



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

Propuesta metodológica para la adaptación de métodos internacionales de estimación de pérdidas reales de agua en sistemas urbanos de abastecimiento de agua potable de Ecuador.

AUTORA:

Navarrete Nagua, Johanna Narcisa

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

TUTOR:

Ing. Varela Terreros, Nancy Fátima

Guayaquil, Ecuador

16 de marzo del 2018



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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Navarrete Nagua, Johanna Narcisa**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera Civil**.

TUTORA

f. _____
Ing. Varela Terreros, Nancy Fátima

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____
Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther

Guayaquil, a los 16 del mes de marzo del año 2018



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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Navarrete Nagua, Johanna Narcisa**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Propuesta metodológica para la adaptación de métodos internacionales de estimación pérdidas reales de agua en sistemas urbanos de abastecimiento de agua potable de Ecuador** previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 16 del mes de marzo del año 2018

LA AUTORA

f. _____
Navarrete Nagua, Johanna Narcisa



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

AUTORIZACIÓN

Yo, **Navarrete Nagua, Johanna Narcisa**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Propuesta metodológica para la adaptación de métodos internacionales de estimación pérdidas reales de agua en sistemas urbanos de abastecimiento de agua potable de Ecuador**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 del mes de marzo del año 2018

LA AUTORA:

f. _____
Navarrete Nagua, Johanna Narcisa



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

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TRABAJO DE TITULO JOHANA NAVARRETE.docx (D35969808)
Submitted: 2/27/2018 4:23:00 PM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 5 %

Sources included in the report:

VRGG_01.pdf (D16964063)
TESIS Ing Baldomero Valencia.docx (D21947862)
1777.- Olivos Lara Omar Eduardo.pdf (D34243690)
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52272/Molina_Stephenson_TFM_Metodolog%C3%ADa_Calibraci%C3%B3n.pdf?sequence=1
<https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/47948/Estado%20del%20arte%20de%20la%20calibraci%C3%83%C2%B3n%20de%20modelos%20hidr%C3%83%C2%A1ulicos.%20Modelado%20de%20fugas%20con%20Epanet.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8674/Tesis.pdf?sequence=1>

Instances where selected sources appear:

31

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que me brindaron de su ayuda y orientación a lo largo de este trabajo. A mis profesores por su paciencia y sus enseñanzas.

DEDICATORIA

A mi familia que es pilar fundamental de mi vida. A Dios, por la oportunidad que me dio para poder estudiar en esta noble institución.



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

f. _____

ING. NANCY FÁTIMA VARELA TERREROS
TUTORA
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. STEFANY ESTHER ALCÍVAR BASTIDAS
DIRECTORA DE CARRERA

f. _____

ING. MELIDA ALEXANDRA CAMACHO MONAR
DELEGADA DE COORDINACIÓN DEL ÁREA

f. _____

ING. STEPHENSON XAVIER MOLINA ARCE
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I.....	2
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Justificación	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
CAPITULO II.....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Pérdidas de agua.....	4
2.1.1. Pérdidas aparentes	5
2.1.2. Pérdidas reales	6
2.1.2.1. Balance hídrico	9
2.2. Distritos de medición (DMA)	11
2.2.1. Dimensionamiento de DMA.....	13
2.2.2. Ubicación y cuantificación de fugas en DMA	15
2.3. Step test.....	16
2.4. Pressure step test.....	17
2.5. Conceptos técnicos asociados a pérdidas reales	18
2.5.1. FAVAD (Fixed and Variable Area Discharge Paths)	18
2.5.2. Exponente de fuga (N1)	19
2.5.3. Punto de presión promedio (AZP).....	20
2.5.4. Caudal mínimo nocturno	22
2.6. Gestión de pérdidas reales	25
2.6.1. Indicadores de desempeño operacional para pérdidas reales .	26
CAPITULO III.....	31
3. PROPUESTA METODOLÓGICA	31
3.1. Sectorización del sistema de abastecimiento	32
3.2. Detección de fugas en distritos de medición.....	39
3.3. Estimación de caudales de fuga	46
3.4. Indicador de pérdidas reales.....	46
CAPITULO IV.....	50
4. CASO DE ESTUDIO	50

CAPITULO V.....	55
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Balance hídrico recomendado por la IWA, (AWWA, Water Audits and Loss Control Programs, 2007).	10
Tabla 2. Componentes y definiciones del Balance Hídrico establecido por la IWA/AWWA.....	11
Tabla 3. Dimensiones de DMA en función del sector	14
Tabla 4. Exponentes de fugas (N1) en según el tipo de falla y material	20
Tabla 5. Componentes del caudal mínimo nocturno.....	23
Tabla 6. Pérdidas físicas en función de la presión de servicio.....	29
Tabla 7. Longitudes de la red SGU en función del diámetro y material.	51
Tabla 8. Balance hídrico enero 2.016 – diciembre 2.016.....	52
Tabla 9. Análisis de sensibilidad – Variación de coeficiente de uso nocturno.	57
Tabla 10. Análisis de sensibilidad – Variación de coeficiente de uso nocturno.	58
Tabla 11. Análisis de sensibilidad – Variación de error de micromedición...	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Fuentes de origen de pérdidas en un sistema de abastecimiento.	4
Gráfico 2. Relación de pérdidas reales en función de su tamaño.	8
Gráfico 3. Esquema típico de DMA.....	12
Gráfico 4. Mediciones del Step Test	16
Gráfico 5. Componentes e indicadores de desempeño para el control de pérdidas reales.	25
Gráfico 6. Esquema de principal de la metodología de trabajo.....	32
Gráfico 7. Esquema de DMA y secuencia de trabajo para Step Test	41
Gráfico 8. Comparación entre simulación hidráulica y mediciones del Step test.	43
Gráfico 9. División de los sectores del macro-sector Sur-Guasma.	50

RESUMEN

En el siguiente trabajo plantea el uso de un conjunto de estrategias para la estimación, detección y control de pérdidas reales, en los sistemas de abastecimiento del Ecuador, dispuesto con ayuda de distritos de medición. Las metodologías aplicadas son el balance hídrico, que ayuda a medir y clasificar los consumos de los usuarios, y el cálculo de caudal de fugas promedio, que es realizado a partir del análisis de los consumos medios de los usuarios, el step test y pressure step test, mediciones de presión y de coeficientes de uso nocturno, las mismas que serán comparadas y se determina el porcentaje de error entre métodos.

Además, se efectúa el análisis del macrosector Sur-Guasmo y de sus distritos de medición, como caso de estudio, el cual se encuentra ubicado en la ciudad de Guayaquil. De los resultados de este estudio se obtiene un error entre métodos de 5,85% y porcentajes de agua no contabilizada estimados de 62.38% en el balance hídrico y 63,54% en el cálculo de caudal de fugas promedio.

Palabras Claves: *Balance hídrico, Pérdidas de agua, Distritos de medición, Step test, Pressure step test, Caudal mínimo nocturno, Exponente de fuga.*

ABSTRACT

The following work set the use of strategies for the estimation, detection and control of real losses in Ecuador's water supply systems, disposed with district meter assistance. The applied methodologies are water balance, which helps to measure and classify the user's consumption, and the average leakage rate calculation that is carried out with help of the average user's consumption analysis, step test and pressure step test, pressure measurements and night use coefficients, that will be associated and established the percentage of error between them.

In addition, the analysis of the Sur-Guasma districts meters is carried out as a case study, which is in the city of Guayaquil. From the analysis results is obtained an error between methods of 5,85% and percentages of unaccounted water of 62,38% for water balance and 63,54% in the average leakage rate calculation.

Keywords: *Water balance, Water losses, District meter, Step test, Pressure step test, Minimum night flow, Leakage exponent.*

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

El agua es un recurso vital sin importar que lugar en el mundo sea, debido a que el agua dulce no es solamente indispensable para la alimentación humana sino también como un producto primario importante para la producción industrial y agrícola. Por lo tanto, la disponibilidad de agua dulce se relaciona directamente con el bienestar y la prosperidad de nuestra sociedad. Sin embargo, el agua dulce es un recurso limitado e incluso escaso, producto de los constantes cambios alrededor del mundo, como el crecimiento demográfico, el desarrollo económico, la migración y la urbanización están poniendo nuevas limitaciones sobre los recursos de hídricos y también sobre la infraestructura que suministra agua potable a los ciudadanos, empresas, industrias y las instituciones (World Water Council, 2009). Asimismo, las barreras políticas, financieras y/o técnicas pueden impedir una distribución igual del agua, incluso en regiones en donde la presencia física del agua es suficiente.

Se conoce que una gran cantidad de agua es perdida a través de fugas en las redes de distribución urbana de agua (pérdidas físicas o reales de agua) o por medio de consumos no facturados (pérdidas de agua aparentes), estos factores pueden ser los elementos que obstaculizan el racionamiento de agua, especialmente en los países en desarrollo y en transición. Las pérdidas de agua mencionadas junto con el consumo autorizado no facturado constituyen la cantidad de agua no facturada (ANF) en un sistema de abastecimiento.

Las compañías encargadas del suministro de agua potable realizan estrategias para controlar estas pérdidas, mientras se apoyan en modelos hidráulicos y mediciones de campo para evaluar, de esta manera poder

simular, observar y obtener los diversos componentes por los cuales se presentan las pérdidas en las infraestructuras de agua potable.

En base a un estudio realizado a 40 empresas de agua en el sudeste de Asia y a la base de datos IBNET sobre el desempeño de las empresas de agua que cubre más de 900 servicios públicos en el mundo, el Banco Mundial estima que la cifra actual para todos los niveles de ANF en el mundo en desarrollo está probablemente en el rango de 40 - 50 % del agua producida. (Asian Development Bank, 2005).

En un estudio realizado por la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) encontró que las redes de abastecimiento de agua potable del Ecuador tiene aproximadamente un 50.4% en pérdidas del volumen captado, que se encuentran desde su fase de distribución de agua hasta la llegada a la acometida de los usuarios, lo cual representa alrededor de unos USD 100.000.000 de forma anual, por lo que es importante mejorar los sistemas de distribución de agua potable, de forma que se optimice el uso de los recursos hídricos (ARCA, 2016).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Realizar una propuesta metodológica para la adaptación de métodos internacionales de estimación pérdidas reales de agua en sistemas urbanos de abastecimiento de agua potable de Ecuador que contribuya a disminuir y controlar las pérdidas reales.

