,2	341,6	0	0	0
21,7	39,9	25,9	73	89,6	286,2	647,3	1706,2	982	423,1	93,4	0
0,4	0,4	0,6	824	103,1	39,8	65	78,3	1284,1	162,5	0	0
13,3	26,7	19,7	94,4	88,2	268,7	927,3	1022	1531,2	823,1	0	0
42,1	52,7	43,2	157,3	191,2	611,2	1546,2	2339	580,1	441,3	26,1	0
7,4	10,2	7,1	23,7	26,1	64,8	269,4	721,4	271,5	299,5	0	0
25,5	44,8	45,3	149,1	151,3	339,8	1735,1	1248,6	764,6	40,4	0	0
10,5	13,7	32,4	43,6	43,9	248,6	644,7	491	1213,8	422,9	4,2	0
3,8	102,6	52,7	192,8	244,9	278,4	437,5	485,6	1540,3	11472,3	2728,1	0
63,9	70,3	54,8	141,8	152	349,4	705,9	1207,3	1479,3	359,6	15,6	0
1,1	57,3	41,6	89	70,5	54,4	104,1	283,5	1539	25	0	0
13,8	16,2	13,5	45,1	78,2	416,1	349,9	277,3	109,8	4860	5,9	0
40,7	98,4	61,9	149	165,9	378,3	2532,6	2518,5	1358,8	50,8	0	0
44,6	88,6	54,5	193	762,4	1580,2	1489,6	1080,3	185,5	83,2	0	0
27	34,7	28,3	117,5	124,2	273	1219,1	1472,1	45,9	0	0	0
10,1	1124,5	818,3	236,3	207,7	602,5	901,7	1900,6	1369,2	308,1	1,6	0
1	150,8	74	292,7	221,1	215,7	207,2	594,7	673,8	2341,8	683	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,9	2,3	1,7	4,7	46,6	2659,2	272,1	51,1	107	107,6	0	0
24,6	45	32,4	119,4	161,3	392,8	1877,2	2746,6	1276,2	53,4	0	0
0,5	15,3	9,2	11,7	30,5	61,5	294,5	595,2	2169,5	280,6	0	0
22,2	34,4	26,6	75,6	138,4	451,6	1210,6	2011,8	199,5	10,1	0	0

10,8	44,3	36,9	143,3	198,9	1025,3	3350,2	0	0	0	0	0
60,7	120,4	67,6	166,2	158,3	521	1648,1	1114,5	186,5	99,9	0	0
2,4	17,7	11,7	63,2	33,4	101,2	1315,6	103,8	0	0	0	0
7,8	33,9	21,8	64,4	42,1	101,9	198	299,1	462,3	6233,1	176,2	0
1	43	31,7	164	217,3	120,8	314,9	609,2	1217,9	1539,5	0	0
40,4	52,2	56,5	219,4	284,4	1061,4	2338,5	1036,4	118,4	520,7	963,5	0
7,7	171,9	180,2	521,7	220,2	398	461,4	450,9	856	2628,8	0	0
2,4	1023,1	439,8	878,6	376,7	474,9	627,8	14,7	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,5	2,7	1,4	346,2	58,7	21,5	63,2	0	0	0	0	0
28,1	49,9	39,2	147,6	251,3	730,4	2663,4	3240,8	287	0	0	0
118,1	140,5	115,4	221,8	207,3	1037,9	1572,4	439,4	19,2	452,4	0	0
1,1	12,6	7,7	20,8	12	13,3	17,6	0	0	0	0	0
3,7	1557,6	152,8	222,9	193,4	730,5	2772,6	664,5	33,3	0	0	0
32,7	78,9	58,3	190,5	233,4	1606,5	3924,4	409,1	0	0	0	0
25,1	881,9	914,7	341,6	121,9	1981	391,8	0	0	0	0	0
43,4	64	46,9	124	112,7	287	585	962,8	1305,9	460,8	0	0
13	38,7	25,7	61,5	30,5	123,4	1217	560,4	329,8	1805,2	0	0
3,4	208,5	169,7	483,3	388,9	766,3	522,8	0	0	0	0	0
10,8	163,9	143,6	391,4	343,8	457	8554	1707,9	137,8	0	0	0
0	0,6	1,4	1,8	0,9	2,7	6,2	187,5	919	867,2	0	0
2,8	141,3	79,2	220,2	273,6	468,6	345,3	0,5	3,4	0	0	0
1	2,8	2	11,6	2,3	3	10351	30040,1	22,2	409,2	767,1	0
0,4	1,8	1,2	3,7	0,6	1,1	1,2	1,6	1,8	2,8	6256,7	0
17,2	379	228,4	338	766,6	2199	1377,8	1,5	1,1	1,4	76,9	0
8,9	8,8	12,5	53,1	47,1	629,7	2624,2	837,9	65,6	0	0	0
18,8	22,6	19,4	70,6	101	364,8	1162,1	1309	729,4	80,3	0	0
0,9	1,9	1	6,7	0,4	1	1,7	765,3	1508,5	466,5	0	0

17,16379	142,5172	104,6328	213,63448	175,42069	489,33966	1318,1293	1308,1397	544,04138	1152,93	2954,964	0,21897
----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	---------	----------	---------

