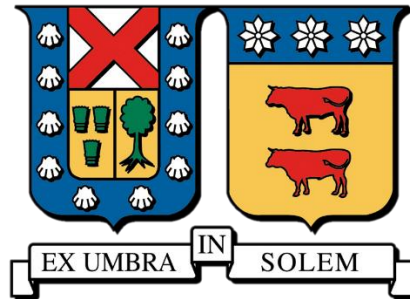


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE**



**EVALUACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO DEL ERROR DE LECTURA ENTRE
MEDIDORES GENERALES Y REMARCADORES DE AGUA POTABLE EN EDIFICIOS
RESIDENCIALES, SEGÚN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN**

RODOLFO IGNACIO CRUZ ORTIZ

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

**PROFESOR GUÍA:
PROFESOR CORREFERENTE:**

**SR. JAIME ESPINOZA S.
SR. MATÍAS MELO C.**

ENERO – 2025

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre, Laura Ortiz H., a mi padre, Miguel Cruz M., y a mis amigos, quienes estuvieron presentes de una forma u otra, para escucharme y apoyarme durante el difícil proceso de hacer esta tesis.

También, agradezco a los profesores que fueron parte de mi formación académica. Gracias a sus conocimientos y enseñanzas he logrado llegar hasta el punto en el que estoy.

De manera especial, le agradezco a mi profesor guía, Jaime Espinoza S., y a mi profesor correferente, Matías Melo C., por su orientación y apoyo durante este proyecto. Además, agradezco al personal del Departamento de Control de la Medición por su valioso apoyo con la información e implementación necesarias para llevar a cabo este proyecto.

Finalmente, quiero reconocerme a mí mismo por no rendirme ni ceder ante la frustración. A pesar de los contratiempos y dificultades, logré superar los obstáculos y seguir adelante hasta concluir este desafío.

Resumen ejecutivo

Este estudio aborda la problemática de la diferencia de registro de agua entre los medidores generales y los remarcadores en conjuntos inmobiliarios residenciales, situación que produce pérdidas económicas considerables para las empresas sanitarias. El objetivo principal de la investigación fue comprobar si es que las diferencias entre los registros se asocian a la disminución de la calidad metrológica de los medidores generales tras un tiempo de operación.

En la sección de la metodología se incluyeron temas como la selección de casos con diferentes sistemas de alimentación, la recopilación y posterior análisis de datos reales facilitados por Esval, y la realización de pruebas de precisión en los bancos especializados disponibles en el laboratorio de la universidad para la recreación de las curvas de error de los medidores. Tras la finalización de las pruebas, se pudieron identificar los caudales críticos de los medidores, es decir, los que poseen un mayor grado de error negativo (subregistro de agua).

Los resultados de las pruebas y los respectivos cálculos de error posteriores destacaron que el desgaste mecánico por los años de operación y las limitaciones metrológicas, tanto del diseño mismo como por el deterioro, son variables fundamentales en el subregistro presenciado en los medidores, particularmente en los caudales más pequeños (entre Q_a y Q_2). Por otra parte, los sistemas de alimentación mediante el uso de estanques con control de nivel por electroválvulas e interruptores de flotador han mostrado un mejor desempeño en comparación con los casos de alimentación directa desde la red pública de agua potable.

Tras completar la investigación se concluye que una mejor selección de medidores, con un enfoque en los caudales diarios de trabajo de cada cliente, y una optimización de la vida útil de los equipos de medición podrían mitigar de manera importante las pérdidas económicas por problemas de prorratio. Se recomienda crear una clasificación de los clientes en base a sus consumos y cantidad de pobladores, de esta manera se podría tener una idea más clara de que medidor se adecua mejor a sus caudales de consumo.

Palabras clave: Medición de agua, error de precisión, prorratio negativo, gestión eficiente, sistemas de alimentación.

Abstract

This study addresses the issue of discrepancies in water measurement between main meters and submeters in residential housing complexes, a situation that results in significant economic losses for water utility companies. The primary objective of the research was to determine whether the differences in readings are associated with the decline in the metrological quality of main meters after a period of operation.

The methodology section covered topics such as the selection of cases with different water supply systems, the collection and subsequent analysis of real data provided by Esval, and the execution of accuracy tests using specialized test beds available in the university laboratory to recreate the error curves of the meters. Upon completing the tests, it was possible to identify the critical flow rates of the meters, specifically those with a higher degree of negative error (under-registration of water).

The results of the tests and the subsequent error calculations highlighted that mechanical wear due to years of operation and metrological limitations, both inherent to the design and due to deterioration, are key variables contributing to the under-registration observed in the meters, particularly at lower flow rates (between Q_a and Q_2). On the other hand, water supply systems utilizing tanks with level control via solenoid valves and float switches showed better performance compared to cases of direct supply from the public water network.

Following the completion of the research, it is concluded that a better selection of meters, focusing on the daily operating flow rates of each customer, and an optimization of the service life of the measuring devices could significantly mitigate economic losses caused by proration issues. It is recommended to create a classification of customers based on their consumption and population size. This approach could provide a clearer understanding of which meter is best suited to their consumption flow rates.

Keywords: Water measurement, accuracy error, negative proration, efficient management, supply systems.

Índice

1. Capítulo N°1: Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivo específico	2
1.2. Estructura de la tesis	2
2. Capítulo N°2: Marco teórico	4
2.1. Sector Sanitario y marco regulatorio	4
2.1.1. ¿Qué es Esval y a qué se dedica?.....	4
2.1.2. Decreto 1199: Aprueba el reglamento de concesiones sanitarias de producción y distribución de agua potable y de recolección y disposición de aguas servidas y de las normas sobre la calidad de atención a los usuarios de estos servicios.....	5
2.1.3. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).....	5
2.1.4. Decreto 50: Aprueba el Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado (RIDAA)	6
2.2. Lecturas de consumo y facturación mensual.....	6
2.2.1. Lectura manual	7
2.2.2. Lectura a distancia o telelectura	8
2.2.3. ¿Qué es el prorrateo?	8
2.2.4. ¿Cómo se realiza el prorrateo en la facturación?	9
2.3. Medidores y bancos de prueba	13
2.3.1. Caudales de trabajo de los medidores	13
2.3.2. Clase metrológica de los medidores de agua	13
2.3.3. Rango Dinámico <i>R</i> de los medidores de agua	14
2.3.4. Tipos de medidores de agua.....	14
2.3.5. Deterioro de la curva de error de un medidor	17
2.3.6. Fichas técnicas medidores de medidores utilizados	17
2.3.7. Bancos de prueba disponibles.....	20
2.4. Sistemas de alimentación estudiados	29
2.4.1. Alimentación desde estanques con válvulas de solenoide e interruptor de flotador.....	29
2.4.2. Alimentación con conexión directa a la red de agua potable.....	31

3.	Capítulo N°3: Metodología de trabajo	32
3.1.	Identificación del problema de prorrateo negativo	32
3.2.	Hipótesis del caso	32
3.3.	Tipos de viviendas a estudiar y selección de la muestra de clientes	32
3.4.	Descripción de clientes seleccionados.....	33
3.4.1.	Caso 1: Parque Lautaro Rosas – 5 Norte 1330, Viña del Mar – N° Cliente 104388	33
3.4.2.	Caso 2: AB Inmobiliaria LTDA – Los Tuliperos 160, Concón – N° Cliente 776352	34
3.4.3.	Caso 3: Edificio Costa del Sol – Toro Herrera 595, Viña del Mar – N° Cliente 248571.....	36
3.5.	Metodología de pruebas de laboratorio	37
3.5.1.	Recopilación de datos.....	37
3.5.2.	Análisis de datos de clientes	37
3.5.3.	Selección de caudales de prueba	38
3.5.4.	Pruebas en laboratorio.....	38
3.5.5.	Resultados de pruebas en laboratorio	39
3.5.6.	Cálculo de error global del medidor.....	41
3.5.7.	Análisis de los resultados	41
3.6.	Procedimiento de los casos	41
3.6.1.	Caso 1: N° Cliente 104388 (Itrón Flostar S).....	41
3.6.2.	Caso 2: N° Cliente 776352 (Sensus 405s)	47
3.6.3.	Caso 3: N° Cliente 248571 (Itrón Flostar M)	53
3.7.	Resultados del cambio de medidores principales.....	58
4.	Capítulo N°4: Conclusiones y recomendaciones	60
4.1.	Conclusiones	60
4.2.	Recomendaciones para Esval y futuros investigadores	62
5.	Referencias.....	65
6.	Anexos	67

Glosario de abreviaturas

Abreviación	Significado
DFL	Decreto con Fuerza de Ley
DN	Diámetro Nominal
DS	Decreto Supremo
EMA	Error máximo admisible
Esva	Empresa Sanitaria de Valparaíso
HRI	“High – resolution interface” / Interfaz de alta resolución
ISO	International Organization for Standardization / Organización Internacional de Normalización
MINECON	Ministerio de Economía
MOP	Ministerio de Obras Públicas
NA	Normalmente abierto
NC	Normalmente cerrado
NCh	Norma Chilena
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series / Salud Ocupacional y Series de Evaluación de la Seguridad
Q_a	Caudal de arranque
Q_1	Caudal mínimo
Q_2	Caudal de transición
Q_3	Caudal permanente o nominal
Q_4	Caudal de sobrecarga
RIDAA	Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado
SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios
TPL	Terminales Portátiles de Lectura
U.T.F.S.M.	Universidad Técnica Federico Santa María

1. Capítulo N°1: Introducción

El agua es un recurso de vital importancia para toda la Tierra, constituyendo alrededor de un 70% de la superficie del planeta y siendo esencial para la supervivencia de todos los seres vivos. Este fluido posee un papel importante en numerosos procesos biológicos (fotosíntesis, metabolismo, transporte de nutrientes, regulación de temperatura), económicos (agricultura, industria, energía) y sociales (salud pública, calidad de vida, desigualdad social), desde el mantenimiento de ecosistemas hasta la producción de alimentos y el desarrollo industrial. Ahora bien, la creciente demanda y la contaminación ambiental han puesto en riesgo su disponibilidad y calidad, destacando la necesidad urgente de implementar prácticas de conservación y uso responsable. Dentro de este contexto, el monitoreo y gestión eficiente del agua se vuelven fundamentales

Para asegurar esta gestión eficiente del agua, es indispensable contar con las herramientas de monitoreo adecuadas. Entre estas herramientas se pueden mencionar los medidores de agua, los cuales juegan un papel clave. Estos dispositivos permiten medir y registrar el consumo de agua, facilitando una distribución equitativa y sostenible. Actualmente en el mercado existen diversos tipos de medidores de agua, cada uno con características específicas, las cuales se adaptan a las diferentes necesidades y aplicaciones, contribuyendo así en la protección de este valioso e importante recurso.

Además, la precisión y fiabilidad de los medidores de agua son partes cruciales en la gestión eficiente de este recurso vital. Un conteo deficiente por parte de estos dispositivos metrológicos no solo puede llevar a una distribución inexacta del agua, sino que también dificulta la detección de posibles fugas o desperdicios. Esto se puede traducir en un uso ineficiente del agua y en costos innecesarios tanto para los usuarios, como para los proveedores de servicios hídricos. Por lo tanto, asegurarse que los medidores de agua operen dentro de su rango admisible de error se vuelve fundamental para garantizar una gestión adecuada y sostenible.

En la actualidad, Esval (Empresa Sanitaria de Valparaíso) ha logrado detectar una problemática en los sistemas de submedición de la región, los cuales poseen un medidor general (para una zona determinada) y medidores remarcadores (para domicilios individuales) conectados al general. La empresa ha detectado una discrepancia significativa entre las lecturas de estos tipos de medidor.

En base a la experiencia se ha notado que para ciertos caudales de trabajo los medidores tienden a generar un subregistro, es decir, se cuentan menos litros de los que corresponden, o un sobregistro, el cual viene a ser el caso contrario (se cuentan más litros de los que corresponden). En los caudales comúnmente manejados en recintos domiciliarios, los medidores generales tienden generar un subregistro debido a los caudales en los que operan (muy bajos). Esto aporta al crecimiento de la brecha entre los consumos de los 2 tipos de medidor.

Esta brecha que se genera entre el medidor general y la sumatoria de los medidores remarcadores conectados, es una problemática importante para la empresa, ya que de acuerdo con la actual normativa sanitaria chilena, dictada por la SISS, en estos casos donde se presentan discrepancias de litros, es obligatorio facturar con base en la lectura del medidor general, es decir, lo que diga el medidor general es lo que se facturará y las diferencias con la sumatoria de los remarcadores deberán ser compensadas por Esval o los clientes dependiendo de hacia lado se carga el balance de consumos. Cuando el consumo se carga para el lado de los clientes (la suma de remarcadores cuenta más litros que el medidor general) representa una pérdida para la empresa, ya que aunque la suma total de los remarcadores registre un mayor volumen de agua, prevalece la lectura del medidor general, teniendo

que reembolsar esos litros que no contó. Esta situación se ha identificado como una oportunidad de mejora para la empresa.

Por lo tanto, hasta este punto surgen varias interrogantes, tales como, ¿el problema radica en el medidor general o en el medidor remarcador? ¿acaso la problemática viene dada por ambos medidores en conjunto? ¿el sistema de alimentación de agua tendrá alguna relación con el problema? Si bien, con la antigüedad los medidores tienden a subestimar el volumen real de agua (debido al desgaste y deterioro), también existen casos en los que algunos medidores registran un volumen mayor (por ejemplo, aumentos de velocidad del agua por obstrucciones). Aclarar el origen de la problemática es fundamental para resolver esta interrogante, lo cual permitirá a Esval tomar decisiones claras e informadas para mitigar las pérdidas debido a esta discrepancia.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Investigar de forma experimental si la presencia de prorratio negativo en la facturación de algunos clientes de Esval se encuentra asociada a una falta de calidad metrológica en los medidores generales instalados.

1.1.2. Objetivo específico

- Evaluación del desempeño de los medidores generales de clientes de Esval mediante la recreación de sus curvas de error en el Laboratorio de Termofluidos de la Universidad Técnica Federico Santa María.
- Comparación entre curvas de error originales y reconstruidas para notar el deterioro generado en los medidores por el paso del tiempo, además, encontrar los puntos críticos de error para conocer los rangos de caudal con menos precisión.
- Detectar si la aparición de prorratio negativo se encuentra directamente asociada con la falta o disminución de la calidad de metrológica que poseen los medidores generales instalados.

1.2. Estructura de la tesis

En este trabajo se distribuirá toda la información en 4 capítulos, donde se abordará detalladamente la información necesaria para comprender el proyecto. Estos capítulos son:

- **Capítulo 1: Introducción**
 - En este capítulo se introduce el tema del proyecto, abordando las motivaciones, las tecnologías utilizadas para la gestión de agua, las problemáticas detectadas por la empresa y los objetivos que se espera alcanzar al concluir el proyecto.
- **Capítulo 2: Marco teórico**
 - En esta sección se describen diversos tópicos esenciales para comprender el proyecto. Entre ellos se incluyen las características del sector sanitario en Chile, los reglamentos aplicables, el método de toma de lectura de los medidores, el procedimiento de facturación de consumos, la selección de los medidores a probar, sus fichas técnicas con sus especificaciones, los bancos de prueba disponibles en el laboratorio y los sistemas de alimentación asociados a los casos de análisis.

- **Capítulo 3: Metodología de trabajo**
 - En este capítulo se detalla la metodología de trabajo adoptada para el proyecto. Se incluyen aspectos como la identificación del problema de prorrato negativo, la hipótesis planteada, los tipos de viviendas que se analizarán y la muestra de clientes seleccionada. Además, se explica la metodología de pruebas en laboratorio, el procedimiento aplicado a cada caso individual y se cierra con los resultados obtenidos tras el cambio de los medidores principales.
- **Capítulo 4: Conclusiones y recomendaciones**
 - En esta sección se presentan las conclusiones del proyecto, destacando los resultados más relevantes para el estudio. Adicionalmente, se incluyen recomendaciones tanto para Esval como para los futuros investigadores interesados en la metrología de medidores de agua. Estas recomendaciones se enfocan en mejorar los procesos de facturación de la empresa y en la complementación de la investigación para tener mejores conocimientos en esta área de la ingeniería.

2. Capítulo N°2: Marco teórico

2.1. Sector Sanitario y marco regulatorio

2.1.1. ¿Qué es Esval y a qué se dedica?

Esval S.A. es una empresa dedicada tanto a la producción y distribución de agua potable, así como a la recolección, tratamiento y disposición de aguas servidas. Su operación cubre las áreas urbanas de la Región de Valparaíso y otras zonas de expansión autorizadas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Teniendo más de 46 sistemas productivos de agua potable y 30 sistemas de tratamiento de aguas servidas, Esval cubre las necesidades de más de 650 mil clientes, tarea que requiere un esfuerzo constante para asegurar un servicio eficiente y de alta calidad.

La misión de Esval consiste en mejorar la calidad de vida de las personas y contribuir al desarrollo regional mediante una gestión integral del agua, mientras que su visión apunta a superar las expectativas de los clientes y generar un valor sostenible. En las fundaciones de la empresa se encuentran valores como eficiencia, compromiso, transparencia y empatía para guiar su gestión.

Desde 2008, Esval ha sido un exponente en el país al obtener certificaciones internacionales, tales como ISO 9001:2008, OHSAS 18001:2007 e ISO 14001:2004, y ha continuado con la recertificación en versiones actualizadas de estas normas, lo que evidencia su compromiso con la calidad, seguridad y sostenibilidad ambiental. La utilización de estas normas permite a la empresa demostrar un enfoque en la mejora continua y el cumplimiento normativo, destacando su compromiso con la comunidad y el medio ambiente.

Adicionalmente, se tiene la filial Aguas del Valle, constituida en 2003, la cual se encarga de los servicios en la Región de Coquimbo, donde se tienen en operación 35 sistemas productivos de agua potable y 22 sistemas de tratamiento de aguas servidas, cubriendo las necesidades de más de 247 mil clientes. Las actividades de Aguas del Valle, al igual que las de Esval, se encuentran reguladas por la SISS, entidad fiscalizadora creada en 1990 para asegurar la sostenibilidad y calidad del servicio sanitario.

Esval y su filial Aguas del Valle trabajan constantemente para ofrecer un servicio que, aunque a menudo pasa desapercibido, requiere experiencia, innovación y compromiso con la sostenibilidad. La empresa busca día a día asegurar agua de alta calidad y la adecuada disposición de las aguas servidas, aportando al bienestar de la región y al desarrollo sustentable.



Figura N°1: Área de concesión de Esval en la región de Valparaíso. Fuente: Web Esval.

2.1.2. Decreto 1199: Aprueba el reglamento de concesiones sanitarias de producción y distribución de agua potable y de recolección y disposición de aguas servidas y de las normas sobre la calidad de atención a los usuarios de estos servicios.

De acuerdo con el Decreto 1199 del Ministerio de Obras Públicas (MOP), se dicta que todas las empresas del área serán fiscalizadas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Adicionalmente, incluye todos los aspectos clave para la solicitud de la concesión, producción y distribución del servicio de agua potable. Este decreto explica todos los requisitos necesarios para la solicitud de concesiones, así como las responsabilidades y derechos de los usuarios y proveedores del servicio. Otros elementos varios que se abordan en el decreto son la facturación, estándares de calidad del agua, y elementos adicionales como grifos públicos, grandes consumidores, fusiones de empresas, entre otros.

Dentro de este decreto hay un artículo en particular a destacar, el cual se relaciona directamente con la problemática del proyecto. El artículo N°108 indica que todo edificio y conjunto habitacional acogido por la nueva ley de copropiedad inmobiliaria (Ley 21442) que posean una conexión única a la red pública de agua potable deberán poseer un medidor general en la línea oficial de entrada al inmueble. Adicionalmente, se deberán instalar medidores remarcadores para cada departamento o inmueble, y también para el registro de gastos comunes. La sumatoria del total de remarcadores se considera como un segundo registro, el cual se usará como comparador. En el caso de que este registro no coincida con el consumo registrado por el medidor general, la diferencia existente, tanto positiva como negativa, deberá ser prorrateada según las indicaciones del Decreto N°453 del MINECON, artículo N°55 y el Manual de Facturación de la SISS, capítulo 12.

Otro artículo interesante para el proyecto es el N°101, el cual indica que los medidores con los cuales se trabajará en Chile deben medir los consumos en metros cúbicos, por lo tanto, otro tipo de unidades no son válidas para su uso en la región.

2.1.3. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)

El adecuado control de desechos sanitarios de diversos procesos es una tarea de vital importancia para la sociedad, ya que el no manejar de manera correcta estos elementos podría desencadenar una serie de problemas para las personas, tales como, el desarrollo de enfermedades, acumulaciones de desechos, malos olores ambientales, entre otros. Todos estos factores se traducen en una disminución de la calidad de vida para las personas y por ello es fundamental la existencia de una institución que se encargue de fiscalizar y de hacer cumplir las normas sanitarias vigentes.

En Chile, existe una institución que cumple este rol regulador, esta es la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), la cual **se encarga de asegurar el acceso a agua potable tanto en calidad, como en cantidad y continuidad, y el adecuado tratamiento de aguas servidas, acatando a las reglas establecidas por la normativa vigente.** Busca promover un uso adecuado y eficiente del recurso, además de, la transparencia de la información disponible, siendo así un ente educativo e informativo. La SISS tiene como meta ser una organización referente dentro del sistema sanitario nacional y líderes en la transformación del sistema sanitario para combatir el cambio climático y sus efectos, que tanto nos acomplejan y son cada día más evidentes.

2.1.4. Decreto 50: Aprueba el Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado (RIDAA)

El Decreto 50 proporciona un reglamento altamente detallado el cual debe ser cumplido por cualquier persona que proyecte o construya instalaciones de agua potable y/o alcantarillados. Este reglamento busca actualizar y regular las normas necesarias a considerar en los proyectos de construcción y puesta en servicio de las instalaciones domiciliarias de agua potable y alcantarillado. Aquí se consideran tanto los deberes y responsabilidades de los proyectistas y propietarios del inmueble, como los parámetros técnicos necesarios para su construcción y funcionamiento. Este reglamento es una herramienta que se suele usar para los dimensionamientos, diseños del sistema de abastecimiento, diseño del estanque y el sistema de elevación, instalación de red de incendios, entre otros.

Un elemento interesante a destacar del reglamento son las recomendaciones de diámetros para medidores en instalaciones de agua potable indicadas en el artículo N°52, sección c.b., este punto indica que para determinar el diámetro adecuado se debe usar como referencia la demanda máxima de la instalación en $\left[\frac{m^3}{día}\right]$, según los datos entregados periódicamente por la SISS. A continuación, se muestra una tabla con información extraída desde el reglamento, la cual especifica los diámetros recomendados según la demanda de los clientes.