1.2.2. Objetivos específicos

- Definir una metodología para las pruebas de campo, que permitan estimar el caudal de pérdidas reales.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Pérdidas de agua

Los problemas asociados con pérdidas de agua alrededor del mundo son numerosos, ya que pueden estar presentes a lo largo de una red de distribución de diversas formas, esta trae consigo efectos negativos tanto para los consumidores y para las compañías encargadas del abastecimiento de agua potable. El caudal inyectado al sistema lo es para ser consumido por los diferentes abonados, sin embargo, una parte, cuya cantidad depende fundamentalmente del estado de conservación de la red y de sus acometidas domiciliarias, no alcanza su objetivo final, perdiéndose durante el proceso de distribución y dando origen a las fugas (Cabrera, Almandoz, Arregui, & García-Serra, 1999). Entre los problemas asociados que se pueden nombrar están: el déficit de la presión de servicio en la red de distribución en algunos puntos de las zonas de demandas, deterioros en infraestructuras cercanas, así como cimentaciones aledañas, incrementos en los costos de bombeo y tratamiento, infiltraciones de aguas servidas o contaminantes.

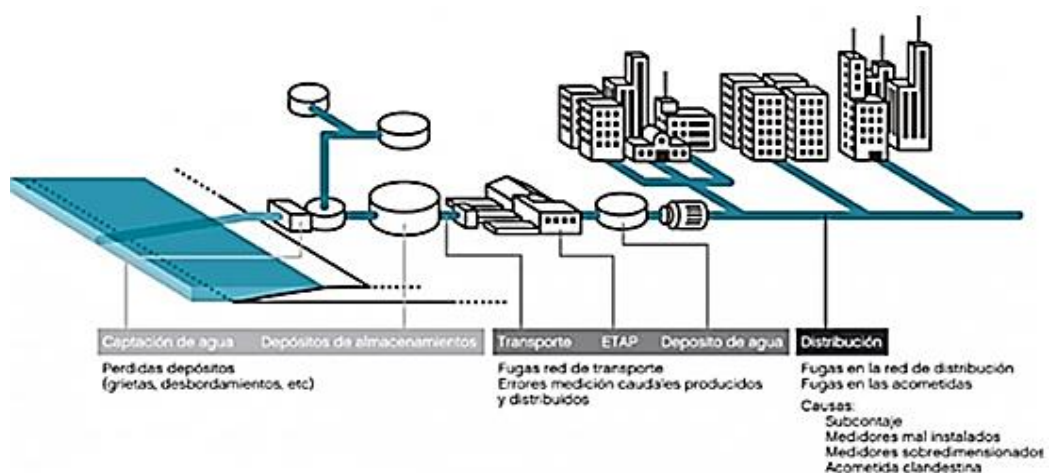


Gráfico 1. Fuentes de origen de pérdidas en un sistema de abastecimiento.

Se define como pérdidas de agua como el volumen de agua perdida entre el punto de suministro y el medidor del cliente, lo cual puede ser ocasionado por diversas razones, esta se puede expresar como la diferencia entre el volumen de ingreso al sistema y el consumo autorizado. Las pérdidas totales de agua o 'Water losses' se expresan como la diferencia entre el agua producida y el consumo facturado o registrado (Thornton, 2008):

$$Q_{P\acute{e}rdidas} = Q_{Suministrado} - Q_{Facturado}$$

$$Q_{P\acute{e}rdidas} = Q_{P\acute{e}rdidas\ reales\ (F\acute{is}icas)} + Q_{P\acute{e}rdidas\ aparentes\ (No\ f\acute{is}icas)}$$

El éxito del control de pérdidas depende en gran parte de la capacidad de integración de la información de la entidad. Por lo tanto, es importante determinar el nivel de pérdidas que existen dentro del sistema de distribución, con esto se puede implementar correctivos necesarios y mejorar la calidad de servicio prestado, el volumen dependerá tanto de las características y estado de la red como de las políticas de detección y reparación de fugas de las empresas. Las fugas, en una evaluación preliminar, puede estar divididas en pérdidas reales (o físicas), que es el agua perdida cuando se entrega el servicio, y pérdidas aparentes (o consumo no autorizado), que es el agua distribuida a los consumidores, pero no es facturada (Alegre, Hirner, Baptista, & Parena, 2000).

2.1.1. Pérdidas aparentes

Las pérdidas aparentes no son producto a rupturas o fugas de agua, este tipo está relacionada a que son generadas por los consumidores, es decir, consisten principalmente de las pérdidas producidas por consumos no autorizados (conexiones ilegales), errores en la facturación de los consumos e incertidumbres en las mediciones a los usuarios. Asimismo, consumo no autorizado puede ser debido a: robos o uso ilegal (Julian Thornton, 2008), y pueden ser ocasionadas por:

- **Imprecisiones en mediciones:** Errores de mediciones que pueden ser ocasionadas a defectos o imprecisiones, ya que los equipos con el

paso del tiempo pierden exactitud en sus mediciones e inclusive por mala instalación de los medidores.

- **Consumo no autorizado:** Se refiere a las alteraciones de los equipos de medición por parte de los usuarios, consumos no autorizados por conexiones ilegales, se podría considerar también otros de consumos no autorizados, así como: la extracción ilegal del agua de las tuberías contra incendios, así como en los sobornos y corrupción a los empleados que leen los medidores u a otro personal de la empresa.
- **Errores sistemáticos en el manejo de datos:** Errores en la facturación de los consumos o en el manejo de bases de datos, también existen empresas locales que no cuentan con un censo de usuarios actualizados.

2.1.2. Pérdidas reales

Las pérdidas reales corresponden a todas las pérdidas físicas causadas por reboses o escapes en tanques de almacenamiento, y deterioros a lo largo del sistema de abastecimiento. La cantidad de pérdidas reales está en función de las políticas de mantenimiento y reparación de las empresas, las cuales podrían ser graves y podrían llegar a ser detectadas inclusive después de muchos años, pero esto dependerá de las características y condiciones de la red. Por razones técnicas y económicas hay que reconocer que las pérdidas reales no pueden ser eliminadas en su totalidad, por lo tanto, es necesario establecer un porcentaje mínimo de agua no contabilizada (Patrick Fallis, 2011).

Las pérdidas reales en el sistema de distribución dependen de un conjunto de parámetros que influyen en el análisis y obtención de resultados, las mismas contribuirán en identificación de estrategias para el control de pérdidas reales. La caracterización de esta es determinante para evaluar el rendimiento de técnico (Alegre, Texeira Coelho, Almeida, & Viera, 2005). Los factores que influyen en las pérdidas reales son:

- Estado en que se encuentra la infraestructura de abastecimiento (conducción y accesorios), tipo de material, frecuencia de fugas y roturas. Las tuberías pueden estar sujetas a corrosión e incrustaciones.
- La presión de servicio promedio, cuando el sistema es presurizado.
- La densidad y longitud media de los ramales.
- Longitud total de la red.
- El tipo de suelo y las condiciones del terreno son factor importante.

Asimismo, la IWA clasifica en 3 componentes principales las pérdidas reales y se catalogan por su ubicación dentro del sistema, que podría ser desde el tanque de almacenamiento hasta el punto de entrega final a los usuarios, estas son:

- **Fugas en tuberías de transporte y de distribución:** Este tipo de fugas se deben a corrosión, estallidos, uniones o válvulas defectuosas, ya sea por daño por desconexión o falta de mantenimiento.
- **Fugas y reboses en depósitos de almacenamiento:** Estas son causadas por la falta de control en los reservorios, consiste en la cantidad de agua que se pierde dentro de las instalaciones de almacenamiento del sistema de agua potable (EPA, 2010).
- **Fugas en acometidas hasta el punto de medición:** Pertenece a las pérdidas que se producen en las uniones y accesorios de las acometidas que llevan el servicio hacia los usuarios, las fugas en las conexiones de servicio son difíciles de detectar debido a sus caudales de bajos de fugas, por lo que las fugas se producen por largos periodos de tiempo.

Por otro lado, si se efectúa un análisis de los componentes de las pérdidas reales en función del tamaño y duración, entonces se clasifican las fugas en tres categorías: fugas reportadas, fugas no reportadas y fugas de fondo (Molina, 2014):

- **Fugas de fondo:** Son la causa de la mayor fuente de pérdidas, consisten en fugas con caudales menores a 250 l/h a una presión de 50 m (daño en accesorios y uniones), que mediante métodos tradicionales de detección de fugas no consiguen ser encontradas, razón por la cual el tiempo de duración promedio de estas puede llegar a ser muy alto.
- **Fugas no reportadas u ocultas:** Este tipo consisten en fugas que aún no se manifiestan a la superficie pero que mediante la utilización de instrumentos acústicos y no acústicos llegan a ser detectadas.
- **Fugas reportadas o visibles:** Corresponden a las fugas que se encuentran perceptibles en la zona afectada, principalmente de estallidos súbitos o rupturas de uniones en grandes troncales o tuberías de distribución. El agua que fuga aparecerá en la superficie rápidamente dependiendo de la presión del agua y el tamaño de la fuga, así como de las características del suelo y la superficie (Patrick Fallis, 2011).



Gráfico 2. *Relación de pérdidas reales en función de su tamaño.*

Las pérdidas reales pueden evaluarse por tres métodos diferentes: ‘top-down’ o balance hídrico, ‘bottom-up’ o análisis del flujo nocturno y mediante una combinación de los métodos mencionados anteriormente. El balance hídrico realiza una evaluación cuantitativa de las entradas y salidas de caudal en el sistema, y ayuda a determinar el caudal de consumo, después de estimar el consumo autorizado y las pérdidas aparentes y restarlo del volumen de entrada del sistema. De hecho, la realización de balances hídricos requiere el manejo de información como: registro de operación, mantenimiento (ocurrencia de roturas) y de facturación (Alegre, Texeira Coelho, Almeida, & Viera, 2005).

El caudal de pérdidas reales obtenido del balance hídrico puede verificarse de forma independiente mediante los cálculos del 'bottom-up'. El método 'bottom-up' está basado en el análisis de los caudales nocturnos en sectores pequeños o zonas del sistema de distribución (OFWAT, 2001), también se consigue realizando mediciones de 24 horas, como mínimo, en el área de estudio. Estos sectores o zonas pueden estar previamente establecidos, aunque pueden ser zonificados temporalmente para llevar a cabo este análisis. El caudal mínimo nocturno (CMN) en zonas urbanas normalmente ocurre durante el período de la madrugada, generalmente entre alrededor de las 02:00 y las 04:00 horas, aunque el tiempo exacto variará de una zona a otra. La estimación del componente de pérdida real al flujo nocturno mínimo se lleva a cabo restando el consumo nocturno legítimo (evaluado y medido) para los clientes conectados a la red en la zona que se estudia. El resultado obtenido al restar el consumo nocturno legítimo del flujo nocturno mínimo proporciona una estimación del caudal de pérdidas reales durante el período del CMN (Fanner, 2004).