Anexo 4. Datos de volumen consumido en porcentaje para Patrón de Consumo

PATRON DE CONSUMO											
Rango de Caudales de Ensayo(%)											
0 - 7	7 - 15	15 - 22.5	22.5 - 60	60 - 120	120 - 250	250 - 500	500 - 750	750 - 1000	1000 - 1500	1500 - 3000	3000
0,02%	0,05%	0,03%	0,13%	0,04%	0,07%	0,14%	0,13%	0,14%	99,25%	0,00%	0,00%
0,01%	3,70%	16,60%	27,76%	6,09%	3,23%	0,99%	1,37%	10,10%	30,16%	0,00%	0,00%
0,63%	0,74%	0,58%	2,29%	3,22%	8,87%	13,32%	17,07%	39,25%	13,51%	0,52%	0,00%
0,06%	6,09%	4,33%	15,01%	15,29%	13,20%	15,57%	20,63%	9,82%	0,01%	0,00%	0,00%
0,01%	0,01%	0,01%	0,04%	0,04%	0,12%	0,74%	1,06%	0,08%	9,31%	88,58%	0,01%
0,05%	0,09%	0,05%	0,30%	0,03%	0,11%	0,13%	0,20%	0,06%	98,07%	0,92%	0,00%
1,09%	1,20%	0,93%	3,65%	4,84%	11,31%	72,81%	4,13%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%
0,27%	0,57%	0,38%	1,37%	2,11%	12,87%	54,19%	20,97%	4,95%	2,31%	0,00%	0,00%
0,67%	1,19%	0,87%	2,51%	2,69%	7,39%	13,27%	62,23%	9,18%	0,00%	0,00%	0,00%
0,49%	0,91%	0,59%	1,66%	2,04%	6,52%	14,75%	38,88%	22,38%	9,64%	2,13%	0,00%
0,02%	0,02%	0,02%	32,21%	4,03%	1,56%	2,54%	3,06%	50,20%	6,35%	0,00%	0,00%
0,28%	0,55%	0,41%	1,96%	1,83%	5,58%	19,26%	21,23%	31,80%	17,10%	0,00%	0,00%
0,70%	0,87%	0,72%	2,61%	3,17%	10,14%	25,64%	38,79%	9,62%	7,32%	0,43%	0,00%
0,44%	0,60%	0,42%	1,39%	1,53%	3,81%	15,84%	42,41%	15,96%	17,61%	0,00%	0,00%
0,56%	0,99%	1,00%	3,28%	3,33%	7,48%	38,18%	27,47%	16,82%	0,89%	0,00%	0,00%
0,33%	0,43%	1,02%	1,38%	1,39%	7,84%	20,34%	15,49%	38,30%	13,34%	0,13%	0,00%
0,02%	0,58%	0,30%	1,10%	1,40%	1,59%	2,49%	2,77%	8,78%	65,41%	15,55%	0,00%
1,39%	1,53%	1,19%	3,08%	3,30%	7,60%	15,35%	26,25%	32,16%	7,82%	0,34%	0,00%
0,05%	2,53%	1,84%	3,93%	3,11%	2,40%	4,60%	12,51%	67,93%	1,10%	0,00%	0,00%
0,22%	0,26%	0,22%	0,73%	1,26%	6,73%	5,66%	4,48%	1,78%	78,57%	0,10%	0,00%
0,55%	1,34%	0,84%	2,03%	2,26%	5,14%	34,43%	34,24%	18,47%	0,69%	0,00%	0,00%
0,80%	1,59%	0,98%	3,47%	13,71%	28,41%	26,78%	19,42%	3,34%	1,50%	0,00%	0,00%
0,81%	1,04%	0,85%	3,52%	3,72%	8,17%	36,48%	44,05%	1,37%	0,00%	0,00%	0,00%
0,14%	15,03%	10,94%	3,16%	2,78%	8,05%	12,05%	25,41%	18,30%	4,12%	0,02%	0,00%
0,02%	2,76%	1,36%	5,36%	4,05%	3,95%	3,80%	10,90%	12,35%	42,92%	12,52%	0,00%
0,03%	0,07%	0,05%	0,14%	1,43%	81,74%	8,36%	1,57%	3,29%	3,31%	0,00%	0,00%
0,37%	0,67%	0,48%	1,77%	2,40%	5,84%	27,90%	40,82%	18,97%	0,79%	0,00%	0,00%
0,01%	0,44%	0,27%	0,34%	0,88%	1,77%	8,49%	17,16%	62,55%	8,09%	0,00%	0,00%
0,53%	0,82%	0,64%	1,81%	3,31%	10,80%	28,96%	48,12%	4,77%	0,24%	0,00%	0,00%