Tabla N°1: Recomendaciones de diámetro nominal de medidores. Fuente: RIDAA.

Diámetro del medidor [mm]	Consumo máximo diario $\left[\frac{m^3}{día}\right]$	Gasto máximo probable $\left[\frac{l}{min}\right]$
13	3	50
19	5	80
25	7	117
38	20	333

Para calcular el diámetro del medidor se debe tener en cuenta el consumo máximo diario, el cual se puede obtener fácilmente sumando los consumos individuales instalados. Los valores típicos de consumos se pueden encontrar en el Anexo N°4 del RIDAA (valores referenciales).

Esta indicación es válida hasta medidores de 38 [mm]. Para el uso de diámetros superiores se recomienda analizar las especificaciones técnicas del fabricante para determinar un diámetro adecuado.

2.2. Lecturas de consumo y facturación mensual

Para llevar a cabo la lectura de consumos de los clientes Esval envía a personal autorizado y capacitado para generar los registros de forma periódica y mensual. Este personal se encargará de leer el medidor para tener un registro a comparar con el mes anterior y además observará el estado del equipo de medición para saber si es necesario reemplazarlo o no. En caso de tener dudas respecto a legitimidad del personal las formas más simples de identificarlos son observando el uniforme el cual debe incluir el logo de la empresa, o también puede ser mediante una identificación otorgada por Esval al trabajador.

Algunos factores importantes para recordar es que no se puede impedir el paso del personal autorizado de Esval para la realización de la lectura del medidor. Además, se encuentra estrictamente prohibido

la manipulación y/o modificación de los equipos de lectura, acción que se encuentra sancionada por la ley.

En conjuntos habitacionales, tales como, edificios de departamentos o condominios, el lector designado deberá realizar la lectura de todos y cada uno de los remarcadores de los clientes del recinto, pero adicionalmente deberá realizar la lectura del medidor general, el cual será la base de comparación para la posterior facturación y prorrates correspondientes.

2.2.1. Lectura manual

La forma tradicional de realizar la lectura del consumo de agua es necesario conocer algunos elementos generales de los medidores de agua. El equipo de medición posee un panel principal donde se puede encontrar información técnica del medidor, un contador del volumen de agua que atraviesa al medidor, pequeños relojes contadores y el detector de fugas. Este contador se lee de igual manera que el cuentakilómetros de los vehículos, de izquierda a derecha. Al observar los números se puede notar que hay algunos con fondo negro, los cuales representan los metros cúbicos que han atravesado al medidor hasta el momento, y otros con fondo rojo, lo cuales representan a los litros. Adicionalmente, están los relojes que pueden contar litros o fracciones de litro dependiendo del tipo de medidor y su resolución de lectura.

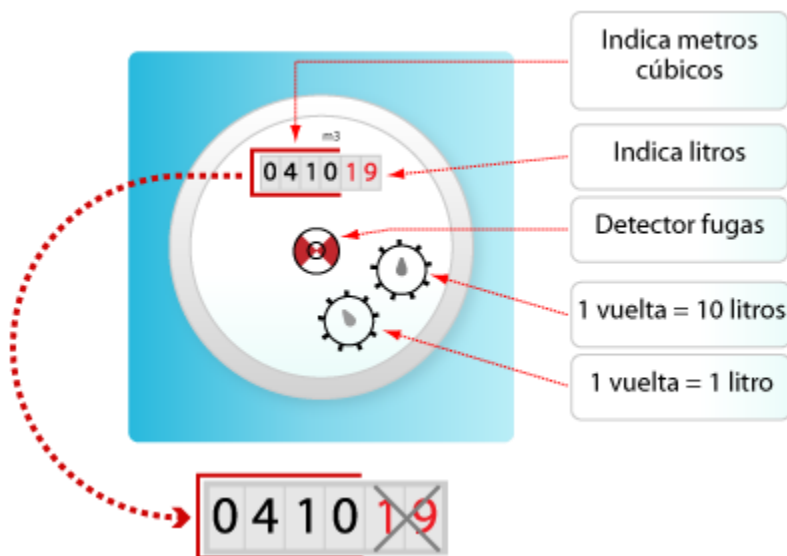


Figura N°2: Elementos de lectura del medidor. Fuente: Web SISS.

Para efectos prácticos de las empresas, como Esva, al momento de registrar los consumos de los clientes solo se fijan en los metros cúbicos (fondo negro) e ignoran los litros (fondo rojo y relojes). La suma de estos litros ignorados, de todo conjunto habitacional, suelen ser prorratesados entre los clientes de este. Se hablará en detalle sobre este último aspecto más adelante.

Ahora, para leer de forma completa el volumen exacto del medidor es necesario considerar los litros entregados por los números de fondo rojo y los relojes. Normalmente los relojes leen unidades de litro y/o decimas de litro y estos son de extrema utilidad a la hora de realizar mediciones en bancos de prueba, ya que los volúmenes de prueba en los ensayos de precisión realizados no suelen llegar a

los metros cúbicos Sin embargo, esto depende totalmente de los caudales ensayados y los estanques disponibles.

2.2.2. Lectura a distancia o telelectura

La telelectura en medidores de agua es una tecnología que permite recopilar de forma remota y automática los datos de consumo de los clientes. Esto se logra mediante el uso de medidores de agua equipados con módulos de comunicación que transmiten los datos a un sistema central sin la necesidad de hacer la lectura manual en el domicilio. Esta tecnología no solo mejora la eficiencia y precisión de las mediciones, sino que también mejora la confianza del cliente al eliminar el margen de error que se puede producir debido al factor humano.

Debido al constante desarrollo tecnológico, la telelectura ofrece múltiples configuraciones que se pueden adaptar a las necesidades de cada localidad/cliente. La implementación de este tipo de sistemas exige tener una compatibilidad con otros dispositivos, y además, capacidad de actualización para mantenerse vigente. Los fabricantes suelen recomendar la realización de proyectos piloto, para posteriormente realizar una expansión gradual de la cobertura, utilizando sistemas específicos según el contexto, por ejemplo: M-Bus o transmisión vía radio/red telefónica para zonas densamente pobladas, y transmisores de radio con Terminales Portátiles de Lectura (TPL) en áreas rurales. La selección del sistema apropiado depende de las características del lugar, las necesidades específicas de la empresa y la tecnología disponible (disponibilidad de mercado y stock).

2.2.3. ¿Qué es el prorrato?

La Real Academia Española define al prorrato como la “acción de prorratar o dividir proporcionalmente una cantidad”. Cuando las empresas de servicios sanitarios necesitan facturar los consumos de sus clientes, usan las lecturas del mes anterior como referencia para contar el nuevo consumo y así cobrar los correspondientes metros cúbicos consumidos, pero hay una situación que se presenta normalmente a la hora de realizar esta facturación, que es la diferencia de volumen entre la suma de los medidores remarcadores y el medidor general. Ante esta situación se nos pueden presentar 2 casos comunes:

- Si la sumatoria de los consumos de los medidores remarcadores es menor que la lectura de consumo proporcionada por el medidor general, entonces los residentes de los edificios deberán compensar esa diferencia a la empresa de servicios sanitarios. Esta diferencia se reparte (prorrata) entre todas las viviendas del conjunto habitacional, en forma proporcional a su consumo mensual (o de acuerdo con lo que la comunidad decida), es decir, los que consumieron más deberán pagar una mayor proporción de ese prorrato (positivo).
- Por otra parte, si la sumatoria de los consumos de los medidores remarcadores es mayor que el consumo indicado por el medidor general, la empresa sanitaria deberá descontar de manera proporcional a los consumos individuales la cantidad que sea correspondiente, lo cual se denomina prorrato negativo. Esta es una situación indeseable para la empresa, ya que se traduce como una pérdida de ingresos.

Un factor relevante para considerar, el cual se indica en el artículo N°40 del DFL MOP N°382/88, es que las instalaciones interiores comunes del recinto son responsabilidad de los inquilinos y su

comunidad, por lo tanto, es recomendable velar por el correcto uso y funcionamiento de estas para así evitar aumentos en las tarifas de facturación.

Algunas de las causas más comunes por las cuales se puede generar esta diferencia en la medición de consumos entre el medidor general y los remarcadores son:

- Errores de lectura en la toma de estados de los medidores, este error puede presentarse en el medidor general y/o medidores remarcadores. Este error puede ser tanto acumulativo al tomar en cuenta solo los metros cúbicos consumidos e ignorar los litros, como directamente un error de lectura que registre un consumo erróneo. También puede haber diferencias en los consumos debido al desfase temporal que puede existir mientras se toman las lecturas de los medidores general y remarcadores.
- Presencia de fugas en las instalaciones interiores del conjunto habitacional. Estas fugas pueden encontrarse a simple vista, aunque también pueden aparecer en sectores no visibles o de acceso más complejo.
- Consumo de elementos sin medidor, por ejemplo grifos o mangueras de incendios, el agua de las calderas, llaves de jardín, entre otros.
- La pérdida de calibración y/o deterioro del medidor general, lo cual puede generar lecturas de consumo que distan de las reales. Esto también aplica para los medidores remarcadores, que pueden medir consumos diferentes de lo que realmente se consumió.
 - Los medidores en general pueden medir más o menos volumen del real, pero este es un comportamiento anormal, ya que estos se diseñan para mantener niveles de precisión bastante estrictos. La tendencia más común es que midan un poco menos.
 - En el peor de los casos, los medidores generales subregistran el consumo, y a la vez, los remarcadores podrían estar sobreestimándolo.
- Pérdidas de agua en el estanque de acumulación del recinto. Esta pérdida se puede dar tanto por rebalse del agua al superar la capacidad de acumulación, como por fugas debido a daños en el estanque.
- Consumos no registrados de departamentos. Esto se puede deber a que uno o más medidores se encuentran en mal estado o que hayan sido intervenidos de forma fraudulenta por el cliente o terceros.
- Que la alimentación de algunos remarcadores provenga de un arranque diferente al que se encuentra conectado el medidor general, pero aun así sean considerados para la facturación.
 - También existe la posibilidad de que esas conexiones adicionales sean clandestinas, por lo tanto, no se debe descartar la posibilidad de fraude.
- Si el rango dinámico del medidor general es muy pequeño, podría haber consumos de muy bajo caudal que no serían posibles de registrar, ya que el medidor no tendría la sensibilidad suficiente para detectarlos.

2.2.4. ¿Cómo se realiza el prorrateo en la facturación?

La metodología explicada a continuación se extrajo desde el Manual de Facturación de la SISS, capítulo 12. Esta sección detalla los procedimientos para calcular y aplicar los prorrateos (positivos o negativos) en los conjuntos habitacionales con medidores generales y remarcadores. Ante cualquier discrepancia, se utilizará la lectura del medidor general como punto de referencia, lo cual puede generar pérdidas monetarias para la empresa si los remarcadores suman un mayor consumo.

Es común que en los conjuntos habitacionales exista una única conexión a la red pública de servicios sanitarios; en otras palabras, un solo arranque de agua potable.

El marco regulatorio del sector sanitario, complementado con las instrucciones dictadas por la SISS han establecido la forma de facturar a aquellos conjuntos habitacionales que disponen de una única conexión a la red.

Pero antes de pasar a explicar la facturación de clientes con remarcadores es importante tener en consideración algunos elementos de interés:

- Para clientes que se encuentran asociados al servicio hasta antes del 1° de agosto de 1998, se les debe mantener la antigua forma de medir y cobrar descrita en el Decreto 121 del MOP (actualmente derogado). En caso de que el cliente lo estime conveniente, puede adaptarse al nuevo sistema bajo las disposiciones descritas en el artículo primero de las disposiciones transitorias del Decreto 1199 del MOP y además, esté de acuerdo con el método de prorrateo utilizado por la empresa.
- Para todos los clientes que se adhieran al servicio a partir del 1° de agosto de 1998 y se encuentren acogidos por la Ley de Copropiedad, se les deberá aplicar las indicaciones descritas en el artículo N°108 del Decreto 1199 del MOP, es decir, deberán incluir un medidor general y remarcadores, además de aceptar los prorrateos que deba realizar la empresa debido a diferencias entre estos medidores (prorrateos positivos o negativos).
- En el caso que no sea posible obtener una lectura efectiva del medidor general, ya sea por encontrarse detenido, sin acceso, destruido, empañado, con clave de lectura, sin medidor, etc. no se podrá aplicar término medio a este medidor y, por lo tanto, para efectos de facturación del conjunto habitacional se deberá utilizar sólo la lectura de los medidores remarcadores como lectura efectiva.

A continuación se presenta un ejemplo del caso (de interés) particular de un cliente con medidor general y remarcadores en todas las viviendas del conjunto habitacional y presencia de prorrateo negativo. En el manual de facturación de la SISS se pueden encontrar ejemplos para otros casos, pero para efectos del proyecto se explicará solo el mencionado anteriormente.

2.2.4.1. Caso Medidor General con Remarcadores en todas las Viviendas y Prorrateo Negativo

Para llevar a cabo la facturación es necesario que esta se realice en base a la diferencia de lecturas que registre cada medidor remarcador, entre un período y el siguiente.

A modo de contextualización, se entregan los siguientes datos de consumo del medidor general y sus remarcadores:

- Sea un conjunto habitacional con 7 viviendas, todas equipadas con su respectivo medidor remarcador
- **Fecha de lectura actual:** 10/06/03
- **Lectura actual medidor general:** 3.300 [m^3]
- **Fecha de lectura anterior:** 10/05/03
- **Lectura anterior medidor general:** 3.000 [m^3]

Lecturas actuales medidores remarcadores:

Tabla N°2: Lectura actual de remarcadores de clientes. Fuente: Manual de Facturación de la SISS.

Remarcador	Lectura [m^3]
Cliente 1	100
Cliente 2	200
Cliente 3	150
Cliente 4	100
Cliente 5	200
Cliente 6	150
Cliente 7	100

Lecturas anteriores medidores remarcadores:

Tabla N°3: Lectura anterior de remarcadores de clientes. Fuente: Manual de Facturación de la SISS.

Remarcador	Lectura [m^3]
Cliente 1	80
Cliente 2	73
Cliente 3	56
Cliente 4	68
Cliente 5	79
Cliente 6	69
Cliente 7	95

Considerando todos los datos entregados, se puede proceder con la facturación de los consumos realizados por los clientes.

Fecha de facturación: 20/06/03

Consumo de cada remarcador:

Tabla N°4: Consumos de los clientes. Fuente: Manual de Facturación de la SISS.

Remarcador	Lectura [m^3]
Cliente 1	20
Cliente 2	127
Cliente 3	94
Cliente 4	32
Cliente 5	121
Cliente 6	81
Cliente 7	5
Consumo total remarcadores	480 [m^3]

$$\text{Consumo medidor general} = \text{Lectura actual} - \text{Lectura anterior} \quad (1)$$

$$\text{Consumo medidor general} = 3300 - 3000 = 300 [m^3]$$

$$\text{Diferencia } q = \text{Consumo medidor general} - \text{Consumo remarcadores} \quad (2)$$

$$\text{Diferencia } q = 300 - 480 = -180 [m^3]$$

La *Diferencia q* es el saldo a facturar en la forma que determine la Junta de Administración. Los prorrateos pueden ser de 2 tipos, un prorrateo proporcional a los m^3 consumidos individualmente o bien, un prorrateo proporcional a la superficie de la vivienda. Para efectos de esta tesis se utilizará el primer método.

Cálculo del factor individual de prorrateo (P_i)

$$P_i = \frac{Q_i}{MR} \quad (3)$$

Donde:

- P_i porcentaje a prorratear al cliente i-ésimo (con dos decimales).
- Q_i consumo del cliente i-ésimo.
- MR consumo total remarcadores.

Para el caso del “cliente 1”:

$$P_1 = \frac{20}{480} = 4.17\%$$

El factor P_i se multiplica por el saldo q , para obtener el consumo adicional por prorrateo para el cliente i (Q_{ai})

$$Q_{ai} = P_i * q \quad (4)$$

Donde:

- Q_{ai} consumo adicional del cliente i-ésimo.
- P_i factor de prorrateo para el cliente i-ésimo.
- q saldo de consumo (consumo medidor general menos suma remarcadores).

El consumo adicional por prorrateo (Q_{ai}), se debe obtener y presentar en el documento de cobro con 2 decimales, aproximado sólo al final de las operaciones matemáticas involucradas en su determinación y conforme a las reglas ya definidas por el Manual de Facturación de la SISS.

Continuando el ejemplo del cliente 1:

$$Q_{ai} = 0.0417 * (-180) = -7.51 [m^3]$$

$$\text{Consumo propio} = 20.00 [m^3]$$

$$\text{Consumo prorrateado} = -7.51 [m^3]$$

$$\text{Consumo total} = 12.49 [m^3]$$

Por lo tanto, si al cliente le correspondía pagar el consumo de 20 $[m^3]$, gracias a la refacturación debido al prorrato negativo, le corresponderá pagar un total de 12.49 $[m^3]$, es decir, la empresa esta perdiendo agua, la cual es consumida, pero no facturada (pérdidas monetarias).

2.3. Medidores y bancos de prueba

2.3.1. Caudales de trabajo de los medidores

El caudal es el término utilizado para referirse a la cantidad de agua que atraviesa un conducto por unidad de tiempo, normalmente se mide en $\left[\frac{m^3}{h}\right]$ o $\left[\frac{L}{s}\right]$, pero las conversiones varían según la necesidad.

Caudal de arranque Q_a : Es el caudal más bajo que puede alcanzar a registrar el medidor, pero sin un nivel de precisión importante (no se considera en la normativa). Aun así es relevante que este caudal sea pequeño, ya que aunque no detecte con alta precisión el consumo, puede acusar fugas.

Caudal mínimo Q_1 : Corresponde al punto más bajo de caudal que puede registrar el medidor dentro de los márgenes de precisión exigidos por la normativa chilena. Valores por debajo de este caudal no tienen un nivel de precisión fiable.

Caudal de transición Q_2 : Este punto de caudal intermedio representa el punto donde la precisión del registro aumenta considerablemente. Logrando así obtener registros del consumo con mayor fiabilidad.

Caudal permanente Q_3 : Este corresponde al caudal ideal de trabajo para el medidor, siendo este el punto donde el equipo puede funcionar de manera continua sin perder precisión ni sufrir daños importantes por desgaste, además, este es el punto que permite obtener la máxima precisión y durabilidad del medidor.

Caudal de sobrecarga Q_4 : Este caudal viene a ser el punto límite de trabajo del medidor sin sufrir daños permanentes a su integridad o precisión, pero esto solo es posible con periodos de trabajo cortos (2 horas aprox.), ya que superar estos tiempos podría generar un deterioro temprano del medidor. Superar este caudal aumenta las probabilidades de generar un daño permanente en el equipo.

2.3.2. Clase metrológica de los medidores de agua

Los medidores de agua se dividen en cuatro clases metrológicas según sus caudales mínimo (Q_1) y de transición (Q_2) en función del caudal nominal o permanente (Q_3). Estas clases metrológicas caracterizan el nivel de precisión que poseen los medidores, donde los medidores de clase A poseen una sensibilidad menor en comparación a los de clase D, que son altamente sensibles a los caudales más bajos.

A continuación, se adjunta una tabla de la Norma chilena 1730, 2002. Esta tabla especifica claramente los rangos de caudales que pueden detectar los medidores y en que clasificación metrológica encajan.

Tabla N°5: Clasificación y características metrológicas de medidores de agua. Fuente: NCh 1730, 2002.

Clase		Q_1 y Q_2 en función de Q_3
Clase A	Q_1	$0,04 Q_3$
	Q_2	$0,10 Q_3$
Clase B	Q_1	$0,02 Q_3$
	Q_2	$0,08 Q_3$
Clase C	Q_1	$0,01 Q_3$
	Q_2	$0,015 Q_3$
Clase D	Q_1	$0,0075 Q_3$
	Q_2	$0,0115 Q_3$

2.3.3. Rango Dinámico R de los medidores de agua

El Rango Dinámico (R) o Rango de Medición de un medidor de agua corresponde a la relación entre el caudal permanente (Q_3) y el caudal mínimo (Q_1), es decir, Q_3/Q_1 . Este valor se utiliza como una clasificación de los medidores para conocer el rango de caudal que miden con precisión. Un valor de R alto significa que el medidor medirá eficientemente tanto caudales altos, como caudales bajos. En los sistemas más modernos se busca aumentar los valores de R para alcanzar con mayor precisión los caudales bajos.

Por ejemplo, para un medidor con $Q_3 = 2500 \left[\frac{L}{h} \right]$ y un $R = 100$ se tendría un $Q_1 = 25 \left[\frac{L}{h} \right]$, en cambio, para un medidor con $R = 250$ se tendría un $Q_1 = 10 \left[\frac{L}{h} \right]$, por lo tanto, a mayor R se puede lograr un mejor nivel de precisión en los caudales bajos, factor que ha sido un permanente dolor de cabeza para la industria.

2.3.4. Tipos de medidores de agua

Existen muchos tipos de medidores en el mercado, como los de chorro único o múltiple, los electromagnéticos, los Woltmann, entre otros. Aunque se podrían describir múltiples tecnologías, en este proyecto se hará enfoque solamente en las tecnologías utilizadas durante la investigación, es decir, los medidores velocimétricos de chorro único y de chorro múltiple.

2.3.4.1. Medidores de chorro único

Los medidores de chorro único se clasifican como medidores de velocidad. Esta tecnología es de las más utilizadas alrededor del mundo para medir el consumo de agua, principalmente por su bajo costo y alta confiabilidad.

Su principio de funcionamiento consiste en la inyección tangencial de un chorro de agua hacia una turbina ubicada al interior de la carcasa del medidor. La velocidad alcanzada por el giro de la turbina es proporcional a la velocidad con la que impacta el chorro de agua y además, proporcional al caudal

que fluye a través del medidor. Cualquier modificación o alteración en la relación entre el caudal circulante y la velocidad de giro de la turbina, afectará la precisión de medición y modificará la curva de error del medidor (obstrucciones, desgaste mecánico, intervenciones de terceros, etc.).

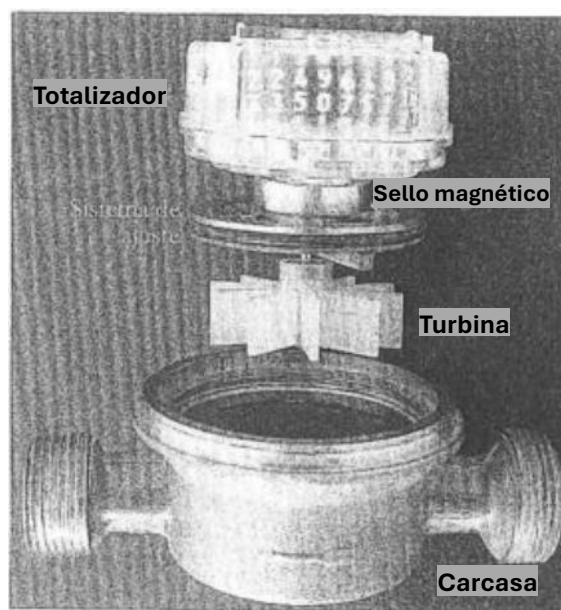


Figura N°3: Despiece de un medidor de chorro único. Fuente: Gestión Integral de Contadores de Agua.