2.1.2.1. Balance hídrico

La International Water Association (IWA) y la American Water Works Association (AWWA) durante muchos años han estudiado metodologías para reducir las pérdidas en los sistemas de distribución de agua, que se basan en auditorías y estrategias de conservación, de tal forma que por su alta eficacia en la optimización de sistemas de abastecimiento han tenido mucho éxito y son reconocidas mundialmente. El balance hídrico es la base de la metodología para la conservación de agua (AWWA, Manual of Water Supply Practices M36: Water Audits and Leak Detection, 1997).

El balance hídrico identifica y cuantifica los consumos y pérdidas totales de agua en una red, es decir realiza una estimación de los consumos dentro de un sistema, con esto se puede definir cuáles son los diversos usos que tiene el agua que ingresa al sistema de distribución, de forma que se pueda evaluar el caudal de pérdidas de agua producidos dentro una red. Este método puede ser aplicado para todo un sistema de distribución (conducción

y/o distribución) o zonas de distribución; siendo necesario para todos los casos verificar que los datos utilizados en el balance se correspondan con los límites físicos de la zona a evaluar (Molina, 2014).

La terminología y las definiciones son trascendentales para conocer las variables que están involucrados en las pérdidas del sistema, por lo tanto, estas son necesarias para realizar un seguimiento preciso del rendimiento y realizar mejoras, de ser necesario. En la metodología de la AWWA y la IWA, toda el agua que ingresa y sale hacia el sistema de distribución puede ser clasificada en categorías, así como en el balance de hídrico que se presenta en la tabla 1, que está balanceado, ya que representa el volumen total del agua dentro del sistema de distribución, y la suma de cualquiera de las columnas como resultado tiene que sumar el valor total del caudal de entrada del sistema (EPA, 2010). A continuación, se presenta en la tabla 1 los componentes claves del balance hídrico propuesto por la AWWA, la cual descompone y muestra los factores involucrados en las pérdidas de agua, desde su captación hasta el punto de entrega final y en la tabla 2 se describen algunos de los conceptos de estos.

Tabla 1. Balance hídrico recomendado por la IWA, (AWWA, *Water Audits and Loss Control Programs*, 2007).

Volumen de agua captada en fuentes propias	Agua exportada	Consumo autorizado	Consumo autorizado facturado	Agua exportada facturada	Agua Facturada
	Volumen suministrado			Consumo facturado medido	
				Consumo facturado no medido	
			Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	Agua No Facturada
				Consumo no facturado no medido	
				Pérdidas aparentes	
		Imprecisiones de medida			
	Errores sistemáticos en el manejo de datos				
	Volumen de agua importada	Pérdidas de agua	Pérdidas reales	Fugas en tuberías de transporte y distribución	
				Fugas en reboses en depósitos de almacenamiento	
Fugas en acometidas hasta el punto de medida					

Fuente: AWWA

Tabla 2. Componentes y definiciones del Balance Hídrico establecido por la IWA/AWWA.

Componentes del Balance Hídrico	Definición
Volumen Captado	Volumen anual de agua captada del medio natural a partir de fuentes de agua bruta.
Volumen de agua (importada o exportada)	Volúmenes anuales de agua, ya sea tratada o bruta, que traspasan los límites operativos del sistema. Estas transferencias pueden ocurrir en cualquier lugar.
Consumo autorizado facturado	El volumen anual de agua medida y / o no medida tomada por los clientes registrados, el proveedor de agua y otros que están autorizados a hacerlo.
Consumo autorizado no facturado	El Consumo autorizado que puede ser medido o no y es legítimo, pero no facturado y por lo tanto no genera ingresos. Este puede incluir agua suministrada a instituciones de forma gratuita.
Pérdidas de agua	La diferencia entre el Volumen de entrada del sistema y el Consumo autorizado, que consiste en Pérdidas aparentes y Pérdidas reales.
Pérdidas aparentes	Consumo no autorizado, todos los tipos de imprecisiones de medición y errores sistemáticos de manejo de datos.
Pérdidas reales	Los volúmenes anuales se pierden a través de todo tipo de fugas, roturas y desbordamientos en la red, depósitos de servicio y conexiones de servicio, hasta el punto de medición del cliente.
Agua Facturada	Componentes del volumen de entrada del sistema que se facturan y producen ingresos.
Agua No Facturada	La diferencia entre el Volumen de entrada del sistema y el Consumo autorizado facturado

Fuente: AWWA

2.2. Distritos de medición (DMA)

El Distrito de medición (DMA) o distrito hidrométrico (DHM) es un área definida, la cual está dividida en zonas dentro de una red de abastecimiento de agua potable, donde estos sub-sistemas son abastecidos por una o varias líneas principales de distribución y se administran mediante válvulas de cierre, esto puede utilizarse para precisar el diagnóstico, detectar fugas, optimizar el control y facilitar la eliminación de pérdidas de agua de una localidad (Tormo Clemente & Blanca Giménez, 2014). El concepto de

distritos de medición es un concepto que ha sido estudiado desde inicios de 1980 por la 'UK Water Industry' en el 'Report 26 Leakage Control Policy & Practice', en este informe se definen los conceptos involucrados en los distritos de medición, y como una de las metodologías más efectivas para la reducción de fugas y optimización de sistemas (Hoyle, 2010).

El principio clave detrás de la gestión de DMA, para determinar el nivel de fuga dentro de un área definida de la red de agua, es a través del caudal suministrado. El establecimiento de distritos de medición permitirá determinar los niveles actuales de fugas y, en consecuencia, priorizar las actividades de localización de fugas (Hamilton, 2008), ya que el enfoque tradicional ha sido pasivo y la fuga se repara sólo cuando es visible. En el gráfico 3 se muestra un esquema típico de una red que está agrupada en varios distritos medición, estos forman parte de un macro-sector hidráulico. Los sectores son creados con ayuda de válvulas de cierre se crean las fronteras y se delimitan los circuitos entre sectores, también se observa que las líneas que alimentan a los sectores cuentan con caudalímetros en la entrada y pueden ser abastecidos por una o múltiples entradas. Además, dependiendo de las características de la red, el distrito puede ser un área discreta, es decir, a partir de este no se abastece a DMA's adyacentes o puede ser un área que provee a distritos adyacentes (EPA, 2007), tal como se muestra en el gráfico 3.

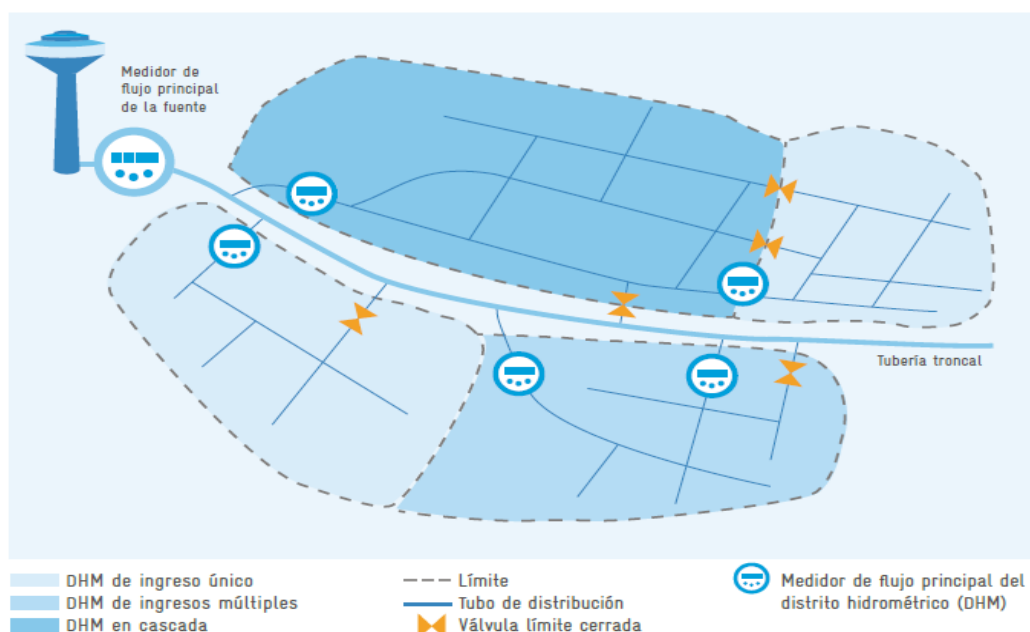


Gráfico 3. Esquema típico de DMA

En la gestión de los distritos de medición deben efectuarse mediciones de caudal y presión, por lo tanto, es indispensable tener una base de datos que involucre el manejo de los sectores, datos de campo, quejas que se puedan registrar acerca la calidad del servicio del sector y tener identificados en la zona de estudio las válvulas existentes, verificando el estado en que se encuentran. El desarrollo de instrumentos acústicos ha mejorado significativamente la situación, permitiendo que las fugas invisibles se encuentren, pero la aplicación de tales instrumentos a lo largo de toda la red de agua es una actividad costosa y demanda tiempo (IWA, 2007).

2.2.1. Dimensionamiento de DMA

Los distritos de medición se pueden llevar a cabo de diferentes maneras y con diversos niveles de partición (UK Water Industry Research, 1999). En particular, la medición en los DMA puede ser temporal, con referencia a la duración del tiempo, y puede tener diferentes tamaños en función de sus objetivos específicos ya sea administración del sistema, balance hídrico o manejo de la presión (Di Nardo, Di Natale, & Di Mauro, 2013).

Es preciso que previo al dimensionamiento de los distritos de medición se creen macrosectores permanentes. La cantidad de usuarios dependerá de algunos factores como: zonas de presión, distribución de las áreas de abastecimiento y las condiciones hidráulicas del terreno, no es importante que el dimensionamiento incluya la misma cantidad de predios (Farley & Trow, *Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*, 2003). La AWWA (2007) indica, que los macrosectores pueden contener desde 10.000 hasta 50.000 predios.

Durante el período de dimensionamiento, es importante realizar un esquema para el manejo de los DMA, en el cual se debe incluir una revisión de la infraestructura. Habitualmente, el diseño comenzaría desde la red principal y se extendería hacia la red de distribución, con el objetivo es agrupar tantos DMA como sea posible derivados del sistema principal, de esta forma mejora el control desde el primer sector hasta el sector más lejano (IWA, 2007).