0,22%	0,92%	0,77%	2,98%	4,14%	21,32%	69,66%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1,47%	2,91%	1,63%	4,01%	3,82%	12,57%	39,78%	26,90%	4,50%	2,41%	0,00%	0,00%
0,15%	1,07%	0,71%	3,83%	2,03%	6,14%	79,78%	6,29%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,10%	0,44%	0,29%	0,84%	0,55%	1,33%	2,59%	3,91%	6,05%	81,58%	2,31%	0,00%
0,02%	1,01%	0,74%	3,85%	5,10%	2,84%	7,39%	14,30%	28,59%	36,14%	0,00%	0,00%
0,60%	0,78%	0,84%	3,28%	4,25%	15,86%	34,95%	15,49%	1,77%	7,78%	14,40%	0,00%
0,13%	2,92%	3,06%	8,85%	3,73%	6,75%	7,82%	7,65%	14,52%	44,58%	0,00%	0,00%
0,06%	26,66%	11,46%	22,89%	9,82%	12,37%	16,36%	0,38%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,50%	0,54%	0,28%	69,77%	11,83%	4,33%	12,74%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,38%	0,67%	0,53%	1,98%	3,38%	9,82%	35,81%	43,57%	3,86%	0,00%	0,00%	0,00%
2,73%	3,25%	2,67%	5,13%	4,79%	24,00%	36,36%	10,16%	0,44%	10,46%	0,00%	0,00%
1,29%	14,81%	9,05%	24,44%	14,10%	15,63%	20,68%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,06%	24,60%	2,41%	3,52%	3,05%	11,54%	43,79%	10,50%	0,53%	0,00%	0,00%	0,00%
0,50%	1,21%	0,89%	2,92%	3,57%	24,59%	60,06%	6,26%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,54%	18,93%	19,64%	7,33%	2,62%	42,53%	8,41%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1,09%	1,60%	1,17%	3,11%	2,82%	7,19%	14,65%	24,12%	32,71%	11,54%	0,00%	0,00%
0,31%	0,92%	0,61%	1,46%	0,73%	2,93%	28,94%	13,33%	7,84%	42,93%	0,00%	0,00%
0,13%	8,20%	6,67%	19,01%	15,29%	30,13%	20,56%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,09%	1,38%	1,21%	3,29%	2,89%	3,84%	71,82%	14,34%	1,16%	0,00%	0,00%	0,00%
0,00%	0,03%	0,07%	0,09%	0,05%	0,14%	0,31%	9,43%	46,24%	43,64%	0,00%	0,00%
0,18%	9,21%	5,16%	14,35%	17,83%	30,53%	22,50%	0,03%	0,22%	0,00%	0,00%	0,00%
0,00%	0,01%	0,00%	0,03%	0,01%	0,01%	24,87%	72,19%	0,05%	0,98%	1,84%	0,00%
0,01%	0,03%	0,02%	0,06%	0,01%	0,02%	0,02%	0,03%	0,03%	0,04%	99,74%	0,00%
0,32%	7,04%	4,24%	6,27%	14,23%	40,82%	25,58%	0,03%	0,02%	0,03%	1,43%	0,00%
0,21%	0,21%	0,29%	1,24%	1,10%	14,69%	61,20%	19,54%	1,53%	0,00%	0,00%	0,00%
0,48%	0,58%	0,50%	1,82%	2,60%	9,41%	29,97%	33,75%	18,81%	2,07%	0,00%	0,00%
0,03%	0,07%	0,04%	0,24%	0,01%	0,04%	0,06%	27,79%	54,78%	16,94%	0,00%	0,00%

0,40%	3,15%	2,19%	6,15%	4,10%	11,14%	23,21%	17,19%	13,15%	15,01%	4,30%	0,00%
-------	-------	-------	-------	-------	--------	---------------	--------	--------	--------	-------	-------

Anexo 5. Datos en porcentaje de volumen consumido a cada hora del día

FACTOR											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,480	0,480	0,480	0,480	2,107	2,107	2,107	2,107	1,443	1,443	1,727	1,727
0,753	0,753	0,753	0,753	0,912	0,912	0,912	0,912	0,365	0,365	1,208	1,208
0,381	0,381	0,381	0,381	1,500	1,500	1,500	1,500	0,836	0,836	1,516	1,516
0,509	0,509	0,509	0,509	0,326	0,326	0,326	0,326	1,088	1,088	1,732	1,732
1,080	1,080	1,080	1,080	1,177	1,177	1,177	1,177	0,910	0,910	0,909	0,909
0,000	0,000	0,000	0,000	3,612	3,612	3,612	3,612	0,011	0,011	0,024	0,024
0,754	0,754	0,754	0,754	0,593	0,593	0,593	0,593	0,868	0,868	1,553	1,553
0,166	0,166	0,166	0,166	0,909	0,909	0,909	0,909	1,411	1,411	1,286	1,286
0,334	0,334	0,334	0,334	1,487	1,487	1,487	1,487	1,481	1,481	1,171	1,171
0,570	0,570	0,570	0,570	1,947	1,947	1,947	1,947	1,426	1,426	0,482	0,482
0,000	0,000	0,000	0,000	0,198	0,198	0,198	0,198	0,538	0,538	2,447	2,447
0,095	0,095	0,095	0,095	1,701	1,701	1,701	1,701	0,932	0,932	2,222	2,222
0,195	0,195	0,195	0,195	1,057	1,057	1,057	1,057	1,507	1,507	1,017	1,017
0,788	0,788	0,788	0,788	1,177	1,177	1,177	1,177	2,082	2,082	1,209	1,209
0,000	0,000	0,000	0,000	1,662	1,662	1,662	1,662	1,799	1,799	1,377	1,377
0,123	0,123	0,123	0,123	1,310	1,310	1,310	1,310	3,223	3,223	0,871	0,871
0,728	0,728	0,728	0,728	0,851	0,851	0,851	0,851	1,013	1,013	1,613	1,613
0,056	0,056	0,056	0,056	0,820	0,820	0,820	0,820	1,820	1,820	2,226	2,226
0,011	0,011	0,011	0,011	1,837	1,837	1,837	1,837	1,072	1,072	1,920	1,920
0,128	0,128	0,128	0,128	1,241	1,241	1,241	1,241	0,725	0,725	0,356	0,356
0,609	0,609	0,609	0,609	0,525	0,525	0,525	0,525	0,687	0,687	1,190	1,190
0,218	0,218	0,218	0,218	1,074	1,074	1,074	1,074	2,178	2,178	1,528	1,528
0,283	0,283	0,283	0,283	0,809	0,809	0,809	0,809	1,186	1,186	1,276	1,276
0,559	0,559	0,559	0,559	1,160	1,160	1,160	1,160	1,400	1,400	1,343	1,343
0,219	0,219	0,219	0,219	0,296	0,296	0,296	0,296	2,146	2,146	3,158	3,158
0,489	0,489	0,489	0,489	1,298	1,298	1,298	1,298	1,439	1,439	0,779	0,779
0,156	0,156	0,156	0,156	1,221	1,221	1,221	1,221	1,897	1,897	1,981	1,981
0,605	0,605	0,605	0,605	0,960	0,960	0,960	0,960	0,712	0,712	1,892	1,892
0,202	0,202	0,202	0,202	1,137	1,137	1,137	1,137	0,507	0,507	1,230	1,230