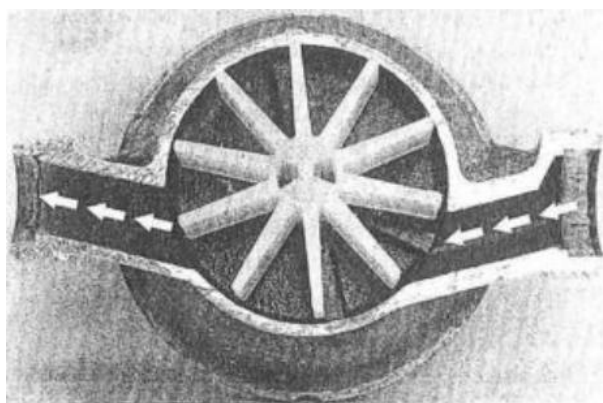


Figura N°4: Visualización del principio de funcionamiento de un medidor de chorro único. Fuente: Gestión Integral de Contadores de Agua.

2.3.4.2. Medidores de chorro múltiple

Al igual que para los medidores de chorro único, los de chorro múltiple también se clasifican como medidores de velocidad y se utilizan normalmente para la medición de consumos en el área doméstica y comercial. Su funcionamiento es bastante similar a los medidores de chorro único, los cuales golpean la turbina en un solo punto, pero en el caso de los medidores de chorro múltiple, el chorro de agua impacta por toda la periferia de la turbina.

Gracias a la presencia de esta característica, se logra una operación más equilibrada en la turbina, lo que teóricamente aporta una mayor vida útil al medidor. Adicionalmente, se espera una mejora en el desempeño de caudales bajos y la reducción de los caudales de arranque.

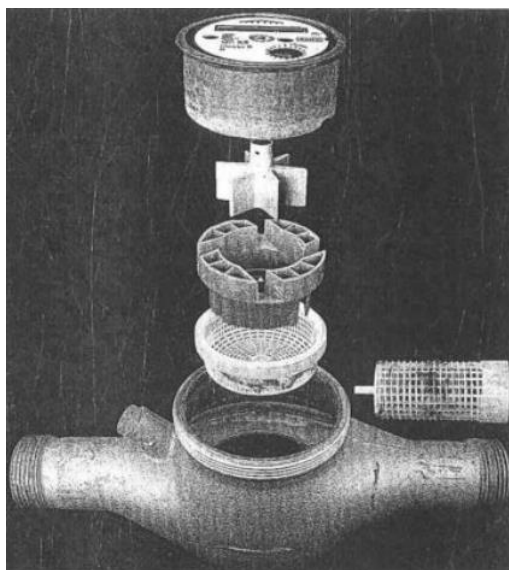


Figura N°5: Despiece de un medidor de chorro múltiple. Fuente: Gestión Integral de Contadores de Agua.

De igual manera que en los medidores de chorro único, la velocidad de giro de la turbina viene determinada por la velocidad con que se inyecta el agua hacia ella. Por lo tanto, cualquier variación en la relación entre el caudal que circula y la velocidad del agua en la entrada de la cámara de la turbina en comparación con el diseño original del fabricante, provocará una alteración de la curva típica de error del medidor.

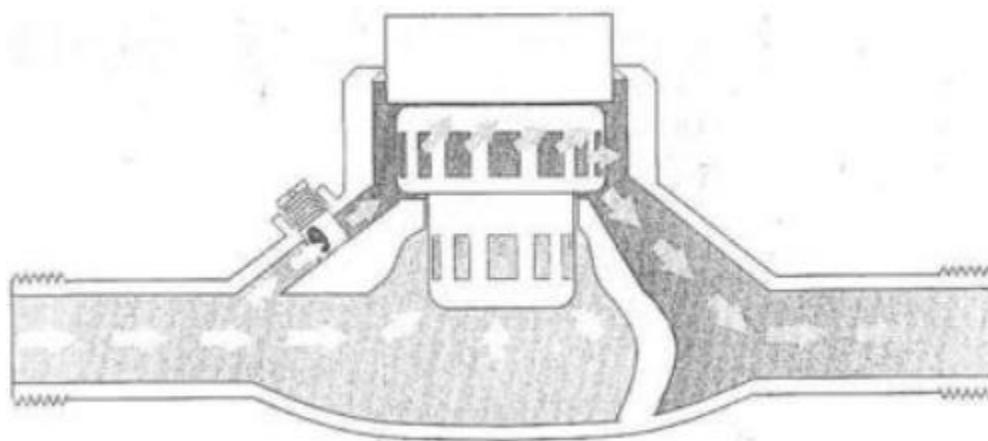


Figura N°6: Visualización del principio de funcionamiento de un medidor de chorro múltiple. Fuente: Gestión Integral de Contadores de Agua.

2.3.5. Deterioro de la curva de error de un medidor

Respecto al deterioro de la curva de error típica del medidor, es decir, la precisión de medición del equipo cuando se encuentra recién fabricado y/o nuevo, se puede decir que el medidor puede perder parte de su precisión de registro por múltiples factores, tales como, errores de instalación, acumulación de sedimentos, condiciones de operación extremas, etc., pero un motivo que siempre estará presente, independiente de cualquier otra cosa, es la edad del equipo, elemento que se asocia con el desgaste mecánico. Este desgaste se debe al movimiento continuo en la operación del medidor, el cual comienza a generar subregistros de volumen a medida que pasan los años.

A continuación se presenta una gráfica de la curva típica de error de un medidor según la antigüedad del equipo. Se puede apreciar que la zona más afectada coincide con los caudales más bajos, mientras que para los caudales más altos la curva se ve ligeramente afectada.

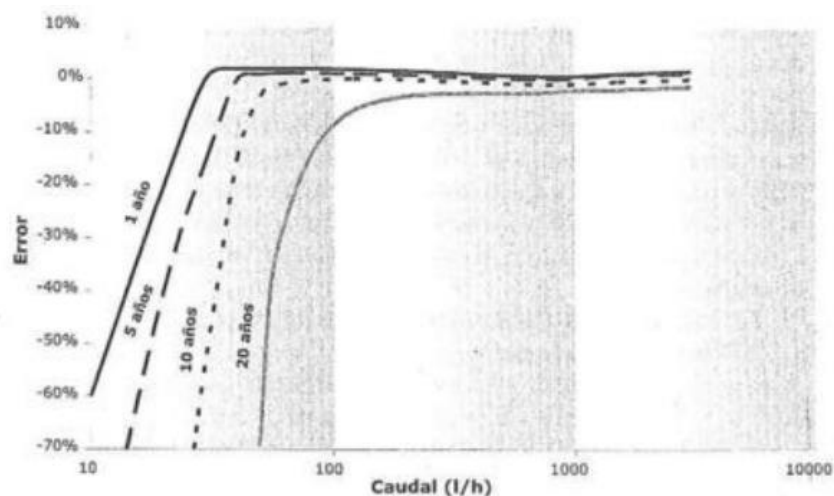


Figura N°7: Degradación típica de la curva de error de un medidor. Fuente: Gestión Integral de Contadores de Agua.

2.3.6. Fichas técnicas medidores de medidores utilizados

2.3.6.1. Itrón: Flostar S DN80

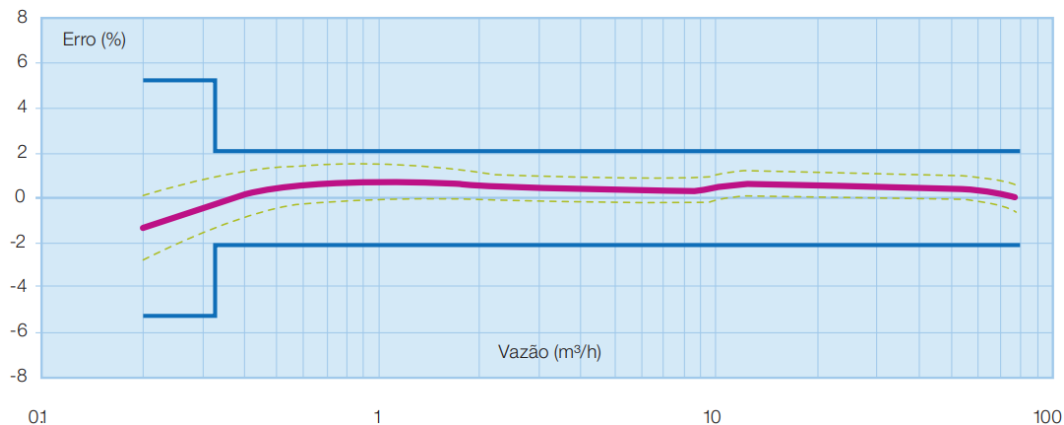


Figura N°8: Curva típica de error del medidor Flostar S. Fuente: Ficha Técnica Flostar S.

Dentro de las características principales del medidor se puede mencionar:

- Medidor velocimétrico de chorro único.
- Diámetro nominal de 80 [mm].
- Clase C.
- Rango dinámico R315.
- Curva de error típica (Figura N°8).

Algunas características adicionales a comentar son:

- Posee una transmisión magnética entre la turbina y el totalizador.
- Totalizador resistente a ambientes agresivos e intentos de fraude.
- Pre – equipado con “Cyble target”.
- Compatible con tecnología “Watermind Analyzer” de Itrón.
- Sus caudales definidos por norma son:
 - $Q_a = 0,05 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
 - $Q_1 = 0,2 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
 - $Q_2 = 0,32 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
 - $Q_3 = 63 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
 - $Q_4 = 79 \left[\frac{m^3}{h} \right]$

2.3.6.2. Itrón: Flostar M DN50

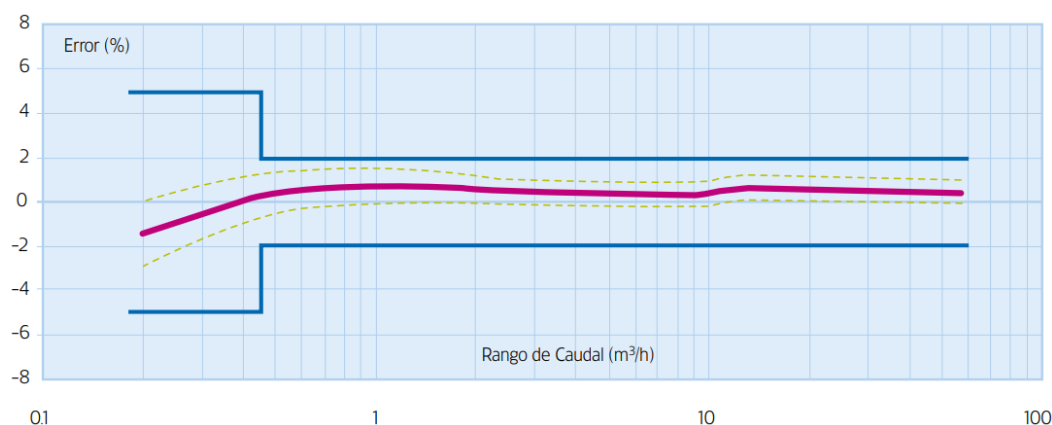


Figura N°9: Curva típica de error del medidor Flostar M. Fuente: Ficha Técnica Flostar M.

Dentro de las características principales del medidor se puede mencionar:

- Medidor velocimétrico de chorro único.
- Diámetro nominal de 50 [mm].
- Clase C.
- Rango dinámico R315.
- Curva de error típica (Figura N°9).

Algunas características adicionales a comentar son:

- Posee bridas móviles.
- Posee una transmisión magnética entre la turbina y el totalizador.
- Totalizador resistente a ambientes agresivos e intentos de fraude.
- Pre – equipado con “Cyble target”.
- Compatible con tecnología “Watermind Analyzer” de Itrón.
- Sus caudales definidos por norma son:
 - $Q_a = 0,032 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
 - $Q_1 = 0,079 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
 - $Q_2 = 0,127 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
 - $Q_3 = 25 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
 - $Q_4 = 31,25 \left[\frac{m^3}{h} \right]$

2.3.6.3. *Sensus: 405s DN38*

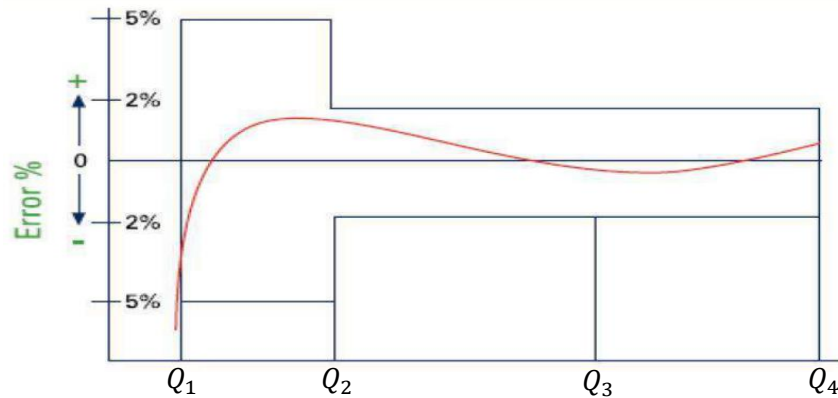


Figura N°10: Curva típica de error del medidor 405s. Fuente: Ficha Técnica 405s.

Dentro de las características principales del medidor se puede mencionar:

- Medidor velocimétrico de chorro múltiple.
- Diámetro nominal de 38 [mm].
- Clase C.
- Rango dinámico R160.
- Curva de error típica (Figura N°10).

Algunas características adicionales a comentar son:

- Posee una transmisión magnética entre la turbina y el totalizador.
- Pre – equipado con un puntero HRI para la conexión de una unidad lectora de pulsos.

- Sus caudales definidos por norma son:

- $Q_a = 0,035 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
- $Q_1 = 0,1 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
- $Q_2 = 0,16 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
- $Q_3 = 16 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
- $Q_4 = 20 \left[\frac{m^3}{h} \right]$

2.3.7. Bancos de prueba disponibles

En esta sección se detallarán los elementos principales de los bancos de prueba disponibles en el laboratorio de termofluidos de la U.T.F.S.M. y los procedimientos utilizados para realizar las mediciones.

2.3.7.1. Banco para caudales bajos

Este banco se encuentra destinado a la medición de caudales bajos, con rangos desde los $0.01 \left[\frac{L}{s} \right]$ hasta los $1.6 \left[\frac{L}{s} \right]$ dependiendo de la cantidad de medidores montados. Se pueden utilizar medidores de diferentes diámetros siempre y cuando se disponga de los ajustes necesarios y las dimensiones del medidor no impidan su montaje en el banco.

2.3.7.1.1. Especificaciones técnicas:

- **Bombas centrífugas Humboldt TCPm – 158**
 - Se tienen 2 bombas conectadas en serie para proporcionar presión y una adicional para bombear agua al estanque elevado.
 - Altura máxima: 30 [m. c. a.].
 - Caudal máximo: $120 \left[\frac{L}{min} \right]$.



Figura N°11: Bomba centrífuga y características técnicas principales.

- **Medidor patrón Sensus SR11**

- Medidor clase C.
- Rango de trabajo: $37,5 \left[\frac{L}{h} \right]$ a $5000 \left[\frac{L}{h} \right]$.
- Resolución flujómetro: $0,01 \left[\frac{L}{s} \right]$.
- Resolución cuentalitros: $0,1 [L]$.
- Posee llaves de paso y reguladora de caudal en la parte superior e inferior respectivamente.

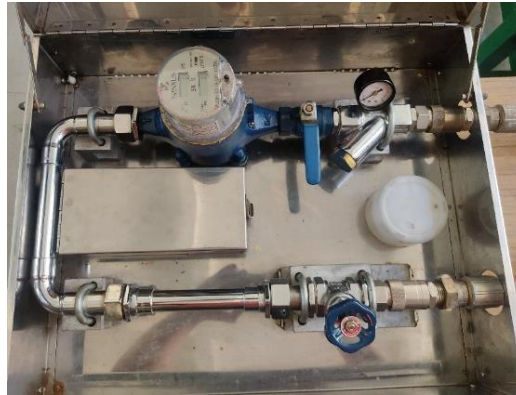


Figura N°12: Conjunto del medidor patrón.

- **Estanque de alimentación elevado**

- Proporciona una presión natural debido a la fuerza de gravedad.
- El estanque se encuentra a una altura de 12 metros.
- Capacidad de $1 [m^3]$.



Figura N°13: Estanque elevado.

- **Estanque de receptor graduado**
 - Capacidad 110 litros.



Figura N°14: Estanque receptor de agua.

- **Banco de montaje**
 - Capacidad para hasta 8 medidores, dependiendo de sus dimensiones.
 - Sistema de montaje con soportes móviles y ranuras de 13 y 19 [mm].
 - Extensible a diámetros mayores siempre y cuando se disponga de las reducciones de diámetro necesarias.
 - Incluye un sistema de ajuste mecánico con accionamiento manual (gata mecánica).



Figura N°15: Banco de montaje.

2.3.7.1.2. Procedimiento de medición:

A continuación, se explicará el modo de uso del banco de pruebas. Esto incluirá el montaje de medidores en el banco, la metodología de medición y el cambio de medidores del banco.

- Inicialmente se debe comprobar que todos los soportes posean empaquetaduras adecuadas, elemento fundamental para tener una buena estanqueidad y evitar fugas.

- Se debe verificar que los diámetros de los soportes disponibles coincidan con el diámetro de los medidores a probar. En caso contrario será necesario el uso de reductores de diámetro para realizar el ajuste.
- Para el montaje de un medidor se deben separar los soportes móviles adecuándose a las dimensiones del equipo, luego se debe ubicar el medidor en las ranuras que coincidan con sus diámetros y juntar los soportes para que el medidor quede montado, pero aun sin apriete.
- A continuación, es necesario orientar el medidor de manera correcta, normalmente con el totalizador mirando hacia el techo, aunque eso puede variar dependiendo del fabricante y del modelo.
- Se deben repetir los últimos 2 pasos hasta montar todos los medidores que se deseen probar.
- Una vez los medidores se encuentren bien ubicados y orientados, se debe apretar el montaje de los medidores con el sistema de ajuste.
- Finalmente se realiza una medición de prueba a caudal de sobrecarga Q_4 con el objetivo de buscar y detectar fugas. En caso de detectar alguna anomalía, corregir inmediatamente para poder realizar correctamente las pruebas de medición.

Ahora se detallará el paso a paso para utilizar el banco de pruebas y realizar las mediciones de manera adecuada.

- Inicialmente y como regla general, es fundamental estar constantemente pendiente del nivel de agua del estanque receptor para evitar rebalses y desperdicios de agua. El nivel de agua de este se puede controlar utilizando la bomba de elevación conectada exclusivamente con el objetivo de mover el agua del estanque receptor hacia el estanque de alimentación elevado.
- Lo primero que se debe hacer antes comenzar a hacer mediciones es ajustar el caudal al valor deseado. Para esto se debe utilizar el medidor patrón conectado antes del cuerpo del banco como guía. La forma de ajustar el caudal es con la llave reguladora de caudal, al realizar un movimiento en esta llave se recomienda cerrar la llave de paso por un par de segundos y luego volver a abrirla, así el valor del flujómetro se estabiliza más rápido.
 - Si el caudal deseado no se alcanza con la presión obtenida por la gravedad, se pueden encender hasta 2 bombas adicionales, conectadas en serie, para aumentar la presión del sistema y así llegar a los valores deseados.
- Una vez ajustado el caudal se cierra la llave de paso, se reinicia el cuentalitros del medidor patrón (pequeño botón en la zona inferior del totalizador) y se realiza un registro de las lecturas de todos los medidores montados (lectura inicial). Luego, se vuelve a abrir la llave de paso y, al mismo tiempo, se cuenta el tiempo con un cronómetro.
- Cuando se haya alcanzado el volumen de prueba (indicado en el cuentalitros y en el estanque receptor), se debe cerrar la llave de paso y detener el cronómetro. Se registra el tiempo, el volumen medido y las lecturas de los medidores montados (lectura final).
- Los últimos 2 pasos se deben repetir hasta completar la cantidad de mediciones deseadas.
- Este proceso completo se debe repetir para cada caudal que se quiera probar.
- Adicionalmente, se recomienda realizar un par de mediciones de prueba previas a las pruebas reales para que el encargado del experimento pueda coordinar la forma de trabajo y posteriormente proceder sin dificultades.

Para desmontar los medidores del banco de pruebas se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Asegurarse de que la llave de paso del medidor patrón se encuentre cerrada y que las bombas centrífugas se encuentren apagadas si es que se estaban usando.
- Asegurarse que el nivel de agua del estanque receptor se encuentre por debajo del nivel de los medidores, así se evitan rebalses.
- Soltar el apriete del sistema de ajuste.
- Separar los soportes móviles para sacar el medidor.
- Desensamblar el arreglo de reductores de diámetros si es que fue necesario su uso.

2.3.7.2. Banco para grandes caudales

Este banco se especializa en las mediciones de alto caudal, con rangos de trabajo que van desde $5 \left[\frac{m^3}{h} \right]$ (no se recomienda llegar a caudales menores para no forzar los equipos) hasta alrededor de $80 \left[\frac{m^3}{h} \right]$. Está pensado para trabajar con medidores de grandes dimensiones (desde $38 [mm]$).

2.3.7.2.1. Especificaciones técnicas

El banco de pruebas para caudales altos se encuentra equipado con una serie de elementos necesarios para llevar a cabo las mediciones de manera eficaz y eficiente. Estos serán descritos a continuación:

- **Bombas centrífugas VOGT Serie NM 40 – 160**
 - Se tienen 2 bombas conectadas en paralelo.
 - Altura máxima: $40 [m. c. a.]$.
 - Caudal máximo: $44 \left[\frac{m^3}{h} \right]$.

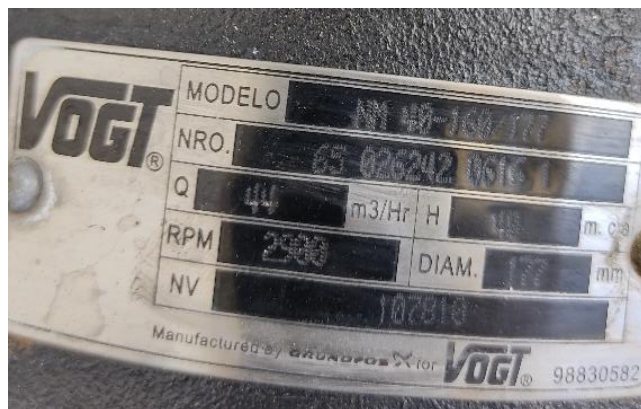


Figura N°16: Bomba centrífuga de alto caudal y características técnicas.