Asimismo, el tamaño del DMA esta expresado por el número de predios o casas dentro del sub-sistema, por lo tanto, la dimensión de una zona urbana esta entre 500 y 3.000 predios y un distrito de medición como máximo podría llegar a tener 5.000 casas, aunque esto dificultará el diferenciar las pequeñas fugas de la hora de menor consumo. Butler (2000) determinó que un distrito permanente podría tener de 2.500 a 12.500 habitantes con una longitud de red de agua potable entre 5 a 30 km. Farley (2008) establece que el diseño es subjetivo y dependerá del diseñador, además, que el tamaño del distrito de medición generalmente esta entre 1.000 hasta 2.500 número de conexiones. Se debe considerar que en zonas donde la infraestructura es deficiente y con una alta incidencia de fugas un valor recomendable de predios será de solamente de 500 conexiones por DMA. La dimensión del DMA influirá en el nivel de fugas que se puede identificar, un DMA con mayor número de predios es susceptible a tener más fugas y un consumo nocturno mayor.

Tabla 3. Dimensiones de DMA en función del sector

Tamaño DMA	No. De Predios	Zona
Pequeño	< 1000	Rural
Medio	1000 - 3000	Urbana
Grande	3000 - 5000	Urbana (Alta densidad poblacional)

Fuente: Water Industry Research Ltd.

En la etapa de diseño de los sectores es recomendable crear un modelo de hidráulico como ayuda en la optimización del sistema, con esto será posible identificar partes de la red que presenten sobredimensionamiento o que requerirán una evaluación para garantizar que no se generen problemas en la calidad del agua.

2.2.2. Ubicación y cuantificación de fugas en DMA

Las fugas que se presentan a lo largo de una tubería, en su mayoría, solo llegan a ser detectadas cuando se encuentran visibles, para las empresas encargadas del abastecimiento de agua potable es de suma importancia el determinar el origen de estas, es decir, donde se localiza y cuanta es la pérdida que la misma ha generado. Se han desarrollado equipos con los cuales se pueden situar las fugas de manera eficiente, descubriendo las fugas en un nivel en que aun no es visible sobre el suelo (AWWA, Water Audits and Loss Control Programs, 2009). El control activo de fugas emplea dos metodologías para la identificación de estas las cuales son:

- **Métodos acústicos:** Esta es ejecutada mediante el uso de dispositivos auditivos sensibles, ya que permite captar el sonido del agua mientras esta escapa del sistema a presión. Las fugas pueden ser identificadas y señaladas con ayuda de esta técnica, aunque la cantidad perdida a través de la fuga no puede ser cuantificada.
- **Mediciones de caudal:** Mediciones realizadas en diferentes puntos del sistema de distribución, para el planteamiento de hipótesis, con lo cual se puede realizar estimaciones y cuantificar las fugas existentes en un área determinada. Esta metodología puede ser usada para el control del sistema y conocer si se generan nuevas fugas, aunque no se puede determinar la ubicación del punto con exactitud.

2.3. Step test

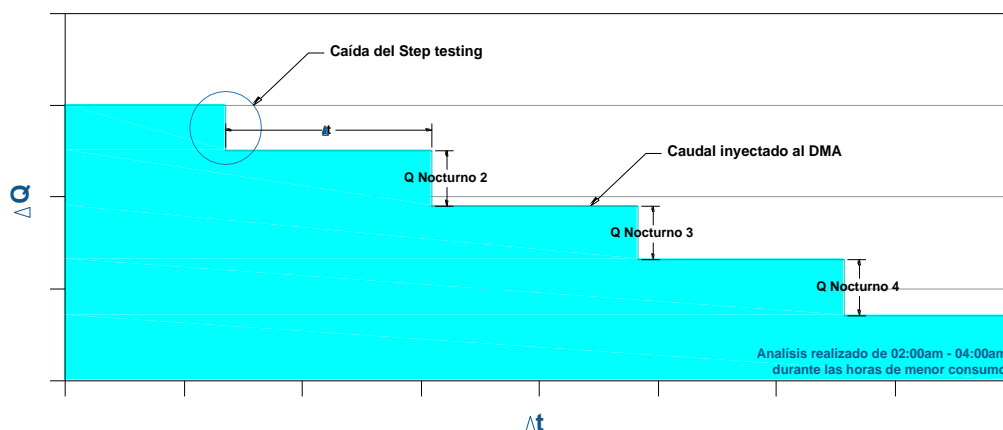


Gráfico 4. Mediciones del Step Test

El step test es una herramienta usada por la 'UK Waster Industry', la cual ayuda a la detección de fugas dentro de un DMA en una red de distribución y realizado mediante mediciones de caudales en la hora de menor consumo. El método busca identificar las zonas con mayor concentración de fugas, en sitios donde el sonido de las fugas es absorbido y métodos acústicos convencionales son poco eficientes (Boulos & Aboujaoude, 2011). El step test implica el cierre de secciones del tramo principal del DMA o zona de estudio. Las válvulas son cerradas, de forma secuencial, para impedir el paso de caudal, esto es conocido como 'steps o escalón', que indica cual es la cantidad de agua que ha ingresado a la zona antes del cierre de la válvula, de tal forma que el valor de cada step estará asociado a la demanda total (usos nocturnos + fugas) de un tramo de tubería aislada durante la prueba (Molina, 2014). Por lo tanto, es importante contar con información de los usuarios para una estimación del consumo nocturno de los usuarios, debido a que los datos de consumo de los usuarios son comparados con la caída del flujo, entonces cuando se presente una sección con una fuga, se observará una caída desproporcional en el gráfico de los caudales de entrada. Este método requiere del uso de caudalímetros y data loggers, los mismo pueden ser ubicados de forma permanente, de ser necesario, para que el caudal inyectado al sector hidráulico se encuentre bajo constante monitoreo y así poder observar las variaciones de los consumos.

2.3.1. Consideraciones del step test

- Cada zona requerirá un plan que identifique: la longitud de los tramos que serán usados, las válvulas que deben ser cerradas, junto con el orden en que estas serán cerradas. El plan deberá ser usado en todos los test que se realicen en la dentro de la zona de estudio, sin realizar cambios en la misma, de esta forma crear una base de datos con la cual se puedan efectuar comparaciones entre ensayos.
- Antes de comenzar con el step test, todas las válvulas deben ser localizadas, una vez realizado esto se deberá revisar las condiciones de las válvulas. Esto incluirá asegurar que la válvula sea accesible y operable.
- Es importante que el test cuente con un número óptimo de 'steps'. Esto dependerá totalmente del tamaño de la zona de estudio, debido a que un número insuficiente ensayos podría no lograr la detección y reducción de fugas en el tiempo y en costos deseados, y numerosos ensayos también pueden tomar mucho tiempo y la velocidad de la fuga puede ser insignificante para el caudalímetro. A partir de estudios se determinó que, para distritos pequeños, hasta de 1000 predios, el sector deber ser dividido en 'steps' no menores a 10 'steps', en distritos más grande es importante que ejecuten tantos 'steps' como sean necesarios (National Water Council, 1980).
- Se debe ejecutar un cálculo previo del consumo de los usuarios, de esa forma se determinará un rango típico demanda por parte de los consumidores.
- El step test deberá ser ejecutado a la hora de demanda mínima, que por lo general se produce en la noche durante las 02:00-04:00.

2.4. Pressure step test

El pressure step test es realizado para determinar el valor del exponente de fugas (N1) para las distintas zonas del sistema de distribución, y de este modo a partir de N1 separar las pérdidas reales entre roturas y fugas de fondo (EPA, 2007). Esta prueba es ejecutada durante el caudal mínimo

nocturno, momento de menor consumo por parte de los usuarios y su principal objetivo es encontrar la relación fuga-presión de cada distrito de medición, debido a que existe una relación cercana entre la presión y las fugas.

La prueba se ejecuta en el suministro principal del sector, en donde la presión de entrada del área es reducida en "pasos", permitiendo que el sistema se estabilice antes de continuar con la siguiente reducción de presión, con lo que se reduce caudal de entrada en la zona medida mientras también es registrado. El valor de N1 es calculado directamente de las mediciones de caudal y presión de los 'steps' o cierres parciales, que son realizados dentro del sistema, para una misma prueba.

2.5. Conceptos técnicos asociados a pérdidas reales

2.5.1. FAVAD (Fixed and Variable Area Discharge Paths)

La teoría de FAVAD o de los trayectos de descarga de área fija y variable fue propuesta en 1994 por John May, en la cual mostró la relación presión-fuga dentro de las redes de agua potable (Thornton & Rizzo, 2002) y demuestra que el área de sección transversal para algunos tipos de trayectos de fugas, tal como orificios, fallas en conductos, juntas y accesorios podría también variar con la presión, mientras que la velocidad de flujo continua variando en proporción a la raíz cuadrada de la presión (Lambert, Myers, & Trow, 1998). La ecuación de Torricelli describe la conversión de energía de presión potencial a energía cinética en condiciones de pérdida de energía cero. En un orificio real, el área efectiva del orificio se reduce debido a que el chorro del flujo se contrae aguas abajo del orificio y las pérdidas de energía por fricción. Para tener en cuenta estos factores, en la ecuación interviene el coeficiente de descarga C_d . Entonces, la ecuación de Torricelli es la base para la relación presión-fuga, y puede ser descrita como:

$$Q = C_d A \sqrt{2gh}$$

Donde Q es el caudal de fuga a través del orificio, C_d es el coeficiente de descarga del orificio, A es la sección transversal del orificio, g la aceleración debida a la gravedad, y H la pérdida de carga entre los puntos ubicados aguas arriba y aguas abajo del punto de descarga (Clayton & Van Zyl, 2007). Las fugas dentro de una red de agua potable pueden estar representadas mediante la ecuación anterior, aunque el comportamiento de una fuga es más complicado que el flujo a través de un orificio, por lo tanto, esta ecuación no proporciona un modelo satisfactorio para el comportamiento de fugas en un sistema a presión (Van Zyl & Cassa, 2013). Como resultado de lo anterior, se ha adoptado una ecuación de fugas más generalizada:

$$Q = Ch^{N1}$$

En donde C es el coeficiente de fuga y $N1$ es el exponente de fuga. El comportamiento de las fugas depende de muchos factores, incluidos los materiales de las tuberías, el tipo de aberturas de fuga o grietas, el tamaño de las tuberías, la presión en las tuberías y el sistema hidráulico del suelo (Skipworth, Saul, & Machell, 1999). May (1994) propuso que, la naturaleza de la expansión o contracción de cualquier fuga podría estar gobernada por un sin número de factores, desde el tipo de junta hasta las condiciones de sitio, en la cual llegó a la conclusión que es razonable suponer una relación lineal entre los trayectos de fuga y la presión.