0,342	0,342	0,342	0,342	1,091	1,091	1,091	1,091	1,802	1,802	2,007	2,007
0,170	0,170	0,170	0,170	1,490	1,490	1,490	1,490	1,784	1,784	1,759	1,759
1,209	1,209	1,209	1,209	0,532	0,532	0,532	0,532	1,614	1,614	1,457	1,457
0,000	0,000	0,000	0,000	2,732	2,732	2,732	2,732	0,565	0,565	1,551	1,551
0,000	0,000	0,000	0,000	0,349	0,349	0,349	0,349	2,454	2,454	2,106	2,106
0,094	0,094	0,094	0,094	1,478	1,478	1,478	1,478	2,190	2,190	1,371	1,371
0,003	0,003	0,003	0,003	0,886	0,886	0,886	0,886	1,898	1,898	2,379	2,379
0,677	0,677	0,677	0,677	0,558	0,558	0,558	0,558	1,389	1,389	1,507	1,507
0,934	0,934	0,934	0,934	2,071	2,071	2,071	2,071	1,093	1,093	0,921	0,921
0,504	0,504	0,504	0,504	0,804	0,804	0,804	0,804	2,357	2,357	1,167	1,167
0,633	0,633	0,633	0,633	0,407	0,407	0,407	0,407	0,406	0,406	0,637	0,637
0,000	0,000	0,000	0,000	5,070	5,070	5,070	5,070	1,676	1,676	0,122	0,122
0,543	0,543	0,543	0,543	0,802	0,802	0,802	0,802	1,554	1,554	1,524	1,524
0,222	0,222	0,222	0,222	1,571	1,571	1,571	1,571	1,482	1,482	1,357	1,357
1,614	1,614	1,614	1,614	1,182	1,182	1,182	1,182	0,466	0,466	0,538	0,538
0,331	0,331	0,331	0,331	2,554	2,554	2,554	2,554	1,009	1,009	1,020	1,020
1,488	1,488	1,488	1,488	0,111	0,111	0,111	0,111	0,586	0,586	1,455	1,455
0,335	0,335	0,335	0,335	0,203	0,203	0,203	0,203	0,493	0,493	1,514	1,514
1,023	1,023	1,023	1,023	0,823	0,823	0,823	0,823	0,913	0,913	1,031	1,031
1,247	1,247	1,247	1,247	0,466	0,466	0,466	0,466	1,064	1,064	0,739	0,739
0,435	0,435	0,435	0,435	0,975	0,975	0,975	0,975	1,677	1,677	1,461	1,461
1,135	1,135	1,135	1,135	1,009	1,009	1,009	1,009	0,939	0,939	0,652	0,652
0,000	0,000	0,000	0,000	4,364	4,364	4,364	4,364	0,574	0,574	0,001	0,001
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,925	0,925	0,925	0,925	1,004	1,004	1,004	1,004	1,283	1,283	1,931	1,931
0,000	0,000	0,000	0,000	1,644	1,644	1,644	1,644	0,810	0,810	1,941	1,941
0,582	0,582	0,582	0,582	0,005	0,005	0,005	0,005	0,373	0,373	3,271	3,271

0,45	0,45	0,45	0,45	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,37	1,37
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