- **Flujómetro electromagnético N0480508**

- Unidades: $\left[\frac{m^3}{h}\right]$, $\left[\frac{m^3}{min}\right]$, $\left[\frac{m^3}{s}\right]$, $\left[\frac{L}{h}\right]$, $\left[\frac{L}{min}\right]$ y $\left[\frac{L}{s}\right]$.
- Resolución: Hasta la milésima de la unidad de volumen. 0,001 [L] y 0,001 [m³].
- Rango de trabajo: $5 \left[\frac{m^3}{h}\right] - 181 \left[\frac{m^3}{h}\right]$.
- Exactitud: $\pm 0,5\%$.



Figura N°17: Flujómetro electromagnético DN80.

- **Sensor de presión hidrostático**

- Unidades: Se utilizó $\{mmH_2O\}$, pero se pueden usar múltiples unidades de presión.
- Resolución: 3×10^{-5} del rango de medición nominal.
- Rango de medición: 2,5 [mbar] – 250 [mbar].
- Presión nominal: 160 [mbar].



Figura N°18: Sensor de presión hidrostático.

- **Variador de frecuencia Mitsubishi FR – PU07 – 01**

- Este equipo permite tener un control bastante fino de la velocidad de giro de las bombas y con ello un mejor control de los caudales que se trabajan. Resulta ser un elemento indispensable, ya que normalmente se dificulta obtener se forma precisa el caudal utilizando las válvulas reguladoras de caudal montadas.



Figura N°19: Panel de control del variador de frecuencia.

- **Estanque receptor con control de nivel**

- Posee una capacidad de $3,5 [m^3]$.
- Para conocer el nivel de agua contenido en el estanque se puede observar mediante el tubo piezométrico y la regla, o bien, utilizando el sensor de presión hidrostático, ambos elementos cumplen el mismo objetivo.



Figura N°20: Estanque receptor con tubo piezométrico graduado y sensor de presión hidrostático.

- **Estanque de alimentación**



Figura N°21: Estanque de alimentación y canaleta de descarga de estanque receptor a estanque de alimentación.

- **Bridas de montaje**



Figura N°22: Bridas con medidor montado.

- **Válvulas reguladoras de caudal**



Figura N°23: Válvulas equipadas en el banco de pruebas.

2.3.7.2.2. Procedimiento de medición

Para llevar a cabo las mediciones, es necesario realizar el montaje del medidor en el banco de pruebas, para ello es necesario seguir los siguientes pasos:

- Lo primero que se necesita hacer es comprobar si las bridas de medidor a contrastar son compatibles con las del banco de pruebas. En caso de que si lo sean, se puede proceder con el siguiente paso, pero en el caso de que los diámetros no sean los mismos será necesaria la utilización de reductores de diámetro para poder generar una correcta conexión. Es importante recordar que se deben utilizar sellos entre las conexiones para evitar fugas.
- Una vez realizadas las preparaciones necesarias se puede montar el medidor en la tubería de alimentación con sus respectivos sellos. Es importante asegurarse de que el medidor se encuentre ubicado y orientado en la posición correcta indicada por los fabricantes del equipo.
- Finalmente, se encienden las bombas centrifugas para realizar una medición inicial de prueba en el caudal de sobrecarga Q_4 , esto para buscar posibles fugas y/o anomalías en el funcionamiento del medidor. Si se detectan fugas se deberán detener las bombas y repararlas a la brevedad.
- Una vez realizada la prueba inicial y no detectar problemas o inconvenientes, el banco de pruebas se encuentra listo para realizar el ajuste de caudal y comenzar con las pruebas.

Para realizar la toma de mediciones en el banco es necesaria la participación de al menos 2 personas y seguir algunos pasos para que todas las mediciones salgan de forma satisfactoria:

- Inicialmente y como regla general, es fundamental estar constantemente pendiente del nivel de agua del estanque receptor para evitar rebases y desperdicios de agua.
- Encender la o las bombas centrifugas (según necesidad de caudal) y ajustar el caudal al valor necesario para la medición, guiándose con el caudalímetro instalado en el banco. Se recomienda acercarse al caudal deseado mediante el uso de las válvulas reguladoras de caudal y posteriormente realizar el ajuste fino con el variador de frecuencia. Una vez alcanzado el caudal deseado se recomienda esperar un minuto para que se estabilice el valor del caudalímetro.

- Con el caudal ya ajustado los encargados de la medición se deben ubicar en sus posiciones. La primera persona se debe ubicar frente al sensor de presión hidrostático para llevar el control del volumen que ha pasado y hacer las marcas de tiempo con el cronómetro, y la segunda persona se debe posicionar frente al medidor estudiado para registrar fotográficamente los inicios y comienzos de las mediciones, momentos que serán avisados por el encargado del indicador de nivel. Los avisos se realizarán al comenzar el conteo de agua y al completar el volumen de medición previamente determinado.
- Una vez todo se encuentra listo, se comienza con la medición generando una marca inicial a alguna altura del indicador de nivel, con un aviso al fotógrafo para que tome la lectura inicial y el inicio del cronómetro, todo esto a la misma vez. La siguiente marca en el indicador de nivel se realiza al alcanzar la altura necesaria para completar el volumen deseado para la medición (se habla de altura porque la superficie del estanque es conocida y por ello, el volumen calculable), por lo tanto, en ese mismo instante se debe detener el cronómetro y alertar al fotógrafo para que tome la captura de la lectura final, al igual que al inicio, todo esto ocurre a la misma vez. Al final de cada medición se debe tener una lectura inicial, una lectura final, un volumen medido y un tiempo transcurrido.
- Se recomienda realizar un par de mediciones de prueba previas a las pruebas reales para que el personal pueda coordinar la forma de trabajo y posteriormente proceder sin problemas.

Respecto al desmontaje de los medidores estudiados, este se realiza de manera muy similar a la forma en que se instalan, los pasos recomendados a seguir son:

- Asegurarse de que la bomba centrífuga se encuentra detenida y el estanque receptor graduado con un nivel de agua bajo o nulo.
- Desmontar el arreglo de medidor y reductores de diámetro.
- Desensamblar el arreglo de ajustes del medidor.

2.4. Sistemas de alimentación estudiados

2.4.1. Alimentación desde estanques con válvulas de solenoide e interruptor de flotador.

Los sistemas de alimentación que se basan en el uso de estanques, válvulas de solenoide e interruptores de flotador, son sistemas bastante fiables ya que mantienen una reserva constante de agua para el consumo del conjunto habitacional, además, permiten que el medidor general funcione con total libertad de caudal, ya que no se encontraría limitado al consumo de la población y con ello podría operar más cerca de su valor nominal. Adicionalmente, el funcionamiento por periodos de tiempo determinados (tiempo de llenado) permite que el medidor pueda “descansar” y así alargar su vida útil.

El funcionamiento del sistema es simple, ya que desde el arranque el agua pasa inmediatamente por el medidor general al abrirse el paso de la válvula de solenoide, el medidor funcionará a pleno caudal y registrará los litros inyectados al estanque con una precisión bastante fiable. Al alcanzar el nivel de agua deseado, el interruptor por flotador abre el circuito y cierra la válvula de solenoide. Cuando el agua ha sido bombeada hacia los domicilios individuales y el nivel del agua baja lo suficiente, se vuelve a cerrar el circuito del flotador, lo cual abre la válvula de solenoide y permite nuevamente el llenado del estanque.

A continuación se realizará una descripción de los elementos que componen al sistema de alimentación:

Válvula de solenoide o electroválvula

Las válvulas de solenoide son dispositivos operados eléctricamente que controlan el flujo de líquidos o gases, funcionando en posiciones completamente abiertas o cerradas. Son comunes en el manejo de flujos en sistemas de agua, donde permiten un control remoto y automático mediante el uso de interruptores eléctricos, siendo el de flotador uno de los más utilizados. Se puede utilizar para controlar el flujo de diversos fluidos, tomando en cuenta los factores de las presiones y temperaturas involucradas en su operación, la viscosidad del fluido y la adaptabilidad de los materiales usados en la construcción de la válvula.

Este tipo de válvulas se conforma por dos componentes principales: una bobina eléctrica (solenoide) y el cuerpo de la válvula. Al alimentar la bobina con electricidad, se crea un campo magnético que atrae un émbolo de acero magnético, dentro del núcleo del solenoide, que abre o cierra el paso del flujo al mover una aguja sellante.

El principio de funcionamiento que rige a las válvulas de solenoide consiste en que al energizar la bobina, se crea un campo magnético que levanta el émbolo interno para permitir el paso del agua, y al desenergizarla, se pierde este campo magnético que mantiene la válvula abierta y el émbolo cae por gravedad o es empujado por un resorte, lo cual resulta en el cierre de la válvula y la detención del flujo. Este último diseño permite trabajar con diferentes orientaciones de la válvula. Es importante destacar que la descripción anterior corresponde a válvulas de solenoide normalmente cerradas (NC), pero también existen modelos que funcionan de manera opuesta, manteniendo abierta la válvula mientras esta se encuentre desenergizada, estas corresponden a las válvulas de solenoide normalmente abiertas (NA)

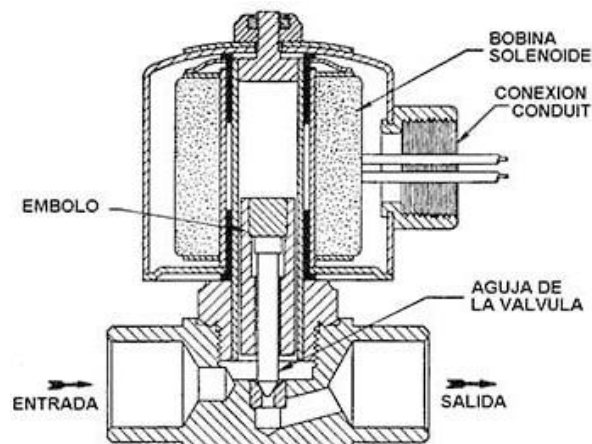


Figura N°24: Diagrama de válvula de solenoide típica. Fuente: Web climasmonterrey.

Interruptor de flotador

El interruptor de flotador se encarga de detectar el nivel de líquido en un recipiente y actuar como un interruptor mecánico al subir o bajar con el nivel del agua (u otros líquidos). Se utiliza para controlar dispositivos como bombas, alarmas o válvulas, como en el caso estudiado. Este sistema resulta bastante fiable y económico, además de ser un elemento adecuado para trabajar con distintos tipos de líquidos.

El funcionamiento del interruptor es bastante simple, se basa en un cuerpo flotante ahuecado y un interruptor interno que abre o cierra el circuito eléctrico según el nivel del líquido. Los interruptores de flotador pueden tener 2 distintas configuraciones, las cuales son, normalmente abiertos (NA) cuando el flotador está bajo y el circuito se mantiene abierto, y cuando el nivel del líquido alcanza el nivel preestablecido, este circuito se cierra. La otra configuración corresponde al flotador normalmente cerrado (NC), donde el circuito se mantiene cerrado cuando el flotador mantiene una posición baja y se abre cuando el líquido alcanza su altura determinada.



Figura N°25: Interruptor de flotador típico. Fuente: Web Tameson.

Estanque de acumulación

Como el nombre lo dice, este elemento corresponde a un estanque de acumulación común y corriente. Los factores a los que se les debería poner más atención a la hora de seleccionar el estanque son la capacidad requerida, materiales de construcción, dimensiones y mantenimiento. Existen varios factores adicionales que se podrían considerar, pero los mencionados son algunos de los más importantes.

2.4.2. Alimentación con conexión directa a la red de agua potable

En este sistema de alimentación, el agua potable se obtiene directamente desde un arranque principal de la red pública. Esta agua se encuentra contabilizada por un medidor general, desde el cual se alimentan a cada uno de los medidores remarcadores asociados al conjunto habitacional por separado.

A diferencia del sistema de alimentación anterior, este método permite ahorrar inversiones al prescindir del equipamiento previamente descrito, es decir, las electroválvulas (o válvula de solenoide), los estanques y los interruptores de nivel, pero además, hace que el medidor opere continuamente al caudal requerido por los domicilios en tiempo real, teniendo así una gran variedad de caudales de operación, dentro de los cuales comúnmente se encuentran valores bastante por debajo de los caudales nominales del medidor, esto debido al sobredimensionamiento de estos al momento de diseñar los domicilios y conjuntos habitacionales (para asegurar que no se alcanzará el caudal de sobrecarga Q_4).

Este sistema depende totalmente de la presión de la red pública y la estabilidad que esta pueda mantener, ya que al no haber el sistema de acumulación intermedio, existe la posibilidad de que no se pueda cumplir siempre ante situaciones de alta demanda o variación de caudal.

3. Capítulo N°3: Metodología de trabajo

3.1. Identificación del problema de prorratio negativo

Dentro de la industria se pueden encontrar una gran variedad de servicios, los cuales tienen sus procesos productivos y junto a ellos, sus costos asociados. Para el caso de Esval no es un tema ajeno, pero dentro de su listado de clientes se pueden destacar algunos que presentan un elemento indeseado en la industria sanitaria, el prorratio negativo en la facturación, y se han detectado algunos casos de interés debido a su alto nivel de prorratio, el cual está generando importantes pérdidas económicas para la empresa. Si bien el prorratio negativo se puede presentar ocasionalmente en una facturación, esto debido a varios posibles factores descritos anteriormente, cuando este prorratio se presenta constantemente a través de los meses la sumatoria de pérdidas crece desmedidamente, por lo tanto, es importante conocer los motivos por los cuales se están produciendo estos prorratios negativos y buscar las soluciones para los casos de manera tal que se mitigue este elemento negativo para la facturación de la empresa.

3.2. Hipótesis del caso

Se cree que la presencia de prorratio negativo en la facturación se debe a las características metrológicas de los medidores generales, las cuales no son lo suficientemente sensibles y precisas para algunos rangos de caudal comunes en el funcionamiento diario de los conjuntos habitacionales, normalmente caudales cercanos a los Q_1 y Q_2 . Adicionalmente, la edad de los equipos y el desgaste mecánico asociado también perjudican la precisión original del medidor, lo cual dificulta más aún poder registrar los caudales más pequeños (caudales típicos de consumo domiciliario).

Para comprobar esto se realizará una reconstrucción de la curva de error de los medidores principales de diferentes tipos de viviendas en los bancos de pruebas disponibles en el Laboratorio de Termofluidos de la Universidad Técnica Federico Santa María para poder comparar con las curvas originales disponibles en la sección 2.3.6. Posteriormente se analizará la información obtenida en busca de la raíz del subregistro que están generando los medidores principales.

3.3. Tipos de viviendas a estudiar y selección de la muestra de clientes

Para este estudio Esval ha seleccionado 2 casos de interés con diferentes sistemas de alimentación desde la red pública de agua potable. A continuación se describirá la clasificación utilizada para diferenciar los casos de estudio:

Vivienda Tipo 1: Conjunto habitacional con alimentación directa desde la red pública de agua potable.

Vivienda Tipo 2: Conjunto habitacional con alimentación desde estanque con relleno automático mediante válvula de solenoide e interruptor de flotador.

Para la selección de los clientes de Esval a analizar se utilizaron los siguientes elementos como criterios de selección:

- Debe poseer un medidor general y múltiples medidores remarcadores conectados.
- Debe tener presencia de prorrato negativo en la facturación mensual.
- Debe coincidir con algunas de las clasificaciones de vivienda previamente descritas (Tipo 1 o Tipo 2).

En base a estos criterios los clientes seleccionados se listan a continuación:

- Parque Lautaro Rosas – 5 Norte 1330, Viña del Mar – N° Cliente 104388
 - Vivienda Tipo 1.
- AB Inmobiliaria LTDA – Los Tuliperos 160, Concón – N° Cliente 776352
 - Vivienda Tipo 2.
- Edificio Costa del Sol – Toro Herrera 595, Viña del Mar – N° Cliente 248571
 - Vivienda Tipo 1.

3.4. Descripción de clientes seleccionados

3.4.1. Caso 1: Parque Lautaro Rosas – 5 Norte 1330, Viña del Mar – N° Cliente 104388

Sistema de alimentación:

- El condominio Parque Lautaro Rosas se encuentra abastecido mediante una única conexión directa a la red pública de agua potable.

Medidores remarcadores:

- El condominio posee 221 remarcadores con un diámetro nominal de 19 [mm] de diferentes marcas y modelos. Además, de estos 221 remarcadores, uno corresponde al medidor de administración y otro al negocio dentro del condominio, el resto son de departamentos.

Medidor general anterior:

- Medidor velocimétrico Itrón Flostar S DN80 (Figura N°26).
- Instalación: 04/02/2015.
- Retiro: 08/08/2024.
- Antigüedad: 9 años, 6 meses y 4 días.
- Última lectura: 357070 [m^3].



Figura N°26: Medidor general retirado.

Medidor general de reemplazo:

- Medidor estático ultrasónico Maddalena E – BULK DN80.



Figura N°27: Imagen referencial del medidor instalado. Fuente: Ficha Técnica E - BULK.

3.4.2. Caso 2: AB Inmobiliaria LTDA – Los Tuliperos 160, Concón – N° Cliente 776352

Sistema de alimentación:

- El conjunto inmobiliario AB Inmobiliaria LTDA se encuentra abastecido un sistema de 3 estanques alimentados desde la red pública de agua potable. El nivel de estos estanques es controlado mediante un sensor de nivel de flotador, el cual se encarga de realizar la apertura o cierre de la válvula de control. Adicionalmente, el sistema posee válvulas con solenoides en caso de emergencia.

Medidores remarcadores:

- El cliente posee 3 medidores remarcadores. Se desconoce información adicional de estos.

Medidor general anterior:

- Medidor velocimétrico Sensus 405s DN38.
- Instalación: 28/08/2018.
- Retiro: 10/09/2024.
- Antigüedad: 6 años y 13 días.
- Última lectura: 16575 [m³].



Figura N°28: Medidor general retirado.

Medidor general de reemplazo:

- Medidor estático electromagnético iPERL DN40.

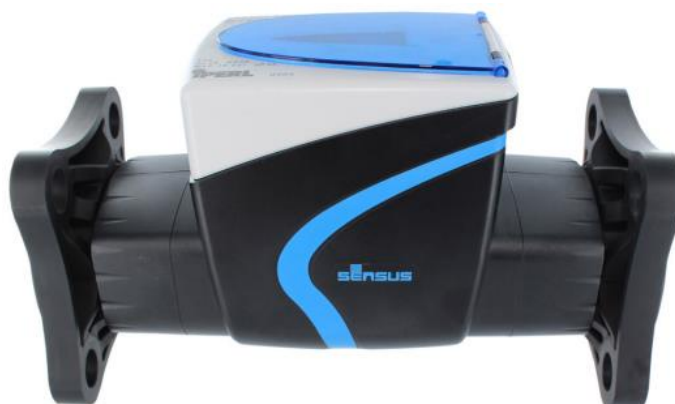


Figura N°29: Imagen referencial del medidor instalado. Fuente: Ficha Técnica iPERL.

3.4.3. Caso 3: Edificio Costa del Sol – Toro Herrera 595, Viña del Mar – N° Cliente 248571

Sistema de alimentación:

- El edificio Costa del Sol se encuentra abastecido mediante una única conexión directa a la red pública de agua potable.

Medidores remarcadores:

- El cliente posee 8 medidores remarcadores. Se desconoce información adicional de estos.

Medidor general anterior:

- Medidor velocimétrico Itrón Flostar M DN50.
- Instalación: 01/06/2003.
- Retiro: 17/09/2024.
- Antigüedad: 21 años, 3 meses y 16 días.
- Última lectura: 21823 [m³].

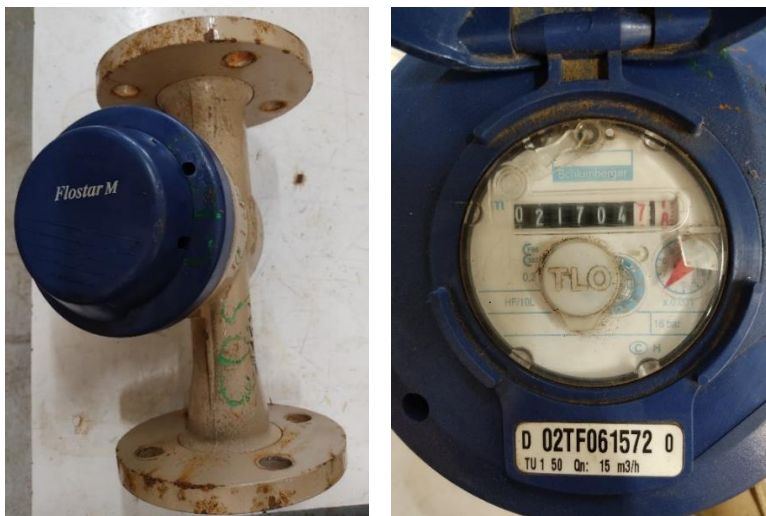


Figura N°30: Medidor general retirado.

Medidor general de reemplazo:

- Medidor estático electromagnético iPERL DN40

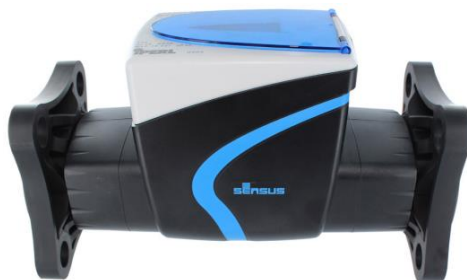


Figura N°31: Imagen referencial del medidor instalado. Fuente: Ficha Técnica iPERL.

3.5. Metodología de pruebas de laboratorio

En esta sección se realizará una explicación del proceso llevado a cabo para seleccionar los clientes de prueba, la selección de los caudales de prueba, el procedimiento de las mediciones en los bancos de prueba y el modelo utilizado para el cálculo del porcentaje de error junto con su respectiva incertidumbre de medición.



Figura N°32: Diagrama de los pasos adoptados para la metodología. Fuente: Elaboración propia.

3.5.1. Recopilación de datos.

La recopilación de datos ha sido realizada por Esval mediante equipos de telemetría, ya que los casos con los que se trabajará poseen estos sistemas de recopilación de datos, los cuales guardan registros con intervalos de tiempo definidos, estos pueden ser minutos, horas, días, entre otros. Tener acceso a esta tecnología juega un papel fundamental para poder realizar este estudio, ya que se tiene una constante recopilación de datos de alta calidad a través del tiempo, información que se usará en las siguientes etapas de trabajo.