2.5.2. Exponente de fuga (N1)

El exponente de fuga es un valor que ha sido obtenido a partir de numerosos análisis de campo y es representado como el factor de potencia para todas las pérdidas de distribución en el sistema que está influenciado por la presión. Es posible determinar el valor del exponente de fugas partiendo de las mediciones de caudal de fuga y la presión durante 24 horas en el AZP, procedimiento conocido como pressure step test, debido a que la presión tiene influencia sobre el comportamiento de las fugas (AWWA, Water Audits and Loss Control Programs, 2007). El material de las tuberías tiene un rol importante en el comportamiento de las fugas en las líneas de conducción,

porque los conductos fallarán de una forma determinada, esto en función de las propiedades del material. Si en una tubería existen pequeñas grietas o fisuras en la que no se observan fugas durante el intervalo de presiones bajas, pero expuestas a presiones altas y grandes temperaturas pueden abrirse para crear nuevas fugas. El exponente de fuga puede ser alcanzado a través del pressure step test mediante la siguiente ecuación:

$$N1 = \frac{\log\left(\frac{Q_{f1}}{Q_{f0}}\right)}{\log\left(\frac{P_1}{P_0}\right)}$$

Donde Q_{f0} y P_0 son respectivamente el caudal de fuga y la presión inicial del sistema, mientras que Q_{f1} y P_1 son los valores que serán medidos. Con la ayuda del pressure step test se han determinado diversos valores para el exponente de fuga, estos pueden variar de 0.5 a 2.79, en redes compuestas de materiales rígidos como acero debe usarse 0.5, en el caso de tuberías flexibles se debe usar el valor de 1.5 y en redes con una mezcla de materiales, $N1$ tendrá un rango entre 0,5 y 1,5 dependiendo del tipo de materiales y del Índice de fugas estructurales (IFE) (Thornton & Lambert, Progress in Practical Prediction of Pressure: Leakage, Pressure: Burst Frequency and Pressure: Consumption Relationships., 2005)

Tabla 4. Exponentes de fugas ($N1$) en según el tipo de falla y material

Tipo de falla	Exponente de fuga por tipo de material		
	PVC	Asbesto cemento	Acero
Agujero circular	0.524	-	0.518
Falla longitudinal	-	0.79 - 1.04	-
Grieta circular	0.41 - 0.53	-	-
Corrosión	-	-	0.67 - 2.30

2.5.3. Punto de presión promedio (AZP)

El AZP es un punto físico, dentro de un distrito de medición en la red de distribución, el cual puede considerarse como la presión promedio representativo del mismo, que debido los caudales puede variar en forma

horaria, diaria y estacional. Es un componente esencial para el análisis del caudal mínimo nocturno debido a que puede ser usado para estimar el caudal de fugas (EPA, Leakage Management Technologies, 2007). En los sectores, las presiones se miden a menudo en su punto más crítico, y las entradas a los sectores. Sin embargo, para los cálculos de la presión promedio y para el análisis de los flujos nocturnos es esencial identificar un punto del AZP dentro de cada zona, donde el AZNP debe ser medido. El AZNP es la presión promedio de servicio, característico de durante el periodo de caudal mínimo nocturno (International Leakage Management Support Services, 2003).

El AZP puede ser obtenido mediante una media ponderada de todas las presiones o a partir de las elevaciones del área de estudio, mediante los siguientes pasos:

- Se debe determinar el nivel medio del suelo en función de los accesorios que existen en la infraestructura, para el cálculo simplificado del AZP se usa curvas de isopresión, que registran la elevación por rangos de presiones de la zona en conjunto con el número de usuarios registrados para cada banda de contorno.
- Con los datos obtenidos registran en una tabla en la cual se multiplicará la elevación promedio para su respectivo número de conexiones y se suman los resultados obtenidos.
- El resultado de suma anterior se dividirá para la sumatoria de conexiones existentes, y con esto se obtiene el nivel medio del suelo. Se debe identificar el punto obtenido en las curvas de isopresión y con esto se obtendrá la ubicación del AZP.
- Se deben realizar medición de presiones en el AZP en un periodo mínimo de 24 horas.

2.5.4. Caudal mínimo nocturno

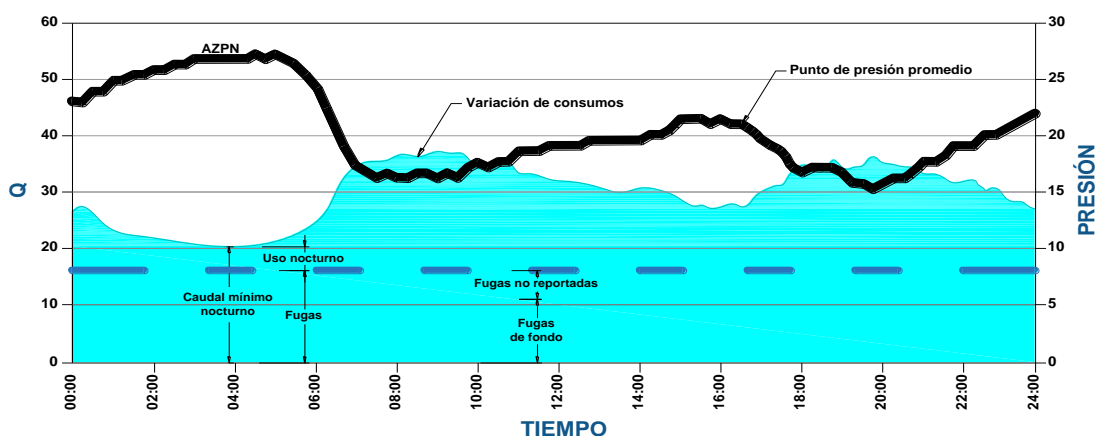


Gráfico 5. Curva del caudal para un periodo de 24h y sus componentes

El Caudal mínimo nocturno (CMN) es una herramienta para la estimación de pérdidas reales en los DMA, el cual realiza el análisis de los consumos realizados durante toda la noche y ayuda a determinar el nivel de pérdida del DMA, es posible identificar los problemas que ocurren en la red simplemente observando las variaciones de caudal de este. El consumo mínimo en áreas urbanas ocurre usualmente alrededor de las 2 y las 4 am, donde estudios determinan que el 6% de la población se encuentra activa. Durante el período del caudal mínimo nocturno (CMN) el caudal consumido por los abonados es el menor registrado de todo el día, por lo que las pérdidas reales constituyen el mayor componente del caudal inyectado a la red (Molina, 2014). La estimación de las pérdidas reales se efectúa restando una cantidad estimada de consumo nocturno legítimo para cada usuario conectado en la zona de estudio.

La metodología del flujo nocturno básicamente requiere dos tipos de cálculos, primero el cálculo de las pérdidas de agua a la hora de caudal mínimo nocturno (CMN), calculadas deduciendo el consumo nocturno de los usuarios del flujo nocturno medido. En segundo lugar, una vez que se han determinado las pérdidas de agua a la hora mínima de flujo nocturno, éstas deben ser extrapoladas durante todo el período de 24 horas. Esta extrapolación se lleva a cabo usando la ecuación que relaciona el caudal y la presión junto con las mediciones de la presión a lo largo del día en un punto significativo de la red, que debe ser el AZP.

Tabla 5. Componentes del caudal mínimo nocturno

Caudal mínimo nocturno (CMN)	Caudal consumido	Uso nocturno	Consumo doméstico
			Consumo no doméstico
			Consumidores especiales
	Pérdidas en el sistema de distribución	Pérdidas nocturnas facturadas	Pérdidas en el interior del predio
			Pérdidas en el exterior del predio
		Pérdidas en acometidas	Fugas reportadas y no reportadas
	Pérdidas la línea de distribución		
	Pérdidas en almacenamiento		

En la tabla anterior se muestra la composición del caudal mínimo nocturno y describe cada uno de los elementos que componen, los principales componentes del consumo nocturno están divididos en:

- **Consumo doméstico nocturno:** Este representa el consumo realizado en los predios durante la noche y pertenece predominantemente al uso de baños. Por experiencia se conoce que durante las horas de la noche solamente un 6% de la población se encuentra activa. El WRC en el 'Report E' se sugiere que el consumo es de 1.7 l/predio/hora o 0.6 l/persona/hora.
- **Consumo no doméstico:** Pertenece a consumos realizados por pequeños negocios, dentro de la zona de estudio. Es uno de los consumos más difíciles de estimar y depende del tipo de negocio, ya que si analiza de forma individual podría llegar ser muy pequeño, aunque en conjunto puede ser importante.
- **Consumidores especiales:** En algunas de las áreas de estudio, se puede encontrar consumidores, como el sector industrial que tiene mucha influencia sobre el DMA, por lo que este tipo de usuarios

deben ser analizados de forma individual para determinar cuál es la cantidad de caudal utilizado durante las horas de estudio.

2.5.4.1. Factor Noche-Día

Se puede estimar el caudal diario de pérdidas a partir del 'Night-Day Factor' o factor de fuga diario, que es un valor que representa el cambio en el caudal fugado a través del tiempo y es proporcional a la variación de la presión de la red (Escobar, 2011). Las pérdidas no son iguales a lo largo del día. La razón es que el caudal depende de la presión, y esta a su vez depende del consumo. Mientras mayor sea el consumo por parte de los usuarios, menor será la presión, y por lo consiguiente las pérdidas tanto por fugas como por pérdidas de fondo (IWA, 2007). Por esta razón, para calcular las pérdidas diarias partiendo de un caudal mínimo nocturno medido, este último se debe multiplicar por el Factor Noche-Día, que tenga en cuenta las variaciones de presión que se dan a lo largo del día (Guerrero Erazo & Arango Jaramillo, 2008). Entonces, para el cálculo del volumen de fuga diario, es necesario obtener las variaciones de presiones para un periodo de 24 horas en el AZP y es determinado con la siguiente ecuación:

$$FDN = \sum_{i=0}^{24} \left(\frac{\bar{P}}{\bar{P}_{CMN}} \right)^{N1}$$

En donde \bar{P} es la presión promedio que es registrada durante cada hora, \bar{P}_{CMN} es la presión promedio a la hora de caudal mínimo nocturno y N1 el exponente de fuga. Por lo tanto, el caudal de fuga promedio es obtenido a partir del caudal de fuga, obtenido del step test, y el factor noche-día, a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_{f \text{ Prom}} = Q_f \times FDN$$

En distritos de medición con suministros a gravedad, el factor día-noche es usualmente menor o igual a 24 horas por día, y para sistemas de gravedad de baja presión con grandes pérdidas de carga por fricción, este puede ser tan bajo como 12 horas por día. Sin embargo, para distritos de medición con

suministros a presión directa, o aquellos con dispositivos de modulación de presión (basados en tiempo, o flujo), el NDF es usualmente mayor de 24 horas al día, y puede ser tan alto como 36 horas por día. Si la presión en la red es constante el valor del FDN es 24 (IWA, 2007).