FACTOR											
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1,727	0,774	0,774	0,774	0,774	0,261	0,261	0,261	0,261	0,480	0,480	0,480
1,208	1,403	1,403	1,403	1,403	1,279	1,279	1,279	1,279	0,753	0,753	0,753
1,516	1,166	1,166	1,166	1,166	1,112	1,112	1,112	1,112	0,381	0,381	0,381
1,732	1,337	1,337	1,337	1,337	1,603	1,603	1,603	1,603	0,509	0,509	0,509
0,909	0,891	0,891	0,891	0,891	0,906	0,906	0,906	0,906	1,080	1,080	1,080
0,024	1,724	1,724	1,724	1,724	0,641	0,641	0,641	0,641	0,000	0,000	0,000
1,553	1,315	1,315	1,315	1,315	1,173	1,173	1,173	1,173	0,754	0,754	0,754
1,286	0,952	0,952	0,952	0,952	2,179	2,179	2,179	2,179	0,166	0,166	0,166
1,171	1,192	1,192	1,192	1,192	1,118	1,118	1,118	1,118	0,334	0,334	0,334
0,482	0,648	0,648	0,648	0,648	1,333	1,333	1,333	1,333	0,570	0,570	0,570
2,447	0,943	0,943	0,943	0,943	2,755	2,755	2,755	2,755	0,000	0,000	0,000
2,222	1,259	1,259	1,259	1,259	0,741	0,741	0,741	0,741	0,095	0,095	0,095
1,017	1,717	1,717	1,717	1,717	1,368	1,368	1,368	1,368	0,195	0,195	0,195
1,209	1,252	1,252	1,252	1,252	0,244	0,244	0,244	0,244	0,788	0,788	0,788
1,377	1,819	1,819	1,819	1,819	0,588	0,588	0,588	0,588	0,000	0,000	0,000
0,871	0,940	0,940	0,940	0,940	1,270	1,270	1,270	1,270	0,123	0,123	0,123
1,613	0,809	0,809	0,809	0,809	1,349	1,349	1,349	1,349	0,728	0,728	0,728
2,226	1,685	1,685	1,685	1,685	0,818	0,818	0,818	0,818	0,056	0,056	0,056
1,920	0,884	0,884	0,884	0,884	1,284	1,284	1,284	1,284	0,011	0,011	0,011
0,356	0,792	0,792	0,792	0,792	3,114	3,114	3,114	3,114	0,128	0,128	0,128
1,190	1,781	1,781	1,781	1,781	1,393	1,393	1,393	1,393	0,609	0,609	0,609
1,528	1,188	1,188	1,188	1,188	1,121	1,121	1,121	1,121	0,218	0,218	0,218
1,276	0,885	0,885	0,885	0,885	2,259	2,259	2,259	2,259	0,283	0,283	0,283
1,343	0,810	0,810	0,810	0,810	1,345	1,345	1,345	1,345	0,559	0,559	0,559
3,158	0,786	0,786	0,786	0,786	1,094	1,094	1,094	1,094	0,219	0,219	0,219
0,779	1,562	1,562	1,562	1,562	0,981	0,981	0,981	0,981	0,489	0,489	0,489
1,981	0,824	0,824	0,824	0,824	1,247	1,247	1,247	1,247	0,156	0,156	0,156
1,892	1,519	1,519	1,519	1,519	0,687	0,687	0,687	0,687	0,605	0,605	0,605
1,230	1,348	1,348	1,348	1,348	1,987	1,987	1,987	1,987	0,202	0,202	0,202

2,007	1,167	1,167	1,167	1,167	0,739	0,739	0,739	0,739	0,342	0,342	0,342
1,759	1,486	1,486	1,486	1,486	0,516	0,516	0,516	0,516	0,170	0,170	0,170
1,457	0,502	0,502	0,502	0,502	0,951	0,951	0,951	0,951	1,209	1,209	1,209
1,551	1,821	1,821	1,821	1,821	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
2,106	0,958	0,958	0,958	0,958	1,887	1,887	1,887	1,887	0,000	0,000	0,000
1,371	0,779	0,779	0,779	0,779	1,453	1,453	1,453	1,453	0,094	0,094	0,094
2,379	2,264	2,264	2,264	2,264	0,112	0,112	0,112	0,112	0,003	0,003	0,003
1,507	1,100	1,100	1,100	1,100	1,332	1,332	1,332	1,332	0,677	0,677	0,677
0,921	0,555	0,555	0,555	0,555	0,502	0,502	0,502	0,502	0,934	0,934	0,934
1,167	1,172	1,172	1,172	1,172	1,089	1,089	1,089	1,089	0,504	0,504	0,504
0,637	1,932	1,932	1,932	1,932	1,873	1,873	1,873	1,873	0,633	0,633	0,633
0,122	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,524	1,098	1,098	1,098	1,098	1,230	1,230	1,230	1,230	0,543	0,543	0,543
1,357	1,076	1,076	1,076	1,076	1,206	1,206	1,206	1,206	0,222	0,222	0,222
0,538	0,493	0,493	0,493	0,493	0,864	0,864	0,864	0,864	1,614	1,614	1,614
1,020	0,845	0,845	0,845	0,845	0,753	0,753	0,753	0,753	0,331	0,331	0,331
1,455	0,672	0,672	0,672	0,672	1,229	1,229	1,229	1,229	1,488	1,488	1,488
1,514	2,981	2,981	2,981	2,981	0,847	0,847	0,847	0,847	0,335	0,335	0,335
1,031	1,006	1,006	1,006	1,006	1,151	1,151	1,151	1,151	1,023	1,023	1,023
0,739	0,901	0,901	0,901	0,901	1,364	1,364	1,364	1,364	1,247	1,247	1,247
1,461	0,919	0,919	0,919	0,919	1,411	1,411	1,411	1,411	0,435	0,435	0,435
0,652	1,136	1,136	1,136	1,136	0,910	0,910	0,910	0,910	1,135	1,135	1,135
0,001	1,348	1,348	1,348	1,348	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	6,000	6,000	6,000	6,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,931	0,625	0,625	0,625	0,625	0,663	0,663	0,663	0,663	0,925	0,925	0,925
1,941	1,754	1,754	1,754	1,754	0,741	0,741	0,741	0,741	0,000	0,000	0,000
3,271	1,273	1,273	1,273	1,273	1,063	1,063	1,063	1,063	0,582	0,582	0,582