Desde los datos entregados por Esval se seleccionó un periodo de tiempo para cada caso a probar, estos periodos corresponderán a los datos que se usarán como muestra.

3.5.2. Análisis de datos de clientes

A partir de la muestra seleccionada previamente se buscará obtener el comportamiento de los consumos del conjunto habitacional. Para ello se realizará una gráfica utilizando los datos de la muestra para conocer los caudales máximos a los que suele llegar el medidor y los horarios de máximo y mínimo consumo. Además, se realizará un conteo de los datos de manera tal que se pueda conocer la frecuencia con la que se repiten los valores de diferentes rangos de caudal, de esta forma se podrá

conocer el porcentaje de tiempo trabajado en cada rango. Con esta información se pueden seleccionar valores de caudal representativos y personalizados para cada medidor específico.

3.5.3. Selección de caudales de prueba

Para la selección de los caudales de prueba se partió por la base de utilizar los caudales recomendados por el fabricante (utilizados para sus pruebas), adicionalmente como se recomienda en la NCh 2763 – 2003, se incluyeron caudales adicionales para hacer una recreación de la curva de error más precisa y representativa. Si bien no se usaron exactamente los mismos valores de las recomendaciones, estos fueron ajustados en base a los porcentajes de tiempo trabajado en rangos de caudal determinados, haciendo así un mayor enfoque en las zonas de mayor interés para el estudio, es decir, los caudales típicos del trabajo diario de cada medidor. Aun así, se probarán caudales dentro de todo el rango de caudal para el cual fue diseñado cada equipo con el objetivo de recrear sus respectivas curvas de error tras unos años de funcionamiento.

3.5.4. Pruebas en laboratorio

Para realizar las pruebas de error de los medidores de agua en laboratorio se utilizó la siguiente metodología:

Etapas de montaje:

- Instalación de reducciones de diámetro al medidor a estudiar. Este paso se puede omitir si es que los diámetros utilizados coinciden con los diámetros de las conexiones de los bancos de pruebas
- Montaje del medidor en el banco de pruebas. Es importante asegurarse de que el medidor quede en la posición correcta, normalmente indicado en la ficha técnica del fabricante.
- Prueba inicial a máximo caudal de prueba (según medidor utilizado) para la búsqueda y detección de fugas, filtraciones u otras anomalías. Corregir inmediatamente las anomalías detectadas.
- Vaciar estanque receptor y prepararlo para comenzar las pruebas.

Etapas de mediciones:

Como instrucción general durante la ejecución de las pruebas, es necesario llevar un monitoreo constante del estanque receptor para controlar el nivel de agua y evitar rebalses

- Ajustar el caudal de prueba seleccionado con los medidores patrones disponibles en los bancos de prueba. Dependiendo del banco utilizado se pueden realizar las mediciones mediante la presión generada por la altura y gravedad, o también, utilizando las bombas centrífugas disponibles.
- Preparación de los elementos de monitoreo para la prueba (según banco utilizado). Estos son: cronómetro, contador de litros digital, caudalímetro digital, sensor de presión hidrostático, cámara digital.
- Registro fotográfico del contador de litros del medidor estudiado para tener un estado inicial con el que comparar.

- Inicio de la prueba permitiendo el avance del agua mediante la apertura de la llave de paso, al mismo tiempo es necesario comenzar el conteo de tiempo con el cronómetro. La llave se mantiene abierta hasta completar el volumen deseado para la prueba, en ese mismo instante se debe detener el cronómetro y también cerrar la llave de paso.
- Se realiza un nuevo registro del contador para posteriormente averiguar si el medidor cuenta los litros que realmente pasaron. Adicionalmente se debe registrar el tiempo de la medición y los litros contados por el patrón.
- Los últimos dos pasos descritos se repiten hasta completar la cantidad de mediciones deseadas para el estudio (5 mediciones para este proyecto).
- Una vez completado el caudal de prueba se debe repetir el procedimiento con los caudales restantes.

Es importante recordar que el método descrito es la forma general de realizar las mediciones, pero el funcionamiento específico de cada banco se encuentra descrito en la sección 2.3.7. Adicionalmente, todas las pruebas se realizan con agua a temperatura ambiente.

3.5.5. Resultados de pruebas en laboratorio

Para obtener los resultados primero fue necesario trabajar con los registros obtenidos de las mediciones en los bancos de prueba.

El cálculo de error se llevó a cabo mediante el uso de herramientas de estadística que permiten obtener un promedio más representativo que el clásico promedio aritmético, esto debido a que se consideran los factores de dispersión de los resultados de las mediciones. A continuación se describirá el modelo utilizado para el cálculo de error para n mediciones.

Inicialmente es necesario calcular el error relativo (ε) de las mediciones individuales de cada caudal. Este valor se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\varepsilon = \frac{V_m - V_p}{V_p} * 100 = \frac{(L_f - L_i) - V_p}{V_p} * 100 [\%] \quad (5)$$

Donde:

- V_m corresponde al volumen medido por el medidor de prueba.
- V_p corresponde al volumen medido por el medidor patrón y/o estanque.
- L_i corresponde a la lectura inicial del medidor de prueba.
- L_f corresponde a la lectura final del medidor de prueba.

Es importante que al momento de realizar el cálculo del error relativo ambos volúmenes o lecturas se encuentren en la misma unidad de medida para que los resultados sean coherentes.

Suponiendo que tenemos n resultados de error: $x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n$, con $n \geq 1$. Para determinar el error verdadero se deben realizar los siguientes pasos:

1. Cálculo de media aritmética (el valor más probable).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (6)$$

Donde:

- x_i corresponden a los resultados de error individuales de cada prueba.

2. Cálculo de la desviación estándar de una muestra.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (7)$$

3. Cálculo de la incertidumbre estándar.

$$u = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

4. Cálculo de incertidumbres combinadas.

- En este paso se pueden considerar las incertidumbres generadas por diferentes factores, pero para simplicidad del estudio solo se considerará la incertidumbre generada por la dispersión de las mediciones.

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2} \quad (9)$$

Donde:

- u_i corresponden a las incertidumbres individuales de cada factor.

5. Cálculo de la incertidumbre expandida con confianza del 95% ($k = 2$ /Distribución normal)

$$U = k * u_c \quad (10)$$

6. Cálculo de valor verdadero

- Este resultado implica que hay un 95% de probabilidades de encontrar el valor verdadero dentro de este intervalo, según la incertidumbre expandida.

$$x = \bar{x} \pm U \quad (11)$$

Desde la NCh 3274/1 del 2018 se indica el error máximo admisible (EMA), positivo o negativo, para las 2 zonas de la curva de error del medidor.

Para el campo inferior, correspondiente a los caudales desde Q_1 hasta Q_2 (sin considerar Q_2), el EMA no puede superar el $\pm 5\%$ para agua a cualquier temperatura.

Para el campo superior, correspondiente a los caudales desde Q_2 hasta Q_4 , el EMA no puede superar el $\pm 2\%$ para temperaturas entre los 0° y 30° . Para temperaturas superiores el EMA puede llegar a $\pm 3\%$.

Si un equipo posee un mayor porcentaje de error en sus caudales de funcionamiento, este es rechazado y debe ser reemplazado por uno nuevo para asegurar la calidad de precisión en los consumos de los clientes.

3.5.6. Cálculo de error global del medidor

Para obtener el error global del medidor se utilizó la metodología detallada en el libro “Arregui F., Cabrera E., Cobacho R., Gestión Integral de Contadores de Agua”. Esta metodología permite obtener una representación más precisa del grado de error de los medidores de agua, ya que en ella se considera el porcentaje de tiempo de trabajo de cada caudal, de manera que se pondera proporcionalmente a su funcionamiento.

El error global viene dado por la siguiente expresión:

$$E.G. = \sum_{i=1}^n \%tiempo Q_i * \%error Q_i \quad (12)$$

Donde:

- n es la cantidad de caudales que se miden para las pruebas.
- $\%tiempo Q_i$ corresponde a la fracción de tiempo en la que trabaja el i -ésimo caudal, **expresado en decimales**.
- $\%error Q_i$ corresponde al **porcentaje** de error del i -ésimo caudal.

Al resolver la suma de ponderaciones obtenemos el porcentaje de error global del medidor estudiado, logrando tener un valor más representativo para el equipo de medición.

3.5.7. Análisis de los resultados

En esta sección se analizarán los resultados obtenidos durante las pruebas en laboratorio, se buscará destacar los elementos más importantes detectados durante el procedimiento con el objetivo de posteriormente utilizar esta información para la obtención de conclusiones y recomendaciones.

3.6. Procedimiento de los casos

A continuación se detallarán las etapas de cada uno de los casos estudiados, entregando información relevante para el análisis de los datos, los cálculos necesarios y los resultados obtenidos de cada procedimiento. Al final de cada caso se realizará un análisis de los resultados para recuperar la información de utilidad para las posteriores etapas de análisis y conclusiones.

3.6.1. Caso 1: N° Cliente 104388 (Itrón Flostar S)

3.6.1.1. Recopilación de datos

La muestra de datos utilizada consta de datos de consumo cada 15 minutos por un periodo de 8 días consecutivos (24/08/24 – 31/08/24). Se tienen 768 registros de consumo, los cuales se describen en la Tabla N°A.1 adjunta en el anexo al final del documento.

3.6.1.2. Análisis de datos de clientes

El siguiente gráfico representa de manera visual el comportamiento de los consumos del condominio Parque Lautaro Rosas. Un elemento que salta inmediatamente a la vista corresponde a los picos de demanda, los cuales ocurren diariamente alrededor de las 8 AM. Otro dato interesante es que los caudales máximos de trabajo raramente superan los $9 \left[\frac{m^3}{h} \right]$.

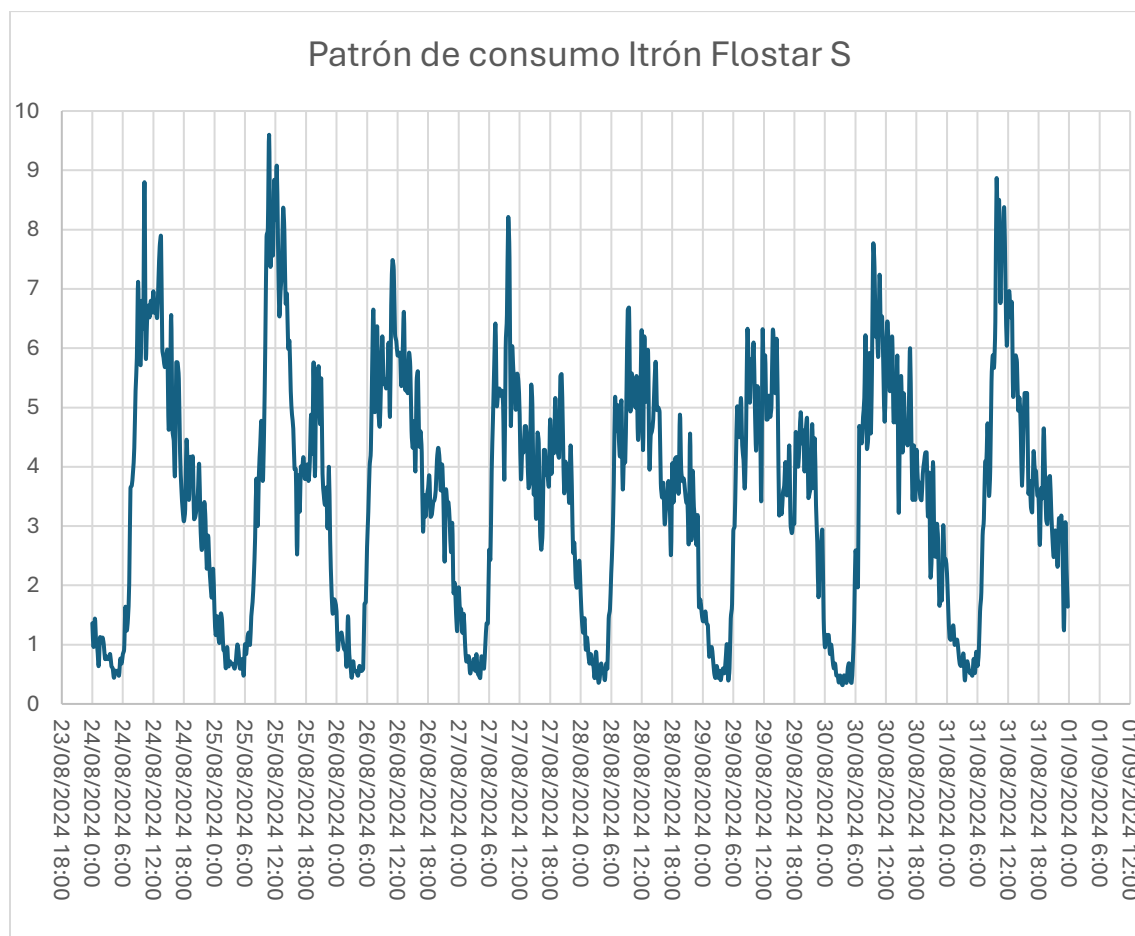


Figura N°33: Comportamiento de consumo del cliente del caso 1. Fuente: Elaboración propia.

En la sección de los anexos se encuentra la Tabla N°A.2 que muestra diferentes rangos de caudal en $\left[\frac{m^3}{h} \right]$, las frecuencias con la que se repiten en la muestra a estudiar y el porcentaje que representan esas frecuencias respecto al total de datos a analizar, es decir, la fracción de tiempo en que el medidor trabajó en aquellos rangos de caudal. Este último elemento será fundamental para poder seleccionar los rangos y caudales más representativos, los cuales se utilizarán para realizar las mediciones en los bancos de pruebas.

Adicionalmente, se creó otra tabla (Tabla N°6) con un rango más fino para la zona de los caudales más pequeños a modo de encontrar de forma más precisas los porcentajes que representan algunos rangos cercanos a los caudales mínimos, caudales que normalmente es más complicado detectar si no se tiene un equipo con una calidad metrológica alta.

Tabla N°6: Representación porcentual del trabajo de cada caudal con avance fino del caso 1.

Fuente: Elaboración propia.

Rango		Frecuencia	Porcentaje
0	0,05	0	0
0,05	0,1	0	0
0,1	0,15	0	0
0,15	0,2	0	0
0,2	0,25	0	0
0,25	0,3	0	0
0,3	0,35	1	0,13
0,35	0,4	11	1,43
0,4	0,45	7	0,91
0,45	0,5	9	1,17
0,5	0,55	10	1,3
0,55	0,6	25	3,26
0,6	0,65	14	1,82
0,65	0,7	10	1,3
0,7	0,75	7	0,91
0,75	0,8	15	1,95
0,8	0,85	10	1,3
0,85	0,9	6	0,78
0,9	0,95	7	0,91
0,95	1	12	1,56
1	+	624	81,25
Total		768	100

3.6.1.3. Selección de caudales de prueba

La Tabla N°7 enumera todos los caudales de prueba seleccionados. Estos caudales se escogieron en base a las recomendaciones del fabricante del medidor en adición con el porcentaje de tiempo que se trabaja en aquel caudal (los de mayor presencia en el funcionamiento diario). Los elementos destacados corresponden a los caudales utilizados por el fabricante en sus pruebas, estos son los caudales de arranque Q_a , mínimo Q_1 , de transición Q_2 , permanente Q_3 y de sobrecarga Q_4 respectivamente.

Con la selección de los caudales de trabajo completada, se procede a establecer los rangos que estos caudales representarán (Tabla N°8). Se buscará que los valores del rango se encuentren cercanos a los caudales seleccionados, siendo estos últimos la media del rango, aunque no se elimina la posibilidad de realizar excepciones. Cada uno de los rangos definidos se relaciona con cada caudal de la tabla N°7 respectivamente.

Tabla N°7: Lista de caudales seleccionados para las pruebas en laboratorio del caso 1. Fuente: Elaboración propia.

Q_1	0,05	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_2	0,1	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_3	0,2	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_4	0,32	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_5	0,5	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_6	1	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_7	3	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_8	4	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_9	5	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_{10}	6	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_{11}	8	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_{12}	63	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_{13}	79	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$

Tabla N°8: Rangos de caudal representados por cada Q_x del caso 1. Fuente: Elaboración propia.

Rangos de Caudal $\left[\frac{L}{h}\right]$
0 - 50
50 - 150
150 - 250
250 - 400
400 - 700
700 - 1500
1500 - 3500
3500 - 4500
4500 - 5500
5500 - 7000
7000 - 9000
9000 - 63000
63000 - 79000

3.6.1.4. Pruebas en laboratorio

A continuación, se presentan los caudales de prueba con sus correspondientes volúmenes de prueba y los tiempos que debería tomar realizar cada una de las mediciones. Esta tabla representa una guía clara y simple de las tareas a realizar en los bancos de prueba.

Tabla N°9: Cuadro resumen para pruebas de laboratorio del caso 1. Fuente: Elaboración propia.

Caudal $\left[\frac{m^3}{h}\right]$		Conversión a $\left[\frac{L}{s}\right]$	Volumen medición [L]	Tiempo de medición [s]
Q_1	0,05	0,01	2	200
Q_2	0,1	0,03	3	100
Q_3	0,2	0,05	3	60
Q_4	0,32	0,09	5	55,56
Q_5	0,5	0,14	10	71,43
Q_6	1	0,28	20	71,43
Q_7	3	0,83	50	60,24
Q_8	4	1,11	60	54,05
Q_9	5	1,39	100	71,94
Q_{10}	6	1,66	100	60,24
Q_{11}	8	2,22	201,04 (40 mm H_2O)	90,56
Q_{12}	63	17,50	1005,2 (200 mm H_2O)	57,44
Q_{13}	79	21,94	1005,2 (200 mm H_2O)	45,82

3.6.1.5. Resultados de pruebas en laboratorio

La próxima tabla contiene los resultados obtenidos de las mediciones realizadas para cada rango de caudal previamente seleccionados. Además, se incluye el porcentaje de tiempo que el medidor trabaja en cada rango de caudal, dato necesario para poder calcular el error global del medidor.

Tabla N°10: Cuadro resumen de los resultados obtenidos de las pruebas del caso 1. Fuente: Elaboración propia.

Rango de Caudal $\left[\frac{L}{h}\right]$	Error del medidor	Tiempo trabajado en el rango
0 – 50	$-98 \pm 2\%$	0%
50 – 150	$-40 \pm 0\%$	0%
150 – 250	$-6,67 \pm 2,98\%$	0%
250 – 400	$6,4 \pm 1,94\%$	1,56%
400 – 700	$8,4 \pm 0,98\%$	9,77%
700 – 1500	$0 \pm 0,16\%$	13,77%
1500 – 3500	$1 \pm 0,42\%$	21,09%
3500 – 4500	$1,03 \pm 0,44\%$	19,66%
4500 – 5500	$0,28 \pm 0,13\%$	16,15%
5500 – 7000	$-9,4 \pm 0,27\%$	13,93%
7000 – 9000	$-1,99 \pm 0,12\%$	4,17%
9000 – 63000	$-0,56 \pm 0,51\%$	0%
63000 – 79000	$-0,48 \pm 0,27\%$	0%

Adicionalmente, se creó una gráfica Error [%] v/s Caudal $\left[\frac{L}{h}\right]$ (con escala logarítmica) para representar de forma visual y más amigable los resultados de las pruebas realizadas al medidor.

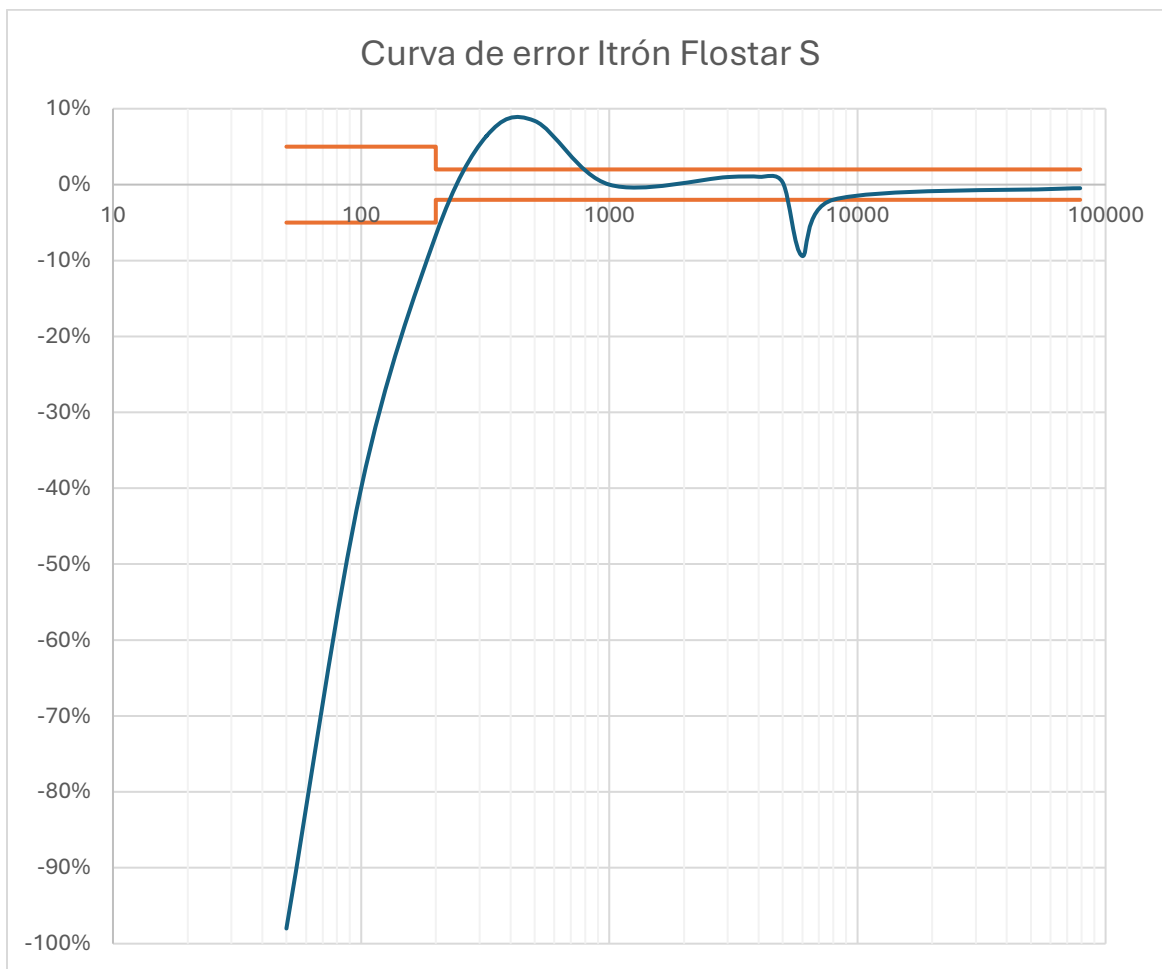


Figura N°34: Curva de error reconstruida del medidor del caso 1. Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.6. Cálculo de error global del medidor

Utilizando la expresión de la ecuación (11) y evaluando los resultados obtenidos en etapas previas, se puede calcular el error global del medidor:

$$\begin{aligned}
 E.G. = & -98\% * 0 + -40\% * 0 + -6,67\% * 0 + 6,4\% * 0,0156 + 8,4\% * 0,0977 + 0\% * 0,1377 \\
 & + 1\% * 0,2109 + 1,03\% * 0,1966 + 0,28\% * 0,1615 + -9,4\% * 0,1393 \\
 & + -1,99\% * 0,0417 + -0,56\% * 0 + -0,48\% * 0 = -0,01\%
 \end{aligned}$$

Finalmente obtenemos un **error global del medidor de $-0,01 \pm 0,77\%$** con un nivel de confianza del 95%, esto quiere decir que, durante el funcionamiento general del medidor, este tiende a medir un 0,01% menos de lo que debería.