2.6. Gestión de pérdidas reales

En las redes de distribución frecuentemente se producen nuevas pérdidas, por lo que es importante realizar actividades que ayuden a la reducción de estas, estas deberán plantearse de tal forma en que las fugas se reduzcan y esta reducción se vea reflejada a nivel económico. Para el manejo de pérdidas reales se conocen 4 componentes en el manejo de fugas, estas son: control activo de fugas, gestión de la presión, gestión de la infraestructura y velocidad y calidad de las reparaciones. La gestión de pérdidas reales identifica los siguientes puntos: pérdidas reales existentes recuperables, nivel económico de fugas que describe el costo-beneficio de efectuar reparaciones y las pérdidas reales anuales inevitables.

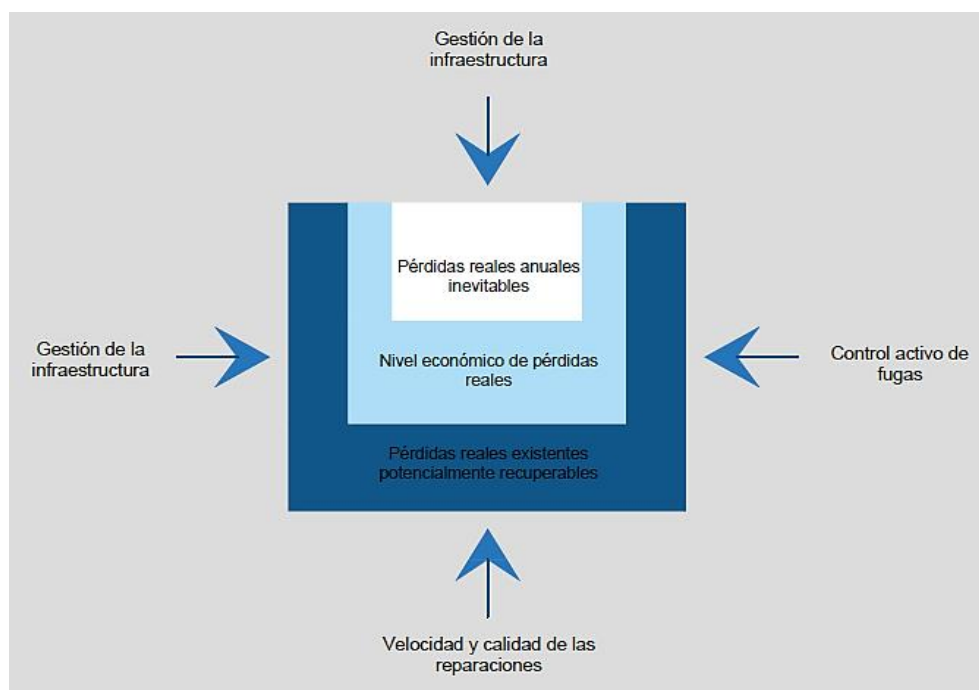


Gráfico 5. Componentes e indicadores de desempeño para el control de pérdidas reales.

2.6.1. Indicadores de desempeño operacional para pérdidas reales

El Indicador de Desempeño Operacional sirve como una herramienta útil para el seguimiento del desempeño y establecer objetivos para controlar las pérdidas reales (EPA, 2010). El Indicador de Desempeño Operacional de Pérdidas Reales se define como el volumen anual de pérdidas reales de la auditoría del agua dividido por el número de conexiones de servicio al cliente y están relacionadas a la longitud de la red. Si se tiene un volumen de pérdidas reales, habría que identificar el valor del beneficio económico, ya que este volumen de agua perdida pueda ser insuficiente para justificar una intervención, pero si no es así deben merecer atención de las entidades gestoras, ya que significa que la red no está en buenas condiciones (Alegre, Texeira Coelho, Almeida, & Viera, 2005).

Es un hecho ampliamente aceptado que una tasa porcentual de pérdida de agua (tasa de pérdida de agua [%] = pérdidas de agua reales anuales QPR / ingreso al sistema QI) no es un indicador de desempeño técnico conveniente porque no considera la longitud de la red de distribución, el número de conexiones de servicio y la presión del sistema. Por lo tanto, se recomienda indicar pérdidas de agua específicas en proporción a la longitud de la red (DVGW, 2003).

2.6.1.1. Indicadores tradicionales

Los indicadores simples y tradicionales que se utilizan generalmente en todo el mundo para comparaciones del volumen anual de pérdidas reales incluyen:

- Porcentaje del volumen entrante.
- Pérdidas por unidad de longitud de conducto y por unidad de tiempo.
- Pérdidas por consumidor y por unidad de tiempo.
- Pérdidas por longitud total de tuberías y por unidad de tiempo (en que la longitud total de conducto incluye la longitud de ramal hasta el medidor del consumidor).

Vale la pena señalar que, los parámetros que incluyen la longitud de los tramos son más recomendables a los que utilizan número de consumidores atendidos, ya que una parte significativa de las pérdidas reales ocurren en las acometidas de los predios y no a lo largo de sistema.

2.6.1.2. Indicadores técnicos

La metodología de auditoría de la AWWA / IWA divide en cuatro indicadores de desempeño indicadores que ayudan a caracterizar las pérdidas reales de los sistemas de distribución. Estos indicadores de desempeño son las pérdidas reales anuales actuales, el Indicador de Desempeño Operacional de las Pérdidas Reales, las Pérdidas Reales Inevitables Anuales (PRAI) y el Índice de fugas de infraestructura (ILI).

- **Pérdidas reales anuales actuales (PRAA):** El WLTF de la IWA desarrolló la ecuación de pérdidas reales anuales actuales (PRAA) o CARL por sus siglas en ingles de ‘Current Annual Real Leakage’, que ha sido adoptada por varias asociaciones técnicas nacionales y servicios públicos en todo el mundo en los últimos años. El índice PRAA también es válido para las redes de distribución de agua con suministro intermitente cuando se toma en cuenta el número de días en los que el sistema está presurizado (Patrick Fallis, 2011).

$$PRAA = \frac{Q_{PR} \times 10^3}{N_{ds}}$$

Donde:

Q_{PR}	m ³ /a	Pérdidas reales anuales de agua
N_{ds}	-	Número de días en los que el sistema está presurizado

- **Pérdidas reales anuales inevitables (PRAI):** Es una realidad que las pérdidas reales anuales inevitables o 'Unavoidable Annual Real Losses' (UARL) en un sistema de abastecimiento, no pueden ser completamente eliminadas y a pesar de todas las labores que se efectúen para mejoramiento del sistema, siempre va existir un porcentaje de pérdidas inevitable de mejorar el valor del mismo dependerá de las políticas de las empresas encargadas del suministrar el servicio, el grupo de trabajo de la IWA estudio con detalle esta interrogante. El volumen estimado de pérdidas reales anuales inevitables representa el valor más bajo técnicamente alcanzado de fugas dentro de un sistema con una apropiada administración y bien conservada (Molina A., 2009).

Mediante la definición y el cálculo del caudal estimado de la PRAI, se pueden evaluar las pérdidas reales potencialmente recuperables como la diferencia entre la PRAA y la PRAI. Sin embargo, la investigación de la IWA en un gran número de sistemas, junto con datos operativos reales de muchos países, ha resultado en el desarrollo de una relación entre varios parámetros del sistema y la PRAI con una exactitud estadísticamente buena. La PRAI de un sistema está en función de la longitud del sistema de distribución, el número de conexiones de servicio, la longitud de las líneas de servicio y la presión media de funcionamiento del sistema.

$$PRAI = (18 \times L_R + 0.8 N_C + 25 \times L_P) \times P_P = (l/c. s. p \text{ día})$$

Donde:

L_R	km	Longitud de red principal	L_P	km	Longitud de tubos de servicio privados luego de la línea de propiedad
N_C	-	Número de conexiones de servicio	P_P	m	Presión de operación promedio

- **Índice de fugas estructurales (IFE):** El IFE es un indicador adimensional para el manejo operacional de las pérdidas reales, este indicador fue detallado en el manual ‘Best Practice’ de la IWA. Esta muestra en si se tiene una apropiada administración en una red de distribución, mediante una tabla creada a partir de estudios realizados.

$$IFE = \frac{PRAA}{PRAI}$$

Tabla 6. Pérdidas físicas en función de la presión de servicio

Categoría		ILI	Pérdidas físicas (l/conexión/día)				
			10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
Países en desarrollo	A	1 a 2	-	< 50	< 75	< 100	< 125
	B	2 a 4	-	50 a 100	75 a 150	100 a 200	125 a 250
	C	4 a 8	-	100 a 200	150 a 300	200 a 400	250 a 500
	D	> 8	-	> 200	> 300	> 400	> 500
Países en vías de desarrollo	A	1 a 4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B	4 a 8	50 a 100	100 a 200	150 a 300	200 a 400	250 a 500
	C	8 a 16	100 a 200	200 a 400	300 a 600	400 a 800	500 a 1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

Fuente: *Water Loss Management: Tools and Methods for Developing country.*

- **Categoría A:** Buena condición, en este punto la reducción de pérdidas precisa de un análisis económico cuidadoso para identificar el costo-beneficio de la reparación, ya que la reparación resulta más costosa que la fuga.
- **Categoría B:** Mejoras en puntos específicos, se puede considerar un control activo de fugas y mantenimiento correctivo en la red.

- **Categoría C:** Pobre condición, esta es tolerable si el agua en el sector es económica, se debe implementar de ser necesario un control de fugas y reparaciones para mejorar las condiciones de la red.
- **Categoría D:** Mala condición, uso de los recursos de forma ineficiente, en esta categoría el control de fugas no es una opción y se deben implementar programas que nos ayuden a la reducción de fugas a lo largo de la red.