1,37	1,25	1,25	1,25	1,25	1,09	1,09	1,09	1,09	0,45	0,45	0,45
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Anexo 6. Margen de Error de Clase Metrológica Tipo B

CLASE B	3000	1500	120	120	30
Errores permitidos antes de instalación	2	2	2	5	5
	-2	-2	-2	-5	-5
Errores permitidos después de instalación	4	4	4	10	10
	-4	-4	-4	-10	-10

Anexo 7. Datos de error de cada medidor ensayado

Clase B						
3000	1500	500	250	120	60	30
1500	500	250	120	60	30	15
1,43	-0,28	0,59	-1,29	-1,00	-1,90	-16,90
1,64	-0,50	-2,35	-2,18	-2,49	-7,59	-41,00
-0,66	-1,07	-1,57	-2,18	-2,29	-8,79	-50,90
-1,30	-2,94	-4,21	-5,35	-8,37	-41,66	-99,90
1,15	0,54	-1,47	-1,69	-2,19	-8,99	-94,80
1,17	0,78	1,18	-2,28	-1,69	-7,29	-97,70
1,00	-1,28	-2,55	-6,73	-31,27	-100,00	-100,00
0,59	-2,53	-2,35	-2,28	-3,19	-8,69	-82,20
2,25	-0,78	-1,37	-1,29	-0,40	-2,20	-17,70
2,40	0,04	-1,27	-1,69	-1,39	-5,69	-23,70
0,76	0,40	-0,49	-1,98	-2,59	-7,59	-38,30
1,14	2,71	3,04	2,18	0,20	-1,30	-12,60
-0,76	-1,88	-3,23	-1,68	-1,49	-2,50	-15,20
0,61	0,68	0,98	-1,98	-1,20	-1,90	-16,20
-0,50	-0,28	-0,88	-2,38	-1,20	-1,50	-11,70
-1,89	-1,16	-0,88	-1,78	-4,18	-15,28	-99,90
2,46	2,52	2,75	-1,59	-1,69	-8,59	-98,70
-0,24	-0,37	-2,16	-2,78	-1,69	-3,50	-19,30
-1,42	-1,39	-0,98	-0,99	-3,69	-56,44	-99,70
0,50	0,38	1,79	-3,94	-4,78	-7,29	-25,90
2,13	-0,56	-1,99	-2,83	-6,67	-27,77	-100,00
0,20	-1,78	-3,33	-4,26	-3,09	-5,79	-30,00
0,10	0,27	0,60	-1,11	0,40	-1,10	-18,20
1,22	-1,95	-3,62	-3,17	-2,09	-5,49	-36,20
1,77	-0,61	-6,56	-6,24	-4,58	-3,50	-14,00
0,42	-0,23	0,59	-2,68	-4,08	-17,48	-99,90
0,68	0,29	1,30	-0,91	-0,20	-1,30	-18,80
0,67	0,88	1,18	1,49	-0,90	-10,00	-30,20
-0,73	-0,64	-1,50	-2,42	-1,79	-4,60	-27,00

1,35	-1,17	-2,74	-2,38	-1,89	-4,60	-24,70
0,80	-2,62	-2,55	-3,67	-3,49	-7,69	-31,50
0,14	0,39	0,20	-1,19	-1,79	-6,89	-45,20
2,07	1,12	-1,10	-1,21	-0,40	-1,30	-14,70
1,38	1,18	2,06	-0,10	0,50	-1,00	-19,30
0,08	-2,82	-2,59	-2,02	-1,49	-5,59	-30,80
2,28	0,48	-2,25	-3,77	-2,89	-3,90	-16,20
1,55	1,15	0,40	-1,41	-0,70	-2,50	-16,30
-1,20	-1,95	-3,29	-3,73	-2,89	-5,39	-27,00
1,15	-1,12	-2,49	-2,42	-1,79	-4,90	-26,70
-0,93	-0,55	-0,40	-1,50	-8,94	-57,17	-99,90
2,78	1,73	-1,80	-0,81	-2,29	-11,07	-99,80
-0,97	-0,54	-0,10	-1,50	-8,04	-99,60	-99,90
-1,86	-1,39	-0,50	-1,00	0,10	-0,80	-12,96
3,37	1,97	-1,40	-1,62	-0,50	-0,90	-8,78
1,93	0,17	-1,60	-1,21	-0,50	-1,10	-31,34
-2,15	-2,21	-0,70	-0,90	-2,51	-11,16	-99,90
1,47	1,40	-0,60	-1,62	-0,70	-4,09	-27,15
3,11	2,01	-1,00	-1,01	0,10	-1,10	-21,56
-2,27	-1,51	-0,80	-0,50	-3,19	-39,48	-99,90
-1,93	1,33	0,10	-4,60	-17,53	-99,80	-100,00
-2,70	-2,38	-1,50	-0,50	-1,90	-10,27	-99,80
-0,50	-0,13	0,60	0,00	-4,89	-21,54	-99,90
-2,99	-3,02	-2,29	-2,10	-4,49	-17,75	-99,80
-3,66	-2,45	-1,50	-0,30	-0,80	-5,58	-99,80
-3,89	-3,38	-2,69	-1,60	-4,19	-27,22	-99,90
0,49	-1,49	-4,29	-4,20	-4,98	-12,09	-91,40
1,76	1,66	1,69	1,70	0,30	-8,89	-60,80
0,13	-0,16	1,50	0,20	-3,78	-13,29	-100,00