3.6.1.7. *Análisis de los resultados*

- Un elemento interesante a destacar es que el medidor nunca trabaja en su caudal nominal, suele trabajar bastante por debajo del caudal de diseño.
- Se puede notar que la curva de error ha cambiado en comparación a la curva típica original del medidor, aumentando el grado de error de las mediciones en la generalidad de caudales y acercándose y/o superando los límites de error máximo admisible establecidos en la NCh 3274 de $\pm 5\%$ en el campo inferior y $\pm 2\%$ en el campo superior.
- Se puede notar una presencia de error positivo, es decir, un sobregistro de consumo, entre los 250 hasta los 5500 $\left[\frac{L}{h}\right]$. Este rango de caudal representa un 68,23% del tiempo de trabajo del medidor. Aun así, el porcentaje de error negativo en conjunto con su porcentaje de tiempo representado, terminan compensado y dejando un error promedio global prácticamente neutro.
- Este error positivo es un evento que se suele encontrar en el funcionamiento normal del medidor, pero no en las magnitudes detectadas con las mediciones. Algunos factores que podrían influenciar la presencia de sobregistros en las mediciones son:
 - En estos caudales es común tener un flujo no uniforme el cual genera turbulencias y vórtices dentro de la tubería, estos pueden favorecer a un sobregistro.
 - La inercia de elementos móviles como la turbina también puede ser el origen del sobregistro, en especial en equipos de gran tamaño los cuales poseen piezas con más masa y por ello una mayor resistencia a cambiar su estado de movimiento.
 - Otro posible factor que puede generar un sobregistro es la calibración del equipo de medición. Si este se encuentra descalibrado (ya sea por su antigüedad, mal cuidado o uso) sus lecturas no serán precisas, por lo tanto, podría contar más o menos litros de los que realmente pasaron.
- Si bien se tiene un error negativo bastante importante en los caudales más bajos, estos no representan un problema, ya que esos rangos de caudal se encuentran fuera del rango de trabajo típico del medidor, por ello se puede ignorar para el caso.

3.6.2. Caso 2: N° Cliente 776352 (Sensus 405s)

3.6.2.1. *Recopilación de datos*

La muestra de datos utilizada consta de datos de consumo cada 1 hora por un periodo de 7 días consecutivos (01/10/24 – 07/10/24). Se tienen 168 registros de consumo, los cuales se describen en la Tabla N°A.3 adjunta en el anexo al final del documento.

3.6.2.2. *Análisis de datos de clientes*

El gráfico de la Figura N°35 representa de manera visual el comportamiento de los consumos del conjunto inmobiliario AB Inmobiliaria. Un elemento a destacar corresponde a los picos de demanda, presentes tanto de día como de noche, los cuales no poseen una tendencia clara, pero se pueden apreciar unos picos de consumo en horas de la madrugada, probablemente por sistemas de riego y/o por llenado de estanques de alimentación. También se puede observar que el medidor generalmente opera alrededor de los $1,5 \left[\frac{m^3}{h}\right]$.

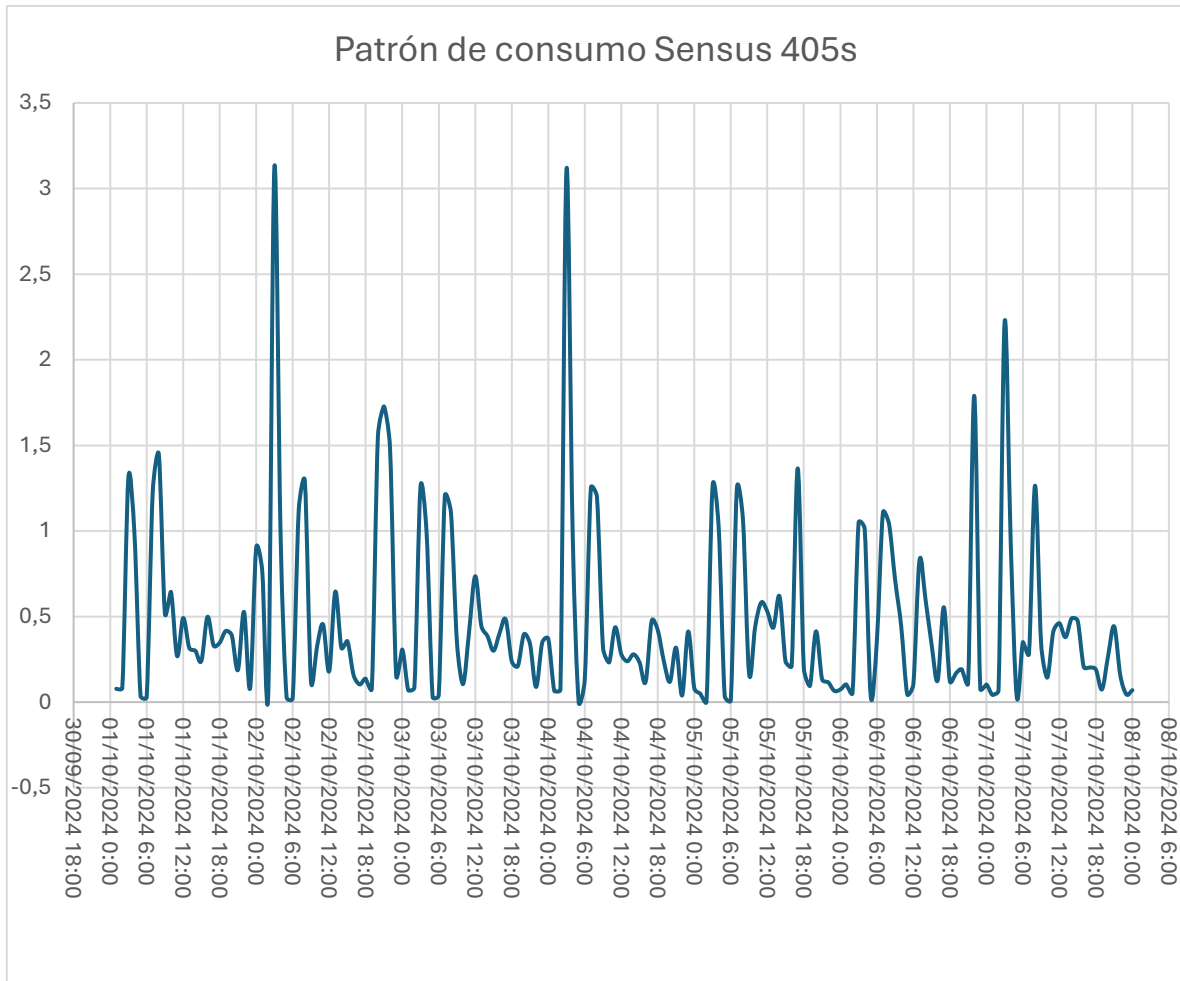


Figura N°35: Comportamiento de consumo del cliente del caso 2. Fuente: Elaboración propia.

En la sección de los anexos se puede encontrar la Tabla N°A.4 que detalla los diferentes rangos de caudal en $\left[\frac{m^3}{h}\right]$, las frecuencias con la que se repiten en la muestra a estudiar y el porcentaje que estas frecuencias representan respecto al total de datos a analizar. Este porcentaje corresponde a la proporción de tiempo en que el medidor trabajó en aquellos rangos de caudal. Este elemento es clave para la selección de los rangos y caudales más representativos, que se utilizarán para realizar las mediciones en los bancos de pruebas.

De manera complementaria, se creó la Tabla N°11 con un rango más detallado en la zona de los caudales bajos. Esto con el objetivo de encontrar de forma más precisa los porcentajes correspondientes a los rangos cercanos a los caudales mínimos, los cuales son más complicados de detectar si no se tiene un equipo con una alta calidad metrológica.

Tabla N°11: Representación porcentual del trabajo de cada caudal con avance fino del caso 2.
Fuente: Elaboración propia.

Rango Q		Frecuencia	Porcentaje
0	0,02	3	1,79
0,02	0,04	10	5,95
0,04	0,06	5	2,98
0,06	0,08	12	7,14
0,08	0,1	6	3,57
0,1	0,12	9	5,36
0,12	0,14	6	3,57
0,14	0,16	4	2,38
0,16	0,18	3	1,79
0,18	0,2	3	1,79
0,2	0,22	5	2,98
0,22	0,24	6	3,57
0,24	0,26	1	0,60
0,26	0,28	4	2,38
0,28	0,3	2	1,19
0,3	0,32	6	3,57
0,32	0,34	4	2,38
0,34	0,36	7	4,17
0,36	0,38	2	1,19
0,38	0,4	3	1,79
0,4	0,42	7	4,17
0,42	0,44	3	1,79
0,44	0,46	4	2,38
0,46	0,48	3	1,79
0,48	0,5	4	2,38
0,5	0,52	1	0,60

0,52	0,54	2	1,19
0,54	0,56	1	0,60
0,56	0,58	0	0,00
0,58	0,6	2	1,19
0,6	0,62	1	0,60
0,62	0,64	0	0,00
0,64	0,66	2	1,19
0,66	0,68	0	0,00
0,68	0,7	0	0,00
0,7	0,72	1	0,60
0,72	0,74	1	0,60
0,74	0,76	0	0,00
0,76	0,78	1	0,60
0,78	0,8	0	0,00
0,8	0,82	0	0,00
0,82	0,84	1	0,60
0,84	0,86	0	0,00
0,86	0,88	0	0,00
0,88	0,9	0	0,00
0,9	0,92	1	0,60
0,92	0,94	1	0,60
0,94	0,96	0	0,00
0,96	0,98	1	0,60
0,98	1	2	1,19
1	+	28	16,67

Total	168	100,00
-------	-----	--------

3.6.2.3. Selección de caudales de prueba

La Tabla N°12 enumera todos los caudales de prueba seleccionados. De igual manera que para el caso anterior, estos caudales se determinaron en base a las recomendaciones del fabricante del medidor en conjunto con el porcentaje de tiempo que se trabaja en aquel caudal, priorizando los más frecuentes en su funcionamiento diario. Los elementos destacados corresponden a los caudales utilizados por el fabricante en sus pruebas, estos son los caudales de arranque Q_a , mínimo Q_1 , de transición Q_2 , permanente Q_3 y de sobrecarga Q_4 respectivamente.

Con la selección de los caudales de trabajo completa se procede a establecer los rangos que estos caudales representarán en la Tabla N°13. Se buscará que los valores del rango se encuentren cercanos a los caudales seleccionados, siendo estos últimos la media del rango, aunque no se elimina la posibilidad de realizar excepciones. Cada uno de los rangos definidos se relaciona con cada caudal de la tabla N°12 respectivamente.

Tabla N°12: Lista de caudales seleccionados para las pruebas en laboratorio del caso 2. Fuente: Elaboración propia.

Q_1	0,036 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_2	0,1 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_3	0,16 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_4	0,3 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_5	0,5 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_6	0,7 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_7	1 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_8	1,3 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_9	1,7 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_{10}	2 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_{11}	3 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_{12}	16 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_{13}	20 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$

Tabla N°13: Rangos de caudal representados por cada Q_x del caso 2. Fuente: Elaboración propia.

Rangos de Caudal $\left[\frac{L}{h}\right]$
0 - 70
70 - 130
130 - 250
250 - 400
400 - 600
600 - 900
900 - 1200
1200 - 1500
1500 - 1900
1900 - 2500
2500 - 3500
3500 - 16000
16000 - 20000

3.6.2.4. Pruebas en laboratorio

A continuación se presentan los caudales de prueba junto a sus volúmenes de prueba asociados y los tiempos estimados para realizar cada prueba. Esta tabla sirve como una guía práctica y sencilla de los trabajos a realizar en los bancos de prueba.

Tabla N°14: Cuadro resumen para pruebas de laboratorio del caso 2. Fuente: Elaboración propia.

Caudal $\left[\frac{m^3}{h}\right]$		Conversión a $\left[\frac{L}{s}\right]$	Volumen medición [L]	Tiempo de medición [s]
Q_1	0,036	0,01	3	300
Q_2	0,1	0,03	3	100
Q_3	0,16	0,05	5	100
Q_4	0,3	0,08	5	62,5
Q_5	0,5	0,14	20	142,86
Q_6	0,7	0,19	20	105,26
Q_7	1	0,28	20	71,43
Q_8	1,3	0,36	20	55,56
Q_9	1,7	0,47	50	106,38
Q_{10}	2	0,56	50	89,29
Q_{11}	3	0,83	50	60,24
Q_{12}	16	4,44	1005,2 (200 mm H_2O)	226,4
Q_{13}	20	5,56	1005,2 (200 mm H_2O)	180,79

3.6.2.5. Resultados de pruebas en laboratorio

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos de las mediciones realizadas para cada uno de los rangos de caudal previamente seleccionados. También, se incluye el porcentaje de tiempo durante el cual el medidor trabaja en cada rango, dato necesario para poder calcular el error global del medidor.

Tabla N°15: Cuadro resumen de los resultados obtenidos de las pruebas del caso 2. Fuente: Elaboración propia.

Rango de Caudal $\left[\frac{L}{h}\right]$	Error del medidor	Tiempo trabajado en el rango
0 – 70	$-96,67 \pm 3,33\%$	10,71%
70 – 130	$-4,67 \pm 0,97\%$	16,07%
130 – 250	$-1,4 \pm 0,51\%$	16,07%
250 – 400	$1 \pm 0,32\%$	17,26%
400 – 600	$-0,1 \pm 0,06\%$	16,07%
600 – 900	$0,05 \pm 0,09\%$	4,17%
900 – 1200	$-0,1 \pm 0,06\%$	8,93%
1200 – 1500	$0,24 \pm 0,18\%$	7,14%
1500 – 1900	$-0,78 \pm 0,07\%$	1,79%
1900 – 2500	$-0,54 \pm 0,07\%$	0,6%
2500 – 3500	$-0,4 \pm 0,04\%$	1,19%
3500 – 16000	$0 \pm 0,11\%$	0%
16000 – 20000	$0,09 \pm 0,56\%$	0%

Además, se generó una gráfica Error [%] v/s Caudal $\left[\frac{L}{h}\right]$ (con escala logarítmica) para mostrar de forma visual y comprensible los resultados obtenidos en las pruebas del medidor.

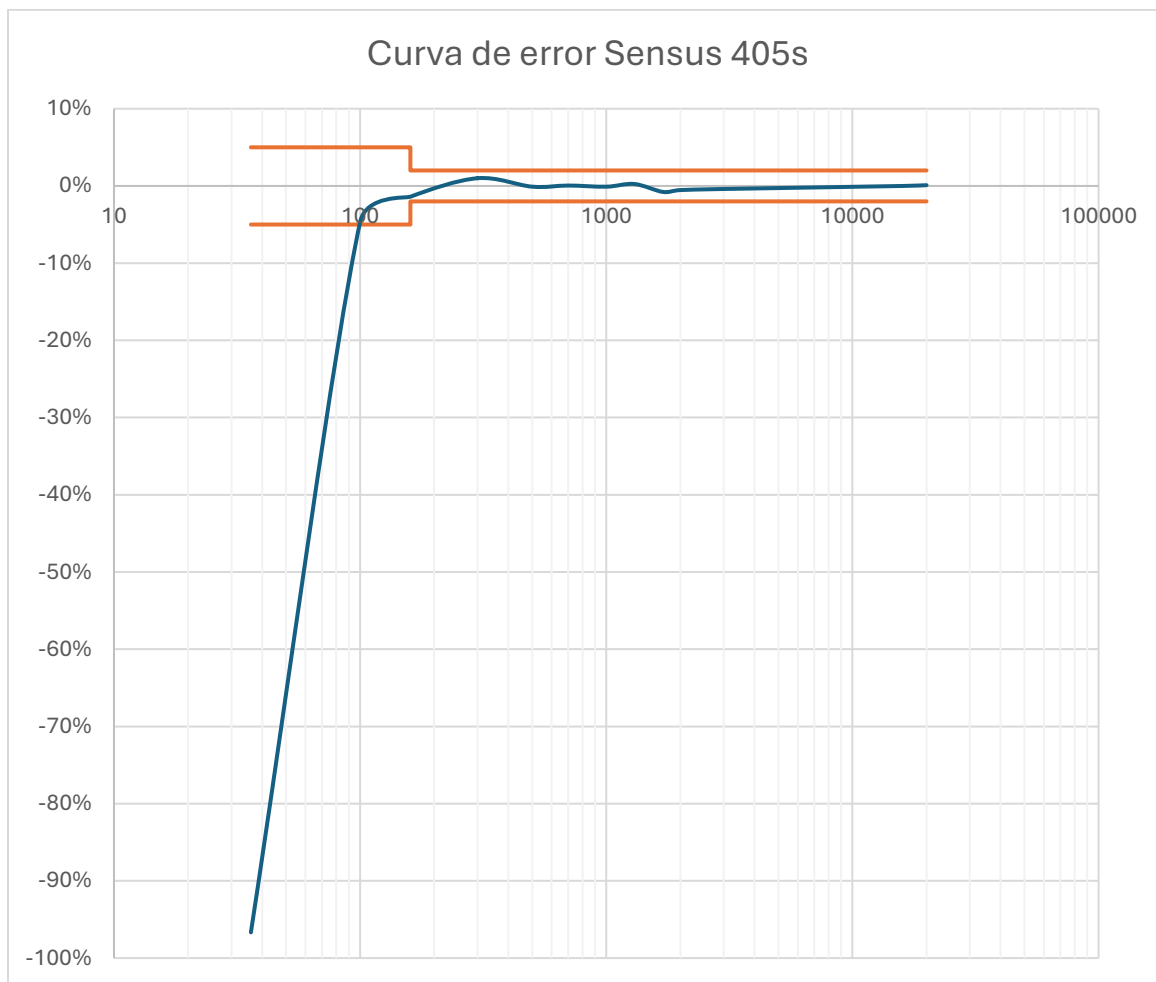


Figura N°36: Curva de error reconstruida del medidor del caso 2. Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.6. Cálculo de error global del medidor

A partir de la ecuación (11) y evaluando los resultados obtenidos en etapas anteriores, se procede a calcular el error global del medidor.

$$\begin{aligned}
 E.G. = & -96,67 * 0,1071 + -4,67 * 0,1607 + -1,4 * 0,1607 + 1 * 0,1726 + -0,1 * 0,1607 \\
 & + 0,05 * 0,0417 + -0,1 * 0,0893 + -0,24 * 0,0714 + -0,78 * 0,0179 + -0,54 \\
 & * 0,006 + -0,4 * 0,0119 + 0 * 0 + 0,09 * 0 = -11,18
 \end{aligned}$$

El resultado final obtenido corresponde a un **error global del medidor de $-11,18 \pm 1,37\%$** con un nivel de confianza del 95%, esto significa que, durante el funcionamiento general del medidor, este tiende a registrar un 11,18% menos de lo que debería.

3.6.2.7. *Análisis de los resultados*

- De igual manera que para el caso anterior es interesante destacar que el medidor nunca trabaja en su caudal nominal, si no que trabaja bastante por debajo del caudal de diseño.
- Al comparar la reconstrucción de la curva de error del medidor con su curva típica de fábrica, se puede observar que no hay grandes diferencias y que la reconstrucción se mantiene bastante fiel a la curva original. Se puede apreciar una pequeña diferencia en Q_2 , donde las magnitudes son similares, pero el error pasó de la zona positiva a la negativa.
- Desde los cálculos de error se puede notar que el medidor se encuentra dentro de los rangos de error máximo admisible, establecidos por la NCh 3274, para los caudales de trabajo, tanto en el campo inferior, como en el superior.
- Respecto al error global del medidor, el resultado obtenido es un tanto más desfavorable, indicando que el medidor en su funcionamiento general tiene una tendencia a generar un subregistro de los litros que realmente circulan a través de este.
- Se puede notar un error bastante grande en los caudales cercanos a Q_a , este valor influencia de forma importante el resultado del error global del medidor, ya que el rango que representa compone un 10,71% de los datos del estudio (tiempo de operación). Aun así, en base a los valores de error en todos los caudales estudiados, en general el medidor produce pequeños subregistros.
 - Sobre este último dato respecto al Q_a , es importante comentar que puede ser un factor de relevancia en los problemas de prorratio negativo en la facturación mensual de Esval, ya que al ser un caudal común de trabajo, ocurre que es común que no cuente los litros que corresponda y por ello, al comparar con la suma de los remarcadores la diferencia sea desfavorable para la empresa.

3.6.3. Caso 3: N° Cliente 248571 (Itrón Flostar M)

3.6.3.1. *Recopilación de datos*

La muestra de datos utilizada consta de datos de consumo cada 1 hora por un periodo de 7 días consecutivos (01/10/24 – 07/10/24). Se tienen 168 registros de consumo, los cuales se describen en la Tabla N°A.5 adjunta en el anexo al final del documento.

3.6.3.2. *Análisis de datos de clientes*

El gráfico de la Figura N°37 representa de manera visual el comportamiento de los consumos del edificio Costa del Sol. Un elemento importante a destacar corresponde a los picos de demanda, los cuales ocurren diariamente entre las 9 y 14 horas. Otro dato que resalta inmediatamente a la vista es que los caudales máximos de trabajo no superan el $1 \left[\frac{m^3}{h} \right]$.