CAPITULO III

3. PROPUESTA METODOLÓGICA

En la siguiente metodología se plantean estrategias para la reducción y control de pérdidas reales de agua en sistemas de abastecimiento urbanos del Ecuador. Esto se efectuará a partir del balance hídrico, macrosectorización y distritos de medición, el análisis del caudal mínimo nocturno, el factor noche-día y estimaciones del caudal de fuga promedio.

Los métodos nombrados anteriormente serán implementados en conjunto secuencialmente, los mismos ayudarán en la optimización de los recursos y operación del sistema considerando que la ejecución de este tipo de estrategias conlleva extensos periodos de análisis de las zonas, tanto en el estudio de patrones de consumo y las presiones de servicio en la infraestructura. La optimización del sistema está directamente afectada por la calidad de información que es obtenida.

Inicialmente se estableció que los factores más influyentes en las pérdidas reales en una red de abastecimiento residen en fugas de tuberías, acometidas de usuarios y falta de control en reservorios; al mismo tiempo estas pueden clasificarse en función del tipo y tiempo de fugas, el caudal de pérdidas reales es proporcional a estas condiciones y dependientes de las condiciones del sitio. Por lo tanto, para el control en las zonas de estudio se efectúa una macro sectorización preliminar, y mediciones de caudal y presión, hay que destacar esto como el punto de partida en el control de pérdidas reales. Además, con ayuda de un modelo hidráulico se puede simular las condiciones de una red, así como analizar los factores más influyentes en las pérdidas reales por distrito y proponer soluciones viables y económicas para la optimización del sistema. En esta propuesta se busca motivar a las empresas de agua a implementar métodos de control e identificación de pérdidas reales, sin embargo, debido a que en toda infraestructura existe un nivel de pérdidas reales anuales inevitables, se

recomienda que cada entidad establezca un nivel económico aceptable de pérdidas reales.

Los pasos que se deben seguir en la propuesta metodológica se resumirán en el siguiente esquema:

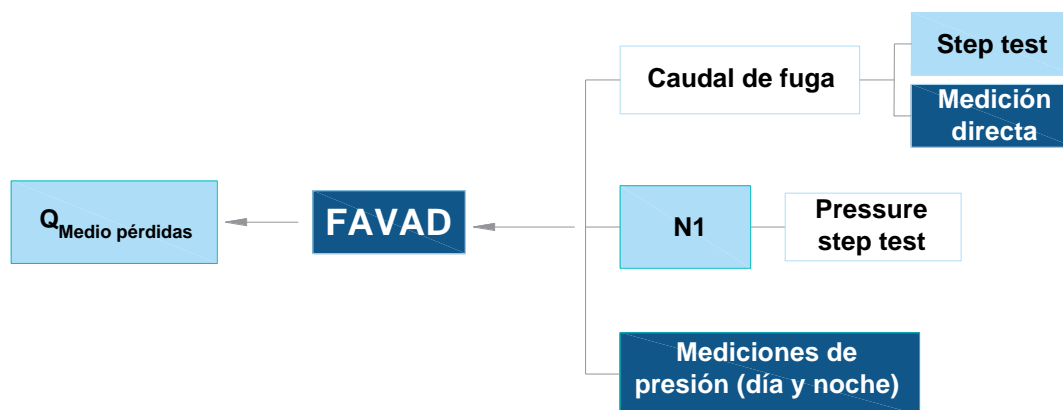


Gráfico 6. Esquema de principal de la metodología de trabajo

El objetivo principal de la metodología es la reducción y control de pérdidas reales a corto plazo, con lo cual se determinan las condiciones y los componentes que dan origen a las pérdidas reales. Inicialmente se procede a la distribución la red en macrosectores, para que luego los mismos sean subdivididos en distritos de medición, de ser necesario, pues depende de la configuración de la red, lo cual requiere de la ayuda de válvulas de seccionamiento en ambos casos. Las pruebas que deben efectuarse en los DMA son: step test, medición directa, que ayudan en la estimación del caudal de fuga, y pressure step test con el que se obtiene el exponente de fuga, todas estas pruebas son realizadas de forma independiente en cada distrito de medición. Además, se requiere del factor noche-día, que lleva el caudal de fuga nocturno a caudal medio de fuga, que es estimado también con ayuda de las mediciones de presión en el punto de presión promedio y el exponente de fuga.

3.1. Sectorización del sistema de abastecimiento

La primera parte de la metodología consiste en la sectorización hidráulica de la red de abastecimiento, que se efectúa en 3 fases: planeamiento de la

nueva configuración del sistema en macro sectores y distritos de medición, construcción de un modelo hidráulico digital y trabajos de sectorización en campo, partiendo del hecho de que estas son herramientas esenciales para el correcto funcionamiento del sistema, pero teniendo en cuenta que las labores de campo deben realizarse a cabalidad, todos los trabajos que se realicen en el sistema debe ser registrado.

Planeamiento de la macro sectorización y sectorización en distritos de medición del sistema de abastecimiento de agua potable

Se dispone a formar los macro-sectores de medición, de los cuales la AWWA (2007) recomienda que estos pueden contener desde 10.000 hasta 50.000 máximo, los mismo se utilizarán para la creación de los distritos de medición. En el diseño de los sectores, un equipo técnico replantea fronteras de las zonas en función de las curvas de isopresión y los usuarios/predios, donde la cantidad de predios dependerá de la configuración, condiciones físicas en que se encuentra la infraestructura de la red y del criterio del equipo de trabajo. Además, en los distritos de medición o microsectores, Farley (2008) considera que el tamaño de estos varía entre 2.500 a 1.000 y Butler (2000) recomienda hasta 12.500 usuarios, esto para una red con una longitud de 5 a 30 km. Los distritos de medición al igual que en los macro-sectores, se abastecen en puntos previamente analizados y los diámetros de las líneas que los abastecen deben ser calculados y considerarse en función de los siguientes factores: cantidad y tipo de consumo de los usuarios, considerando las horas de mayor consumo. Para los distritos de medición es recomendable tener la menor cantidad de líneas de abastecimiento posible, por lo general recomiendan que idealmente deberían tener como máximo dos fuentes de abastecimiento.

En la administración, control y delimitación de fronteras de los macrosistemas y distritos de medición son usadas válvulas de cierre que permiten establecer zonas independientes, ya que no debe existir líneas contiguas entre los sectores, si ese es el caso la línea puede ser clausurada o cerrada con una válvula de seccionamiento, también los distritos de medición pueden subdividirse internamente para mejorar el control de fugas.

Para el control de los sectores, pueden realizarse mediciones permanentes con equipos de medición de caudal y presión en la entrada y disponer de data loggers para la recolección de datos de medición, esto de necesario, aunque que muchas veces no se cuenta con el equipo necesario, pero una alternativa es la construcción de cámaras de medición. Al concluir las propuestas de sectorización, se deben verificar que todos los cambios efectuados a la estructura de la red tengan un comportamiento hidráulico 'ideal', es decir que el punto más lejano del abastecimiento cumpla con las condiciones mínimas de servicio, esto puede ser verificado mediante un modelo hidráulico digital, antes de comenzar con las labores de sectorización en campo.

Criterios de diseño

- Información completa de la estructura de la red, en la que se requiere: detalle de la línea principal y ubicación de los accesorios.
- Verificar el estado de las conexiones en accesorios.
- Prestablecer los puntos de abastecimiento.
- Para determinar el tamaño del distrito de medición se requiere conocer qué tipo de consumidores presentes en el área, con esto se realiza esquema que indique: delimitación de las zonas, en función de las cotas del terreno y el tipo de consumidores de la zona. Esto ayudará a identificar las zonas con tendencias a problemas.
- Para dividir un sistema grande abierto en una serie de distritos de medición, es esencial la instalación de válvulas de seccionamiento para aislar un área determinada, tramos de tuberías adicionales, de ser necesario, e instalar medidores de flujo en puntos previamente establecidos. Este proceso puede afectar las presiones del sistema, tanto dentro de ese DMA particular como en distritos próximos. Por lo tanto, el servicio de agua debe garantizar que el suministro de agua a todos los clientes no se vea comprometido en términos de presión y horas de suministro (Farley, Wyeth, & Istandar, *The Manaher's Non-Revenue Water Handbook: A Guide to Understading Water Losses*, 2008).

Construcción de un modelo hidráulico digital

Mediante la aplicación de un modelo hidráulico digital permite recrear las condiciones en que se encuentra la red y como cambiará la misma en función la nueva propuesta de la sectorización, además esto ayuda a la optimización del sistema de abastecimiento. Existen programas especializados en modelos hidráulicos que tienen la ventaja de poder asignar las demandas de los usuarios ya sea por nodo o con el uso de sistemas de información geográfica, lo cual facilita el manejo de información y exponen los puntos susceptibles a problemas que solo pueden ser encontrados durante las pruebas de campo y labores de sectorización, así como:

- Válvulas que no cumplen su función correspondiente (se encuentran abiertas que deben estar cerradas o viceversa).
- Disminución del flujo o pérdidas en la presión debido a válvulas parcialmente cerradas o elevadas incrustaciones.
- Verificar si es necesario una rezonificación para eliminar inversiones de flujo o áreas de baja presión.
- Zonas con mayor incidencia de fugas.

Durante la formación del modelo hidráulico es importante contar con la información obtenida de la investigación preliminar, tanto de los datos elevación del terreno, de la infraestructura (tuberías, reservorios, válvulas existentes, estaciones de bombeo), en donde las tuberías son representadas por líneas, a las cuales se les asignan las características principales de la red, como: diámetro, longitud, material. Además, las conexiones entre tuberías son graficadas como nodos, estos con sus respectivas elevaciones del terreno. Por lo tanto, las tareas que deben efectuarse en la construcción del modelo son:

- a) Trazado y asignación de las características de los elementos que componen la red. Se recomienda que el modelo sea una simulación dinámica no inercial, conocidas como análisis en periodo extendido, con lo cual se puede observar los cambios a través del tiempo.

- b) Ejecutar una simulación preliminar para evaluar las condiciones previas a la sectorización y realizar comparaciones con datos obtenidos de muestreos de campo.
- c) El proceso de sectorización en el modelo consiste en las siguientes actividades: remoción, clausura, cambio de diámetros e instalación nuevos tramos de tuberías, así como de la implementación de válvulas en sitios que son requeridas, con el fin de crear zonas nuevas e independientes para mejorar el control del sistema de abastecimiento.