0,30	-0,43	-1,04	-1,91	-3,19	-14,87	-54,17
------	-------	-------	-------	-------	--------	--------

Anexo 8. Error Medio Ponderado

3000	1500	1000	750	500	250	120
0	0,00	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00
0	0,00	0,17	0,00	-0,01	-0,02	-0,07
0	0,00	-0,12	-0,38	-0,18	-0,21	-0,19
0	0,00	0,00	-0,25	-0,61	-0,66	-0,71
8,1E-05	1,02	0,08	0,00	0,01	-0,01	0,00
0	0,01	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00
0	0,00	0,00	0,00	-0,05	-1,85	-0,76
0	0,00	-0,02	-0,09	-0,53	-1,28	-0,29
0	0,00	0,00	0,00	-0,48	-0,18	-0,10
0	0,05	0,12	0,14	0,02	-0,19	-0,11
0	0,00	0,04	0,25	0,01	-0,01	-0,03
0	0,00	0,33	0,74	0,57	0,58	0,12
0	0,00	-0,10	-0,15	-0,73	-0,83	-0,17
0	0,00	0,11	0,11	0,29	0,16	-0,08
0	0,00	0,00	-0,06	-0,08	-0,34	-0,18
0	0,00	-0,20	-0,52	-0,18	-0,18	-0,14
0	0,38	1,63	0,22	0,07	0,07	-0,03
0	0,00	-0,02	-0,11	-0,10	-0,33	-0,21
0	0,00	-0,02	-0,95	-0,17	-0,05	-0,02
0	0,00	0,35	0,01	0,02	0,10	-0,26
0	0,00	0,01	0,02	-0,19	-0,69	-0,15
0	0,00	-0,01	-0,04	-0,35	-0,89	-1,21
0	0,00	0,00	0,00	0,12	0,22	-0,09
0	0,00	-0,01	-0,21	-0,49	-0,44	-0,26
0	0,22	0,25	0,00	-0,07	-0,25	-0,25
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0	0,00	0,02	0,01	0,00	0,11	-0,74
0	0,00	0,01	0,16	0,36	0,33	0,09
0	0,00	-0,06	-0,42	-0,11	-0,13	-0,04

0	0,00	0,00	-0,03	-0,56	-0,79	-0,26
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,77	-0,78
0	0,00	0,01	0,01	0,10	0,08	-0,15
0	0,00	0,00	0,00	0,07	-0,87	-0,07
0	0,03	1,04	0,07	0,05	0,05	0,00
0	0,00	-0,49	-0,60	-0,40	-0,19	-0,06
0	0,33	0,11	0,02	0,08	-0,79	-0,60
0	0,00	0,60	0,18	0,09	0,03	-0,10
0	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,54	-0,46
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,05	-0,06
0	0,00	0,00	0,08	0,75	-0,64	-0,08
0	0,00	-0,08	0,00	-0,05	-0,04	-0,36
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,10	-0,16
0	0,00	0,00	0,01	0,21	-0,61	-0,19
0	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,96	-0,30
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,06	-0,38
0	0,00	0,17	0,46	0,34	-0,09	-0,12
0	0,00	1,10	0,18	0,27	-0,29	-0,03
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,16	-0,15
0	0,00	0,00	0,01	0,19	0,07	-0,18
0	0,00	-1,11	-1,14	-0,22	0,00	0,00
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00
0	-0,06	-0,03	0,00	-2,18	-0,57	0,00
0	-3,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0	-0,06	0,00	0,00	0,00	-0,69	-0,65
0	0,00	0,00	-0,02	-0,29	-2,62	-0,62
0	0,00	0,04	0,32	0,56	0,51	0,16
0	0,00	0,00	-0,05	-0,04	0,00	0,00

0,00 -0,03 0,09 -0,03 -0,07 -0,31 -0,20

45/60	22,5/30	15	7,5	0	EMP
0,00	-0,01	0,00	-0,04	-0,02	0,49
-0,15	-6,74	-6,81	-2,77	-0,01	-16,41
-0,07	-0,68	-0,30	-0,55	-0,63	-3,32
-1,28	-10,62	-4,33	-6,09	-0,06	-24,59
0,00	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	1,04
0,00	-0,16	-0,05	-0,09	-0,05	0,62
-1,51	-3,65	-0,93	-1,20	-1,09	-11,05
-0,07	-0,62	-0,31	-0,57	-0,27	-4,05
-0,01	-0,25	-0,15	-0,89	-0,67	-2,74
-0,03	-0,24	-0,14	-0,68	-0,49	-1,56
-0,10	-7,39	-0,01	-0,01	-0,02	-7,28
0,00	-0,14	-0,05	-0,42	-0,28	1,47
-0,05	-0,23	-0,11	-0,66	-0,70	-3,72
-0,02	-0,13	-0,07	-0,45	-0,44	-0,51
-0,04	-0,22	-0,12	-0,74	-0,56	-2,32
-0,06	-0,79	-1,02	-0,43	-0,33	-3,86
-0,02	-0,59	-0,30	-0,58	-0,02	0,83
-0,06	-0,35	-0,23	-1,15	-1,39	-3,94
-0,11	-3,07	-1,83	-2,53	-0,05	-8,80
-0,06	-0,12	-0,06	-0,20	-0,22	-0,45
-0,15	-1,29	-0,84	-1,34	-0,55	-5,18
-0,42	-0,62	-0,29	-1,19	-0,80	-5,84
0,01	-0,34	-0,15	-0,78	-0,81	-1,82
-0,06	-0,66	-3,96	-11,27	-0,14	-17,50
-0,19	-0,47	-0,19	-2,07	-0,02	-3,03
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	-0,01	-0,01	-0,05	-0,03	-0,71
-0,01	-0,18	-0,15	-0,50	-0,37	-0,26
-0,02	-0,05	-0,07	-0,33	-0,01	-1,24