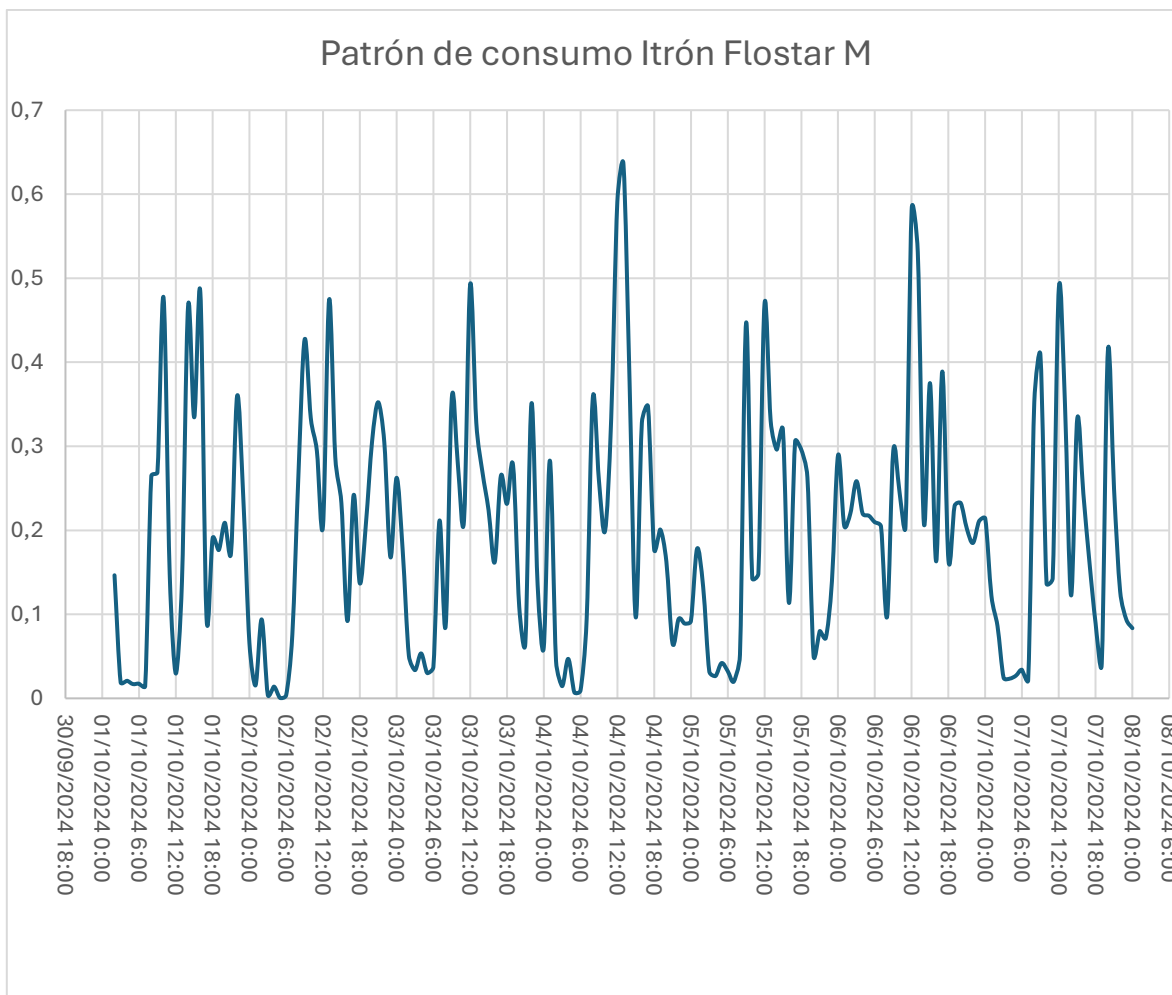


Figura N°37: Comportamiento de consumo del cliente del caso 3. Fuente: Elaboración propia.

De igual manera que en los casos anteriores, en la sección de anexos se puede encontrar la Tabla N°A.6 que presenta los diferentes rangos de caudal en $\left[\frac{m^3}{h}\right]$, las frecuencias con la que se repiten en la muestra a estudiar y el porcentaje que representan esas frecuencias respecto al total de datos a analizar. Este porcentaje representa la fracción de tiempo en que el medidor operó en aquellos rangos de caudal. Este análisis es fundamental para la determinación de los rangos y caudales más representativos, los cuales formarán parte de las mediciones en los bancos de pruebas.

3.6.3.3. Selección de caudales de prueba

La Tabla N°16 muestra todos los caudales de prueba seleccionados. De igual manera que para los casos anteriores, estos caudales se escogieron en base a las recomendaciones del fabricante del medidor y el porcentaje de tiempo que se trabaja en aquel caudal, priorizando los de mayor presencia en el funcionamiento diario. Los elementos destacados corresponden a los caudales utilizados por el fabricante en sus pruebas, estos son los caudales de arranque Q_a , mínimo Q_1 , de transición Q_2 , permanente Q_3 y de sobrecarga Q_4 respectivamente.

Tabla N°16: Lista de caudales seleccionados para las pruebas en laboratorio del caso 3. Fuente: Elaboración propia.

Q_1	0,036	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_2	0,079	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_3	0,127	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_4	0,25	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_5	0,4	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_6	0,55	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_7	0,8	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_8	1	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_9	3	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_{10}	5	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_{11}	7,5	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_{12}	25	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_{13}	31,25	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$

Tabla N°17: Rangos de caudal representados por cada Q_x del caso 3. Fuente: Elaboración propia.

Rangos de Caudal $\left[\frac{L}{h}\right]$
0 – 60
60 – 100
100 – 200
200 – 300
300 – 500
500 – 700
700 – 900
900 – 2000
2000 – 4000
4000 – 6300
6300 – 9000
9000 – 25000
25000 – 31500

Con la selección de los caudales de trabajo ya completada se procede a crear la Tabla N°17 que establece los rangos que estos caudales representarán. Se buscará que los valores del rango se

encuentren cercanos a los caudales seleccionados, siendo estos últimos la media del rango, aunque no se elimina la posibilidad de realizar excepciones. Cada uno de los rangos definidos se relaciona con cada caudal de la tabla N°16 respectivamente.

3.6.3.4. Pruebas en laboratorio

Se presenta a continuación los caudales de prueba, sus volúmenes de prueba y los tiempos que debería demorar cada una de las pruebas. Al igual que para los casos anteriores, esta tabla representa una guía clara y sencilla de las tareas a realizar en los bancos de prueba.

Tabla N°18: Cuadro resumen para pruebas de laboratorio del caso 3. Fuente: Elaboración propia.

Caudal $\left[\frac{m^3}{h}\right]$		Conversión a $\left[\frac{L}{s}\right]$	Volumen medición [L]	Tiempo de medición [s]
Q_1	0,036	0,01	3	300
Q_2	0,079	0,02	3	150
Q_3	0,127	0,04	5	125
Q_4	0,25	0,07	10	142,86
Q_5	0,4	0,11	20	181,82
Q_6	0,55	0,15	20	133,33
Q_7	0,8	0,22	20	90,91
Q_8	1	0,28	20	71,43
Q_9	3	0,83	100	120,48
Q_{10}	5	1,39	100	71,94
Q_{11}	7.5	2,08	251,3 (50 mm H_2O)	120,82
Q_{12}	25	6,94	1005,2 (200 mm H_2O)	144,84
Q_{13}	31,25	8,68	1005,2 (200 mm H_2O)	115,81

3.6.3.5. Resultados de pruebas en laboratorio

La Tabla N°19 presenta los resultados de las mediciones realizadas para los distintos rangos de caudal seleccionados con anterioridad. Además, se incluye el porcentaje de tiempo que el medidor opera en cada rango de caudal, dato clave para calcular el error global del medidor.

Tabla N°19: Cuadro resumen de los resultados obtenidos de las pruebas del caso 3. Fuente: Elaboración propia.

Rango de Caudal $\left[\frac{L}{h}\right]$	Error del medidor	Tiempo trabajado en el rango
0 - 60	$-100 \pm 0\%$	20,83%
60 - 100	$-100 \pm 0\%$	12,5%
100 - 200	$-100 \pm 0\%$	17,87%
200 - 300	$-40 \pm 1,58\%$	26,79%
300 - 500	$-18,5 \pm 1,27\%$	19,66%
500 - 700	$-9,09 \pm 0,56\%$	2,39%
700 - 900	$-1,1 \pm 1,53\%$	0%
900 - 2000	$-0,4 \pm 0,1\%$	0%
2000 - 4000	$1,3 \pm 0,03\%$	0%
4000 - 6300	$3,13 \pm 0,13\%$	0%
6300 - 9000	$-0,16 \pm 0,32\%$	0%
9000 - 25000	$-0,03 \pm 0,2\%$	0%
25000 - 31500	$-0,02 \pm 0,17\%$	0%

También se creó una gráfica Error [%] v/s Caudal $\left[\frac{L}{h}\right]$ (con escala logarítmica) para representar los resultados de las pruebas del medidor de forma visual y fácil de entender.

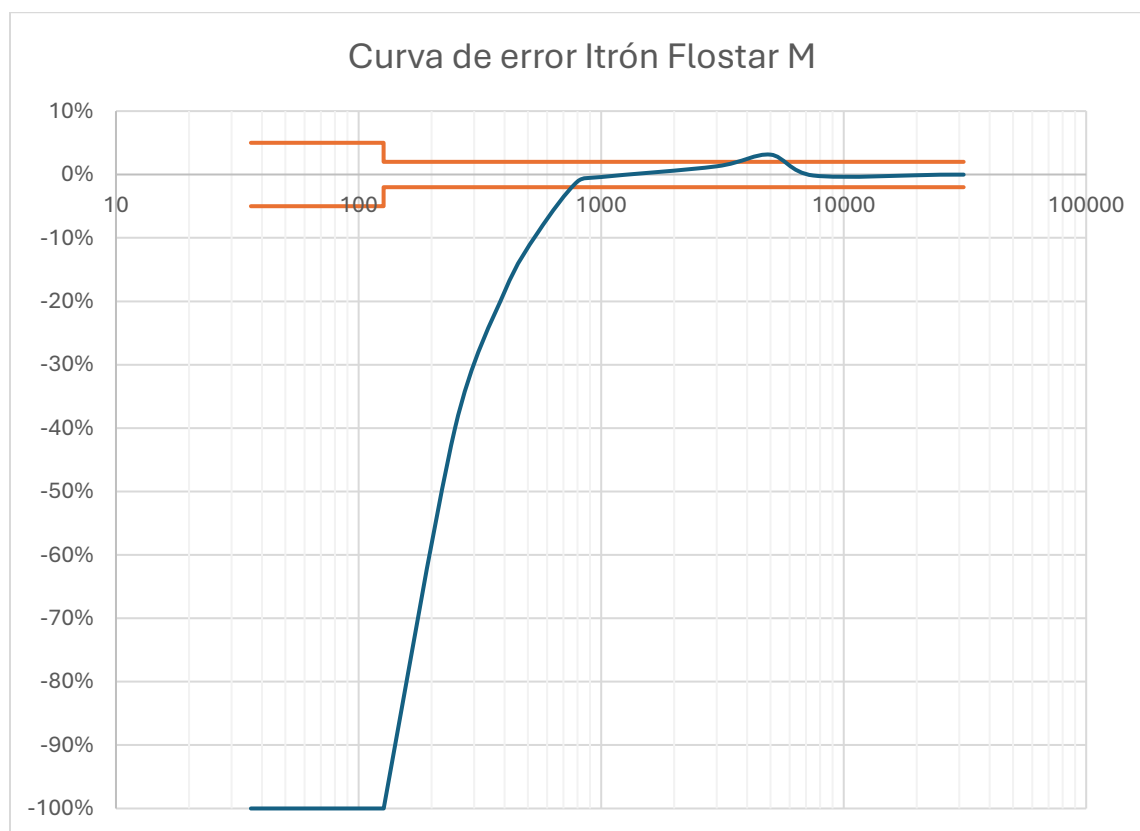


Figura N°38: Curva de error reconstruida del medidor del caso 3. Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.6. Cálculo de error global del medidor

Usando la expresión de la ecuación (11) y reemplazando los resultados obtenidos en etapas previas, se pasa al cálculo del error global del medidor.

$$E.G. = -100\% * 0,2083 + -100\% * 0,125 + -100\% * 0,1787 + -40\% * 0,2679 + -18,5\% * 0,1966 + -9,09\% * 0,0239 + -1,1\% * 0 + -0,4\% * 0 + 1,3 * 0 + 3,13 * 0 + -0,16 * 0 + -0,03 * 0 + -0,02 * 0 = -65,77\%$$

El **error global del medidor es de $-65,77 \pm 1,38\%$** con un nivel de confianza del 95%, es decir que, durante su operación general, el medidor tiende a medir un 65,77% menos de lo que debería.

3.6.3.7. Análisis de los resultados

- Al igual que para los casos anteriores, se destaca que el medidor nunca opera en su caudal nominal y suele trabajar bastante por debajo del caudal de diseño.
- Al observar ambas gráficas se puede notar un claro e importante deterioro del equipo. Su error negativo incremento en gran medida para el campo inferior y parte del campo superior quedando fuera del rango normativo nacional por bastante porcentaje. También, se puede notar que en el campo superior el porcentaje de error supera los límites por el lado positivo, aunque no al mismo nivel que el error negativo.
- Esta información indica inmediatamente que el medidor ya no se encuentra capacitado para operar y debe ser reemplazado por uno nuevo.
- Se puede apreciar que el 100% de los datos se encuentra en el rango de los 0 a $700 \left[\frac{L}{h} \right]$, rango que se encuentra permanentemente generando subregistros, ya que todos los caudales de este rango entregaron resultados negativos, es decir, el medidor cuenta siempre menos litros de los que corresponden.
- Si bien se pueden apreciar porcentajes de error positivos en algunos caudales, estos no tienen relevancia, ya que los caudales que representan no existen en el funcionamiento general del medidor.
- En base a lo mencionado, no sería de extrañar que el medidor en cuestión esté aportando de manera importante a la generación de prorrates negativos en la facturación mensual del edificio. Esto debido a que al estar constantemente en un estado de subregistro, siempre y cuando los remarcadores se encuentren funcionando dentro de la normativa chilena, el medidor general va a contar menos litros en comparación con la suma de los remarcadores.

3.7. Resultados del cambio de medidores principales

En base a la información compartida por Esval (Tabla N°20) se pudo notar que, tras pasar algunos meses desde los cambios de medidores generales, los niveles de prorrato negativo en la facturación de todos los casos de estudio siguen presentes y con comportamientos erráticos, es decir, que no siguen una tendencia clara. Algunos meses pareciera que la situación mejora, pero al mes siguiente vuelve a empeorar.

Este comportamiento en los prorrates mensuales nos indica que, si bien los medidores pueden aportar a la presencia de prorrates negativos, pareciera que no son el único factor que está influyendo

en los casos de estudio, ya que si el problema hubiesen sido solamente los medidores generales se habría notado un cambio positivo a lo largo de los meses transcurridos posterior al cambio.

***Tabla N°20: Cuadro resumen de los niveles de prorrateo post cambio de medidores generales.
Fuente: Elaboración propia.***

m^3 a prorratear					
F. facturación	Caso 1	F. facturación	Caso 2	F. facturación	Caso 3
26/08/2024	-118,73	08/08/2024	-44,66	12/08/2024	-3,00
25/09/2024	-251,18	09/09/2024	0,00	11/09/2024	-44,57
25/10/2024	-179,01	09/10/2024	-167,78	11/10/2024	-3,99
25/11/2024	78,16	09/11/2024	79,00	12/11/2024	-26,31

4. Capítulo N°4: Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

Para concluir se tomarán en cuenta los factores más relevantes para el estudio como punto de comparación. Debido a las diferencias presentadas en los medidores, se buscará determinar los puntos de mayor interés en ámbitos tales como, porcentaje de error, evolución de la curva de error, sistema de alimentación, diámetro del medidor y antigüedad.

- Respecto al error global de los medidores se puede decir que para el caso 1 se obtuvo un resultado prácticamente nulo, por lo tanto, no hay mucho que decir más que durante su operación general tiende a medir los litros que corresponden. En cambio, para los casos 2 y 3 la situación cambia a favor de la hipótesis, ya que ambos casos obtuvieron resultados de error negativos, es decir, subregistran litros durante su operación general. Con esta situación presente, asumiendo que los remarcadores operan dentro de los límites de la normativa chilena, los medidores generales siempre contarían menos litros que la suma de los remarcadores y con ello se presentaría un prorratio negativo en la facturación.
- Respecto al error relativo para cada rango de caudal se puede notar que los medidores generales estudiados poseen grandes porcentajes de error negativo en la zona de los caudales más pequeños y este error va disminuyendo hacia los caudales más altos. Los casos 1 y 3 corresponden a los medidores más deteriorados, siendo el 3 en que se encuentra en peores condiciones. Por otra parte, el medidor del caso 2 se encuentra en bastante buenas condiciones, poseyendo errores negativos inferiores al 1% en la mayoría de sus rangos de caudal. Aun así, estos resultados individuales no se reflejan del todo en el error global de los medidores debido a que también se debe considerar el factor de la frecuencia de operación de los rangos de caudal, siendo justamente en los casos 2 y 3 los que frecuentemente operan en los rangos con los peores porcentajes de error.
- Al comparar las gráficas de error proporcionadas por los fabricantes de los medidores estudiados con las reconstrucciones de las gráficas de error obtenidas en laboratorio, se observa que, para los casos 1 y 3 hay una clara e importante variación en la curva trazada, la cual se escapa ampliamente de los límites establecidos por la normativa vigente. Al analizar las curvas, se nota que para las zonas de bajo caudal, es decir, el campo inferior de la gráfica, los porcentajes de error son bastante altos, superando ampliamente el límite establecido de $\pm 5\%$, incluso para caudales del campo superior (caudales altos) también se puede presenciar cómo se superan los límites de error de $\pm 2\%$. En cuanto a la gráfica del caso 2, se puede decir que, la curva fue bastante fiel en comparación a la original, hay un ligero cambio en la zona del caudal de transición Q_2 , pero aun así se mantiene dentro de los límites establecidos para todos sus caudales de trabajo.
- Un factor interesante para considerar es la antigüedad de los medidores generales, ya que esta se encuentra directamente relacionada con la precisión que posee el medidor. Al tener un equipo nuevo, la curva de error del equipo tiende a ser como la entregada por el fabricante, pero para los casos analizados ocurre que las curvas cambian para peor, las antigüedades de los medidores son de aproximadamente 9, 6 y 21 años para los casos 1, 2 y 3, respectivamente. Claramente la edad de los medidores se condice con los resultados de los porcentajes de error siendo el caso 2 el medidor menos deteriorado y el caso 3 el que se encuentra en peores condiciones. Un elemento curioso a destacar es que el error global del caso 1 es mejor que en el caso 2, pero esto se debe exclusivamente a la distribución de las

frecuencias con que los medidores operaron en cada rango de caudal. Para el caso 1 los caudales de trabajo diarios operaron en caudales intermedios entre Q_2 y Q_3 , donde se encontraba una distribución de errores positivos y negativos, en cambio, para el caso 2 los caudales de trabajo diarios operaron entre Q_a y Q_2 , justamente el rango con peor precisión de toda la curva, principalmente error negativo. En cuanto al caso 3, se puede observar claramente el daño del paso de los años, tanto en la reconstrucción de su curva de error, como en el resultado del error global, siendo el caso más desfavorable respecto al conteo de agua y un seguro factor de aporte en la aparición de prorrato negativo en la facturación.

- En cuanto a los diámetros de los medidores, el principal elemento a destacar es que los diámetros utilizados son demasiado grandes para los niveles de caudal en los que suelen operar. Se pudo notar que en ninguno de los casos analizados los medidores logran alcanzar los valores de caudal nominal, ni si quiera se logran acercar. Adecuar los diámetros de los medidores para que estos trabajen la mayor parte del tiempo cerca de sus caudales de diseño es importante, ya que alrededor de este valor es cuando el medidor trabaja en condiciones óptimas donde su precisión es bastante buena y además prolonga la vida útil del medidor.
- Respecto a los sistemas de alimentación, se pudo notar que en los casos con conexión directa a la red de agua pública (casos 1 y 3), los grados de error se vieron altamente incrementados, tanto para el lado positivo como para el negativo, probablemente influenciado por el constante funcionamiento del equipo al estar conectado directamente a la red y funcionando en un amplio rango de caudales. En ambos casos los porcentajes de error se escapan de los límites establecidos por la normativa chilena. En cambio, para el caso 2 con alimentación por estanques, interruptor de flotador y válvulas de solenoide, se pudo notar que la reconstrucción de la curva de error se mantuvo bastante fiel a la curva error original, dando a entender que este sistema tiende a ser menos agresivo para el funcionamiento del medidor, ya que hay momentos en que el equipo deja de operar hasta que sea necesario volver a llenar el estanque.
- En base a la información compartida por Esval, se puede observar que aún existe la presencia de prorrato negativo en todos los casos posterior a los cambios de medidores generales, aunque un detalle interesante de esto es que estos prorratos no poseen una tendencia clara, algunos meses la situación mejora y en otros empeora. Considerando que los medidores nuevos poseen una mejor calidad metrológica que sus predecesores y el comportamiento errático del prorrato, es bastante probable que haya motivos adicionales a los medidores que están aportando en la aparición de prorratos negativos en la facturación.
- Considerando todos los puntos mencionados previamente, se puede concluir que los medidores generales que se encontraban instalados anteriormente (a excepción del caso 1) si aportan a la aparición de prorrato negativo, esto debido a que trabajan principalmente en la zona de caudales bajos, es decir, donde más aumentan los niveles de error de registro. Aun así es importante destacar que el aporte de los medidores no es el único factor que influencia la aparición de prorrato negativo en la facturación, ya que al realizar los cambios de equipos, el prorrato no desapareció del todo.
- Por lo tanto, se puede decir que en 2 de 3 casos, si se cumple la hipótesis, esto debido a que se observó un importante deterioro de la calidad metrológica de los medidores, la cual se asocia al desgaste mecánico generado por los años de operación, en adición a ello, el historial de caudales de operación de los casos, los cuales rondaban los valores entre Q_a y Q_2 , dificultan aún más que el medidor pueda contar el 100% del volumen que lo atraviesa, ya que estos caudales suelen perder bastante precisión con los años, tal como se pudo observar en el desarrollo de este estudio.

- Finalmente, la utilización de medidores que no posean una adecuada calidad metrológica para los caudales de trabajo del conjunto inmobiliario afectan negativamente a la facturación mensual de los clientes, ya que esto puede generar la aparición de prorrateos negativos, y con ello, pérdidas de ingresos para la empresa. Así mismo como con la calidad metrológica, es importante considerar el tamaño del equipo, ya que un medidor excesivamente grande será diseñado para caudales más grandes, y por ello, el medidor trabajaría siempre por debajo del punto de diseño al enfrentarse a los consumos de los clientes (zonas con caudales bajos y con mayor presencia de error).

4.2. Recomendaciones para Esvál y futuros investigadores

En base al estudio realizado, los resultados observados y las conclusiones obtenidas, se procederá a realizar algunas recomendaciones para Esvál y futuros investigadores interesados en continuar esta línea de investigación con un tema tan relevante como es el correcto uso y gestión de uno de los elementos más fundamentales para la vida, el agua.

Para Esvál:

- **Selección adecuada de medidores:** El objetivo de seleccionar adecuadamente un medidor es conseguir que este opere permanentemente (o la mayoría del tiempo) alrededor de su caudal nominal, de esta manera se asegura un nivel importante de precisión, y adicionalmente, se prolonga la vida útil del medidor en cuestión. Para poder realizar esto de forma correcta es necesario conocer el comportamiento de los consumos diarios del conjunto inmobiliario y posteriormente se deben encontrar el caudal máximo y promedio. Con estos datos se puede comenzar a buscar de manera más precisa algún medidor en el mercado (o en stock) que se amolde lo más perfectamente posible a los caudales más comunes del cliente. Aquí se debe considerar tanto el diámetro nominal, como los caudales de trabajo del medidor.
- **Sistemas de alimentación con estanques:** Fomentar la implementación y uso de sistemas de alimentación con estanques y válvulas de solenoide con flotador eléctrico (pueden ser otros sistemas de control de flujo), de esta manera el medidor del recinto operaría con toda la presión de la red al llenar los estanques, es decir, operaría más cerca de su caudal nominal, reduciendo así los subregistros debido a la falta de precisión de algunos caudales. En caso de que el caudal entregado por la red al momento de abrir la válvula para el llenado sea muy alto y sobrepase el valor nominal del medidor, se recomienda la instalación de una válvula reguladora de caudal antes del equipo de medición.
- **Optimización de la vida útil de los medidores:** Puede resultar de bastante utilidad mantener un registro de los comportamientos de la precisión de lectura de los medidores más utilizados por la empresa. Una forma de llevar este control consiste en realizar pruebas de precisión antes de la instalación del medidor y posteriormente realizar las mismas pruebas al terminar la vida útil del medidor (10 a 15 años según la experiencia y los fabricantes). De esta forma se pueden obtener tendencias en el comportamiento de la curva de error del medidor tras terminar un periodo determinado de tiempo. Esta información es fundamental para tomar decisiones objetivas y respaldadas sobre el punto óptimo de cambio del medidor.
- **Uso de medidores con alto rango dinámico R:** Esta recomendación va de la mano con la primera, ya que el uso de medidores con altos valores de R permite que las mediciones en los caudales más finos (caudales pequeños) sean mucho más precisas. Un alto valor de R significa que el medidor se puede adaptar con más facilidad a diferentes tipos de consumos,

en especial para los más pequeños, los cuales muchas veces no se logran registrar si la calidad metrológica del equipo no es la suficiente.

Para futuros investigadores:

- Un elemento de interés corresponde a la extensión de la investigación a otros métodos de alimentación empleados por los clientes, por ejemplo, los sistemas de alimentación mediante estanque y válvula de control de nivel con flotador (mecánico), los cuales tienen un control más suave del caudal en comparación a otros sistemas de cierre/apertura. Con esta investigación se puede complementar la información disponible sobre el deterioro de medidores según su sistema de alimentación.
- Se debería repetir el estudio completo para nuevos casos de clientes con prorrato negativo, y adicionalmente, que compartan los mismos sistemas de alimentación estudiados. El objetivo de realizar nuevamente el estudio es que al tener más datos reales de casos similares, se podrá encontrar una tendencia más representativa de los resultados obtenidos, ya que el análisis de solo uno o dos casos de cada sistema de alimentación no es suficiente data para decir con certeza que este es el comportamiento general que se debería encontrar tras un periodo definido de operación del medidor (deterioro de la precisión y aparición de prorrato negativo en facturación).
- Se recomienda realizar este mismo estudio para una muestra representativa de los medidores remarcadores de los clientes estudiados en este proyecto. Realizar estas pruebas permitirá conocer el nivel de error en el que están operando los remarcadores y así saber con fundamentos si estos medidores se encuentran aportando a la aparición de prorrato negativo. Si se encuentra que los remarcadores poseen un porcentaje de error positivo, entonces estos si aportan. Como se vio en este estudio, los medidores generales tienen una tendencia a trabajar en rangos de caudal donde se subregistran los litros consumidos (error negativo), por lo tanto, si los remarcadores poseen un error positivo, la brecha entre ambos tipos de medidor crece mucho más y con ello también el prorrato.
- Finalmente, pero no menos importante, sería interesante para la complementación de esta investigación utilizar nuevos enfoques de investigación, ya que se pudo observar que las características metrológicas del medidor no son el único factor fomenta la aparición de prorrato negativo. Esto servirá para obtener más conocimiento sobre posibles factores que podrían aportar a la aparición del prorrato negativo y con ello poder tomar decisiones mejor fundamentadas y con una mayor certeza. Algunos enfoques interesantes para investigar son:
 - **Enfoque en la calidad del agua:** Este enfoque es importante ya que el agua potable contiene sales que se van incrustando en tuberías y equipos conectados a ellas, como por ejemplo, los medidores de agua. Estas incrustaciones pueden alterar el funcionamiento normal del medidor y con ello afectar a su precisión.
 - **Enfoque en la detección de arranques desconocidos y by – passes clandestinos:** Este enfoque puede resultar de utilidad si los niveles de prorrato son altamente excesivos, ya que al existir un consumo adicional de ese nivel, es posible que el medidor general no esté registrando el consumo completo de uno o más domicilios del conjunto habitacional, es decir, se alimentan desde otro punto de la red pública de agua potable.
 - **Enfoque en la detección de fraudes:** Este enfoque resulta igual de importante que el enfoque anterior, ya que la presencia de elementos fraudulentos en el registro de

los consumos de agua puede ayudar en el incremento de la brecha de los registros del medidor general y los remarcadores. La detección y pronta eliminación de fraudes como la intervención no autorizada del medidor general o, como se mencionó antes, conexiones clandestinas a la red, resulta fundamental para la obtención de una facturación justa para ambas partes involucradas en la producción y uso del servicio.

- **Enfoque en el registro de consumo del medidor:** Un enfoque en la lectura que proporciona el medidor es interesante debido a que podría ayudar a encontrar el rango de lectura (total de litros contados) óptimo para el cambio de medidores, de manera similar a las recomendaciones de mantención para vehículos al alcanzar cierto kilometraje, sería de gran utilidad poseer un sistema para reconocer el momento óptimo para el cambio de medidor en base a su lectura de consumo total. Para realizar este tipo de recomendaciones de manera simple y ordenada, se recomienda hacer estas pruebas para las marcas y modelos más comunes que instala la empresa. Adicionalmente se podría considerar el tipo de agua con la cual operan estos medidores (aguas blandas o duras), teniendo así un sistema de recomendaciones más preciso.
- **Enfoque en estrato social y consumos asociados:** Como es bien sabido, los consumos y gastos de la gente, en cualquier ámbito de la vida, se relacionan directamente con su capacidad adquisitiva, y el consumo de agua no es la excepción. Si bien no necesariamente el 100% de los casos ocurre igual, es común que en domicilios más grandes y con familias numerosas haya consumos altos debido a que se toman más duchas, se bebe o cocina con más agua, se lava más ropa, se llenan piscinas, etc. En estos casos de alto consumo se puede dar un deterioro acelerado de los medidores asociados, por lo tanto, es interesante conocer cómo afectan los estilos de vida y consumo de agua de los clientes en la vida útil de los medidores y su desempeño en el registro de agua.

5. Referencias

- Arregui de la Cruz, F., Cabrera Rochera, E., Cobacho Jordán, R. (2007). *Gestión Integral de Contadores de Agua*. IWA Publishing.
- Esval S.A. (n.d.). *Nosotros*. Esval. <https://www.esval.cl/personas/nosotros/nosotros/>
- Instituto Nacional de Normalización. (2002). *NCh 1730:2002: Medidores para agua potable fría, tipo velocimétrico hasta $10 \left[\frac{m^3}{h} \right]$ de caudal nominal – Especificaciones y ensayos*. Instituto Nacional de Normalización. <https://ecommerce.inn.cl/nch1730200244461>
- Instituto Nacional de Normalización. (2003). *NCh 2763:2003: Medidores de agua potable fría, tipo velocimétrico, para caudales nominales mayores o iguales a $15 \left[\frac{m^3}{h} \right]$* . Instituto Nacional de Normalización. <https://ecommerce.inn.cl/nch2763200344598>
- Instituto Nacional de Normalización. (2012). *NCh 3274/1:2012: Medición de agua en tuberías cerradas completamente llenas – Medidores para agua potable fría y agua caliente – Parte 1: Especificaciones*. Instituto Nacional de Normalización. <https://ecommerce.inn.cl/nch32741201853324>
- Itrón. (2012). *Ficha técnica de medidor Flostar S* [Ficha técnica]. Itrón. <https://id.itron.com/o/commerce-media/accounts/-1/attachments/3806680>
- Itrón. (2017). *Ficha técnica de medidor Flostar M* [Ficha técnica]. Itrón. <https://na.itron.com/documents/44647/3805276/FlostarM+ES+02-17.pdf/2a38f024-7713-5a61-3b99-2ac37f6e272a?version=1.1&t=1711247634495>
- Kohen Industrial. (2022). *¿Qué es una válvula de solenoide para agua?*. Kohen Industrial. <https://kohen.cl/blog/valvula-solenoide-agua/#:~:text=Una%20v%C3%A1lvula%20solenoide%20para%20agua%20controla%20el%20flujo%20de%20agua,la%20carga%20de%20los%20equipos>
- Kolstad, C. (2020). *Guía del interruptor de flotador*. Tameson. <https://tameson.es/pages/interruptor-de-flotador-como-funciona>
- López Farias R. (2016). *El rango dinámico y la precisión en contadores con nuevas tecnologías de medida*. iAgua. [https://www.iagua.es/blogs/ramon-alberto-lopez-farias/rango-dinamico-y-precision-contadores-nuevas-tecnologias-medida/#:~:text=El%20Rango%20Din%C3%A1mico%20\(R\)%20de,esto%20es%3A%20Q3%2FQ1](https://www.iagua.es/blogs/ramon-alberto-lopez-farias/rango-dinamico-y-precision-contadores-nuevas-tecnologias-medida/#:~:text=El%20Rango%20Din%C3%A1mico%20(R)%20de,esto%20es%3A%20Q3%2FQ1)
- Maddalena. (2023). *Ficha técnica de medidor E – BULK* [Ficha técnica]. Maddalena metering expertise. <https://www.maddalena.it/wp-content/uploads/catalog-pdf/schedatecnica-e-bulk-es-v12.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas. (2005). *Decreto 1199: Aprueba el reglamento de las concesiones sanitarias de producción y distribución de agua potable y de recolección y disposición de aguas servidas y de las normas sobre la calidad de atención a los usuarios de estos servicios*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=243794>

- Ministerio de Obras Públicas. (2009). *Decreto 50: Aprueba el reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y de alcantarillado*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=207101>
- Sensus. (n.d.). *Ficha técnica de medidor 405s* [Ficha técnica]. Aguapur Medición. <https://aguapurmedicion.cl/wp-content/uploads/2020/12/SENSUS-405s-DN25-DN38.pdf>
- Sensus. (n.d.). *Ficha técnica de medidor iPERL* [Ficha técnica]. Xylem. https://cdn2.webdamdb.com/v11_md_Eb2BA5yScE01.jpg.pdf?v=11
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2011). Manual de Facturación. *SISS*. <https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-5917.html>
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. (n.d.). Edificios y condominios. *SISS*. <https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-8636.html>
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. (n.d.). Lectura del medidor. *SISS*. <https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-8583.html>
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. (n.d.). *Superintendencia de Servicios Sanitarios*. *SISS*. <https://www.siss.gob.cl/586/w3-channel.html>

6. Anexos

Tabla N°A.1: Tabla resumen de muestra del caso 1. Fuente: Elaboración propia.

Rango		Frecuencia
0	0,1	0
0,1	0,2	0
0,2	0,3	0
0,3	0,4	12
0,4	0,5	16
0,5	0,6	35
0,6	0,7	24
0,7	0,8	22
0,8	0,9	16
0,9	1	19
1	1,1	8
1,1	1,2	17
1,2	1,3	3
1,3	1,4	11
1,4	1,5	9
1,5	1,6	13
1,6	1,7	6
1,7	1,8	8
1,8	1,9	3
1,9	2	6
2	2,1	2
2,1	2,2	5
2,2	2,3	4
2,3	2,4	6
2,4	2,5	5
2,5	2,6	9
2,6	2,7	4
2,7	2,8	12
2,8	2,9	4
2,9	3	11
3	3,1	13
3,1	3,2	14
3,2	3,3	8
3,3	3,4	14
3,4	3,5	15
3,5	3,6	17
3,6	3,7	15
3,7	3,8	18
3,8	3,9	15
3,9	4	21
4	4,1	11
4,1	4,2	13
4,2	4,3	18
4,3	4,4	15
4,4	4,5	8
4,5	4,6	21

4,6	4,7	10
4,7	4,8	18
4,8	4,9	9
4,9	5	14
5	5,1	6
5,1	5,2	12
5,2	5,3	12
5,3	5,4	11
5,4	5,5	11
5,5	5,6	12
5,6	5,7	8
5,7	5,8	13
5,8	5,9	9
5,9	6	13
6	6,1	5
6,1	6,2	8
6,2	6,3	7
6,3	6,4	3
6,4	6,5	3
6,5	6,6	10
6,6	6,7	4
6,7	6,8	8
6,8	6,9	0
6,9	7	4
7	7,1	1
7,1	7,2	2
7,2	7,3	1
7,3	7,4	4
7,4	7,5	1
7,5	7,6	2
7,6	7,7	0
7,7	7,8	4
7,8	7,9	3
7,9	8	3
8	8,1	0
8,1	8,2	2
8,2	8,3	0
8,3	8,4	3
8,4	8,5	1
8,5	8,6	0
8,6	8,7	0
8,7	8,8	1
8,8	8,9	2
8,9	9	0
9	+	2

Total	768
-------	-----

Tabla N°A.2: Representación porcentual del trabajo de cada caudal del caso 1. Fuente: Elaboración propia.

Rango		Frecuencia	Porcentaje
0	0,1	0	0
0,1	0,2	0	0
0,2	0,3	0	0
0,3	0,4	12	1,56
0,4	0,5	16	2,08
0,5	0,6	35	4,56
0,6	0,7	24	3,13
0,7	0,8	22	2,86
0,8	0,9	16	2,08
0,9	1	19	2,47
1	1,1	8	1,04
1,1	1,2	17	2,21
1,2	1,3	3	0,39
1,3	1,4	11	1,43
1,4	1,5	9	1,17
1,5	1,6	13	1,69
1,6	1,7	6	0,78
1,7	1,8	8	1,04
1,8	1,9	3	0,39
1,9	2	6	0,78
2	2,1	2	0,26
2,1	2,2	5	0,65
2,2	2,3	4	0,52
2,3	2,4	6	0,78
2,4	2,5	5	0,65
2,5	2,6	9	1,17
2,6	2,7	4	0,52
2,7	2,8	12	1,56
2,8	2,9	4	0,52
2,9	3	11	1,43
3	3,1	13	1,69
3,1	3,2	14	1,82
3,2	3,3	8	1,04
3,3	3,4	14	1,82
3,4	3,5	15	1,95
3,5	3,6	17	2,21
3,6	3,7	15	1,95
3,7	3,8	18	2,34
3,8	3,9	15	1,95
3,9	4	21	2,73
4	4,1	11	1,43
4,1	4,2	13	1,69
4,2	4,3	18	2,34
4,3	4,4	15	1,95
4,4	4,5	8	1,04
4,5	4,6	21	2,73

4,6	4,7	10	1,3
4,7	4,8	18	2,34
4,8	4,9	9	1,17
4,9	5	14	1,82
5	5,1	6	0,78
5,1	5,2	12	1,56
5,2	5,3	12	1,56
5,3	5,4	11	1,43
5,4	5,5	11	1,43
5,5	5,6	12	1,56
5,6	5,7	8	1,04
5,7	5,8	13	1,69
5,8	5,9	9	1,17
5,9	6	13	1,69
6	6,1	5	0,65
6,1	6,2	8	1,04
6,2	6,3	7	0,91
6,3	6,4	3	0,39
6,4	6,5	3	0,39
6,5	6,6	10	1,3
6,6	6,7	4	0,52
6,7	6,8	8	1,04
6,8	6,9	0	0
6,9	7	4	0,52
7	7,1	1	0,13
7,1	7,2	2	0,26
7,2	7,3	1	0,13
7,3	7,4	4	0,52
7,4	7,5	1	0,13
7,5	7,6	2	0,26
7,6	7,7	0	0
7,7	7,8	4	0,52
7,8	7,9	3	0,39
7,9	8	3	0,39
8	8,1	0	0
8,1	8,2	2	0,26
8,2	8,3	0	0
8,3	8,4	3	0,39
8,4	8,5	1	0,13
8,5	8,6	0	0
8,6	8,7	0	0
8,7	8,8	1	0,13
8,8	8,9	2	0,26
8,9	9	0	0
9	+	2	0,26

Total	768	100
-------	-----	-----

Tabla N°A.3: Tabla resumen de muestra del caso 2. Fuente: Elaboración propia.

Rango Q		Frecuencia
0	0,1	36
0,1	0,2	25
0,2	0,3	18
0,3	0,4	22
0,4	0,5	21
0,5	0,6	6
0,6	0,7	3
0,7	0,8	3
0,8	0,9	1
0,9	1	5
1	1,1	6
1,1	1,2	4
1,2	1,3	8
1,3	1,4	2
1,4	1,5	2
1,5	1,6	1
1,6	1,7	0
1,7	1,8	2
1,8	1,9	0

1,9	2	0
2	2,1	0
2,1	2,2	0
2,2	2,3	1
2,3	2,4	0
2,4	2,5	0
2,5	2,6	0
2,6	2,7	0
2,7	2,8	0
2,8	2,9	0
2,9	3	0
3	3,1	0
3,1	3,2	2
3,2	3,3	0
3,3	3,4	0
3,4	3,5	0
3,5	+	0

Total	168
-------	-----

Tabla N°A.4: Representación porcentual del trabajo de cada caudal del caso 2. Fuente: Elaboración propia.

Rango Q		Frecuencia	Porcentaje
0	0,1	36	21,43
0,1	0,2	25	14,88
0,2	0,3	18	10,71
0,3	0,4	22	13,10
0,4	0,5	21	12,50
0,5	0,6	6	3,57
0,6	0,7	3	1,79
0,7	0,8	3	1,79
0,8	0,9	1	0,60
0,9	1	5	2,98
1	1,1	6	3,57
1,1	1,2	4	2,38
1,2	1,3	8	4,76
1,3	1,4	2	1,19
1,4	1,5	2	1,19
1,5	1,6	1	0,60
1,6	1,7	0	0,00
1,7	1,8	2	1,19
1,8	1,9	0	0,00

1,9	2	0	0,00
2	2,1	0	0,00
2,1	2,2	0	0,00
2,2	2,3	1	0,60
2,3	2,4	0	0,00
2,4	2,5	0	0,00
2,5	2,6	0	0,00
2,6	2,7	0	0,00
2,7	2,8	0	0,00
2,8	2,9	0	0,00
2,9	3	0	0,00
3	3,1	0	0,00
3,1	3,2	2	1,19
3,2	3,3	0	0,00
3,3	3,4	0	0,00
3,4	3,5	0	0,00
3,5	+	0	0,00

Total	168	100
-------	-----	-----

Tabla N°A.5: Tabla resumen de muestra del caso 3. Fuente: Elaboración propia.

Rango Q		Frecuencia
0	0,02	13
0,02	0,04	14
0,04	0,06	8
0,06	0,08	7
0,08	0,1	14
0,1	0,12	2
0,12	0,14	9
0,14	0,16	5
0,16	0,18	11
0,18	0,2	3
0,2	0,22	17
0,22	0,24	6
0,24	0,26	6
0,26	0,28	9
0,28	0,3	7
0,3	0,32	4
0,32	0,34	7
0,34	0,36	8
0,36	0,38	2
0,38	0,4	1
0,4	0,42	2
0,42	0,44	1
0,44	0,46	1
0,46	0,48	4
0,48	0,5	3
0,5	0,52	0

0,52	0,54	1
0,54	0,56	0
0,56	0,58	0
0,58	0,6	2
0,6	0,62	0
0,62	0,64	1
0,64	0,66	0
0,66	0,68	0
0,68	0,7	0
0,7	0,72	0
0,72	0,74	0
0,74	0,76	0
0,76	0,78	0
0,78	0,8	0
0,8	0,82	0
0,82	0,84	0
0,84	0,86	0
0,86	0,88	0
0,88	0,9	0
0,9	0,92	0
0,92	0,94	0
0,94	0,96	0
0,96	0,98	0
0,98	1	0
1	+	0

Total	168
-------	-----

Tabla N°A.6: Representación porcentual del trabajo de cada caudal del caso 3. Fuente: Elaboración propia.

Rango Q		Frecuencia	Porcentaje
0	0,02	13	7,74
0,02	0,04	14	8,33
0,04	0,06	8	4,76
0,06	0,08	7	4,17
0,08	0,1	14	8,33
0,1	0,12	2	1,19
0,12	0,14	9	5,36
0,14	0,16	5	2,98
0,16	0,18	11	6,55
0,18	0,2	3	1,79
0,2	0,22	17	10,12
0,22	0,24	6	3,57
0,24	0,26	6	3,57
0,26	0,28	9	5,36
0,28	0,3	7	4,17
0,3	0,32	4	2,38
0,32	0,34	7	4,17
0,34	0,36	8	4,76
0,36	0,38	2	1,19
0,38	0,4	1	0,6
0,4	0,42	2	1,19
0,42	0,44	1	0,6
0,44	0,46	1	0,6
0,46	0,48	4	2,38
0,48	0,5	3	1,79
0,5	0,52	0	0

0,52	0,54	1	0,6
0,54	0,56	0	0
0,56	0,58	0	0
0,58	0,6	2	1,19
0,6	0,62	0	0
0,62	0,64	1	0,6
0,64	0,66	0	0
0,66	0,68	0	0
0,68	0,7	0	0
0,7	0,72	0	0
0,72	0,74	0	0
0,74	0,76	0	0
0,76	0,78	0	0
0,78	0,8	0	0
0,8	0,82	0	0
0,82	0,84	0	0
0,84	0,86	0	0
0,86	0,88	0	0
0,88	0,9	0	0
0,9	0,92	0	0
0,92	0,94	0	0
0,94	0,96	0	0
0,96	0,98	0	0
0,98	1	0	0
1	+	0	0

Total	168	100
-------	-----	-----