-0,06	-0,26	-0,16	-0,62	-0,53	-3,27
-0,14	-0,58	-0,24	-0,69	-0,22	-4,44
-0,07	-1,04	-0,74	-2,18	-1,47	-5,44
-0,01	-0,31	-0,10	-0,81	-0,15	-2,25
0,00	-0,09	-0,06	-0,33	-0,10	0,67
-0,08	-0,70	-0,23	-0,76	-0,02	-3,53
-0,12	-0,33	-0,14	-0,59	-0,60	-2,63
-0,03	-0,83	-0,50	-2,19	-0,13	-2,87
-0,28	-3,71	-3,09	-19,99	-0,06	-28,15
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,06	-54,79	-0,28	-0,54	-0,50	-57,30
-0,08	-1,10	-0,53	-0,67	-0,38	-2,65
-0,39	-5,12	-2,67	-3,25	-2,73	-14,68
0,01	-1,68	-1,17	-11,10	-1,29	-15,50
-0,02	-0,17	-0,21	-18,45	-0,06	-19,49
-0,02	-0,47	-0,28	-0,91	-0,50	-3,42
-0,07	-4,07	-19,62	-18,93	-0,54	-43,67
-0,02	-0,49	-0,32	-1,20	-1,09	-2,35
0,00	-0,17	-0,13	-0,69	-0,31	-0,07
-0,49	-13,25	-6,67	-8,20	-0,13	-29,05
-0,51	-3,28	-1,21	-1,38	-0,09	-6,37
0,00	-0,05	-0,07	-0,03	0,00	-2,63
-0,87	-8,71	-5,15	-9,21	-0,18	-23,99
0,00	-0,02	0,00	-0,01	0,00	-2,86
0,00	-0,03	-0,02	-0,03	-0,01	-3,74
-0,60	-3,99	-4,24	-7,04	-0,32	-17,57
-0,05	-0,64	-0,27	-0,21	-0,21	-4,92
0,01	-0,63	-0,30	-0,44	-0,48	-0,27
0,00	-0,14	-0,04	-0,07	-0,03	-0,37

-0,16

-2,52

-1,22

-2,55

-0,38

-7,39



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Correa Reinoso Cindy Rossana** con C.C: # 0926397217 autora del trabajo de titulación: **Determinación del error del parque de medidores de usuarios residenciales en una zona de 40.000 usuarios, su impacto en los niveles actual y futuro de pérdidas de agua potable del sistema de abastecimiento** previo a la obtención del título de **Ingeniera 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, **15 de marzo de 2021**

f. _____

Correa Reinoso Cindy Rossana

C.C: 0926397217



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Determinación del error del parque de medidores de usuarios residenciales en una zona de 40.000 usuarios, su impacto en los niveles actual y futuro de pérdidas de agua potable del sistema de abastecimiento		
AUTORA	Correa Reinoso Cindy Rossana		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Molina Arce, Stephenson Xavier M. Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniera Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	15 de marzo de 2021	No. DE PÁGINAS:	87 páginas
ÁREAS TEMÁTICAS:	Agua potable, ingeniería ambiental e ingeniería sanitaria.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Error de Medición, Balance Hídrico, Agua No Facturada, Error Global, Patrón de Consumo, Curva de Error.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>La disponibilidad del agua es vital ya que no solo es un recurso importante para los seres humanos sino también resulta indispensable para la agricultura y producción industrial. Las pérdidas de agua a causa de diferentes componentes implican un fuerte impacto para la empresa portadora de ese servicio tanto hidráulicas como financieras. Este proyecto de investigación se basa en un estudio de usuarios residenciales y comerciales para determinar el <i>error de medición</i> del parque de medidores, es decir poder cuantificar las imprecisiones de los medidores como tal, antes y después de su instalación. Pero también, mediante el <i>balance hídrico</i> lograr calcular el (<i>Agua No Facturada (ANF)</i>). Este estudio consta de 40000 usuarios, los mismos que se analizaron estadísticamente mediante el método de distribución normal.</p> <p>La empresa prestadora del servicio de agua potable cuantifica este <i>error global</i> mediante dos parámetros principales: <i>patrón de consumo</i> y <i>curva de error</i>. Se determinó que existe un 7.39% en ese sector. Se estableció el retorno de inversión que soportara la empresa de agua por el reemplazo de un medidor ensayado para mermar las imprecisiones de medida. Se realizó mediante el <i>método ROI – Return of Investment</i>.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-96543003	E-mail: cindy-correa_20@live.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Catalina Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-984616792		
	E-mail: claglas@hotmail.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			