El objetivo principal de la modelación hidráulica es simular las condiciones actuales del sistema, la cual permite observar de forma más extensa los cambios a través del tiempo de caudal y presión, que son producto de las variaciones de consumo. La simulación ayuda durante el proceso de sectorización en la etapa de delimitación de fronteras, debido a que genera resultados inmediatos y permite simultáneamente implementar mejoras a la propuesta planteada. También, permite comprobar que los resultados este en rangos admisibles de presión y no se presenten deficiencias en caudal, para que la propuesta cumpla con los parámetros propuestos por la entidad reguladora en calidad de servicio.

Materialización en campo

Las labores de la sectorización consisten en ejecutar lo planificado y simulado durante la etapa de diseño y la construcción del modelo hidráulico. La materialización de los sectores en campo está compuesta por todas las actividades indispensables para lograr la sectorización, que va desde ubicación de válvulas e instalación, cambio o instalación de nuevas líneas abastecimiento. Previo a la fase de sectorización es necesario corroborar la maniobrabilidad de todas las válvulas involucradas en el proceso de sectorización. El 'Zero pressure test' es la prueba que se realiza con el fin de corroborar que los sectores hidráulicos son áreas aisladas, y se realiza verificando que las presiones en los nuevos sectores lleguen a cero. Para comenzar con las pruebas es necesaria la siguiente información:

- Planos de la sectorización, donde deben estar ubicadas las válvulas utilizadas para delimitación de fronteras en los distritos de medición, también la(s) válvula(s) de entrada(s) de los sectores.
- Informar y organizar al equipo de técnico de campo, con el fin de que estos conozcan las actividades que deben realizar en los sectores y cuente con la información y equipo necesario para la ejecución de las labores.
- Instalación de equipos medidores de presión.
- Programar la prueba en horas de menor afectación a los usuarios, que es desde las 23:00 a 5:00 e informar a los usuarios y autoridades.

El procedimiento tradicional de esta prueba es el siguiente:

- a) Mediciones de presión dentro del sector de estudio, que deben efectuarse a la entrada y en diferentes puntos, establecidos por el equipo de trabajo y estos pueden ser hidrantes y los medidores de los usuarios. Estos puntos son utilizados a lo largo de la prueba.
- b) Se procede al cierre de válvula de entrada al sector.
- c) Se debe verificar que la presión de la zona inmediatamente descienda a cero, si es así el distrito de medición está correctamente zonificado.
- d) En caso de existir registro de presión del sector, esto puede significar que: existe presión remanente en la tubería o existe un predio no registrado en esa zona, se espera aproximadamente 5 minutos y si la presión no ha caído se realiza una segunda verificación, de la siguiente forma:
 - Ubicar un hidrante en la zona de estudio.
 - Dar apertura a un hidrante para eliminar la presión remanente del área, realizar esto cuando aún la válvula de entrada se encuentra cerrada, esto provoca que la presión llegue a cero. La presión debe de mantenerse en cero una vez cerrado el hidrante.
 - Si la presión no llega a cero también puede significar que algunas de las válvulas no se encuentran herméticamente cerradas, por lo tanto, si los datos obtenidos en la segunda

prueba no llegan a cero se requiere una inspección de estas.

- e) Una vez completada la prueba se comienza la apertura de las válvulas cerradas y al finalizar se verifica que el servicio a los usuarios este completamente restablecido.

Como parte final de las tareas involucradas de sectorización del sistema, es necesario realizar planos finales en base a la nueva sectorización, donde se especifique los límites y especificaciones del funcionamiento de los sectores hidráulicos.

Implementación de macromedición

El control del caudal y presión en la red de distribución es parte fundamental en los sectores, por lo que es preciso el uso e implementación de equipos de medición y de recolección de datos con el fin de obtener y analizar los datos registrados. Además, los datos obtenidos de las mediciones pueden ser comparados con los resultados de la modelación hidráulica para evaluar el comportamiento de la red.

Caudalímetro

Es un equipo cuya función es registrar el caudal proporcionado a los sectores, los mismos que deben estar situados en las entradas de los macro sectores y en los distritos de medición. Asimismo, se puede incluir puntos adicionales de medición dentro de los distritos de medición. El objetivo de las mediciones es conocer el caudal entregado a los sectores, del cual se establece el consumo mínimo, máximo y promedio. Algunos de los caudalímetros que se pueden mencionar son: electromagnético, ultrasónico y Woltman. Estos dispositivos, que son especializados en mediciones son instalados durante las labores de materialización en campo y deben ser seleccionados por los diseñadores, en función de la eficiencia y precisión que el proyecto requiere.

El caudalímetro electromagnético su funcionamiento se explica con la ley de Faraday que, durante el paso de un fluido por un campo electromagnético se crea fuerza electromagnética, la cual es directamente proporcional a la

velocidad. Por lo tanto, para generar esta fuerza se instalan internamente electrodos metálicos y externamente equipos generadores de campo magnético, así poder medir la velocidad. El caudalímetro ultrasónico, es un tipo de medidor que tiene como función medir la velocidad del flujo a través de ultrasonido y con esto poder calcular el volumen del flujo, mediante el uso de transductores. Este es de tipo no intrusivo y puede ser instalado en la parte externa de la tubería, evitando realizar perforaciones a la tubería. El caudalímetro Woltman es un medidor tipo turbina axial, en el cual el rotor es movido por la corriente de flujo sobre las aspas de este.

Cada uno de los equipos instalados en sitio, debe estar respectivamente codificado y ubicado dentro de un plano, mismo que sirve al equipo de trabajo durante las labores de campo.

3.2. Detección de fugas en distritos de medición

En la metodología se plantea que las técnicas a utilizar para el control activo de fugas son: el step test y el pressure step test, aliados en la estimación, detección y localización de pérdidas reales junto al análisis del caudal mínimo nocturno, y de esta forma conocer los sectores con mayor cantidad de pérdidas por fugas. El termino detección consiste en ubicar las fugas en una determinada zona y localización es conocer el sitio específico en donde se está produciendo la fuga.

Análisis del caudal nocturno

Se debe realizar el análisis del caudal mínimo nocturno, para poder separar las pérdidas del consumo de los usuarios antes de efectuarse el step test en los sectores a ser estudiados. Los 'steps' pueden ser de 3 a 4 dependiendo de la extensión de la red, distancia y maniobrabilidad de las válvulas. Mediante el análisis del caudal mínimo nocturno, se cuantifica y comprende el nivel de pérdidas de agua, que por lo general ocurre en el sistema de abastecimiento entre las 2:00 y las 4:00 horas. Entre las tareas que contempla el análisis del caudal están:

- a) Organizar al grupo de campo en las labores a efectuarse en sitio.

- b) Implementación de equipos de medición en el sector(es) a ser estudiados e instalación de data loggers para la recolección de los datos.
- c) Los caudalímetros implementados en las zonas deben reprogramarse, entonces el registro de las mediciones de los caudalímetros puede estar en un intervalo de 1 a 5 minutos.
- d) Medición de presiones en el AZP, el mismo que podría incluir data loggers para la obtención de datos.
- e) Revisión constante del funcionamiento de los equipos de medición.

Los pasos anteriores son necesarios para el monitoreo y registro de los flujos durante las horas de menor consumo con esto obtener una verdadera representación del nivel de pérdidas de agua en el sistema de abastecimiento y así conocer los componentes del caudal mínimo nocturno.

Step test en distritos de medición

El step test es una prueba que sirve para estimar el caudal de fugas presentes en el sistema de abastecimiento, siendo realizado durante las horas de menor consumo, tiempo de menor afectación para los usuarios y en días que no se muestren perturbaciones en el suministro. La ejecución del step test requiere de: número de propiedades existentes en la zona, tipo de usuarios (residencias, negocios, industrias) y análisis del caudal nocturno de consumo.

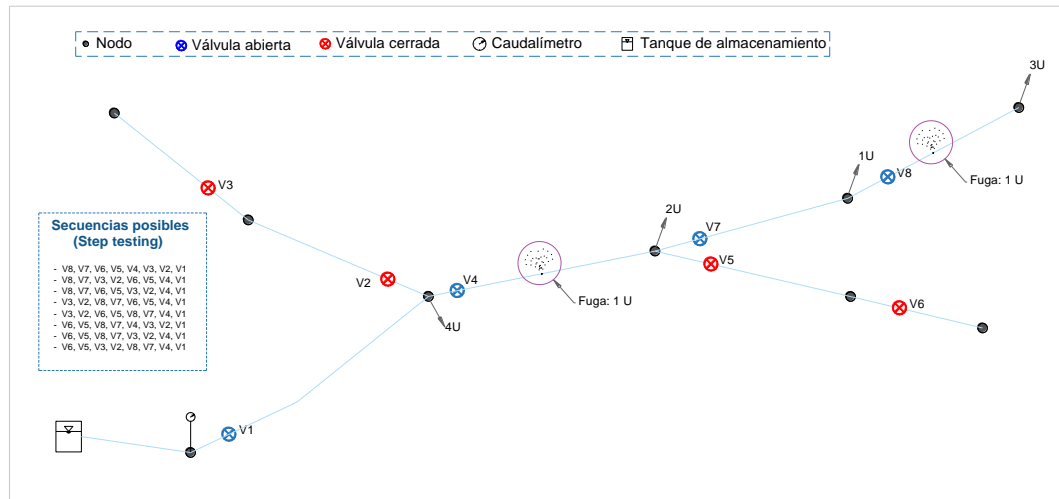


Gráfico 7. Esquema de DMA y secuencia de trabajo para Step Test

La metodología del step test consiste en el cierre de las válvulas de los sectores ya desarrollados, esto conocido como 'steps', el caudal de fuga se obtendrá a partir de la caída del flujo observada durante el cierre comparado con el volumen estimado en el modelo hidráulico y el análisis de caudal de ingreso a la zona, si entre estos puntos la diferencia es significativa será un indicativo de fugas existentes en el área. Para comenzar con el step test hay que establecer el orden de cierre de las válvulas de cada sector, como parte fundamental del proceso.

Durante las labores del step test hay que disponer del personal, herramientas y equipos apropiados, garantizando la seguridad de los trabajadores todo el tiempo. Los trabajos preliminares al step test a realizarse son:

- Identificación de la zona de estudio, en el cual se requiere de planos del área de estudio con sus respectivas calles, ubicación exacta del recorrido del sistema de agua potable. Además, es obligatorio contar con un plano de ubicación de todas las válvulas existentes en la red y especificar las que serán manipuladas en el transcurso de la prueba.
- Verificar las condiciones físicas de las válvulas, tanto como su maniobrabilidad en campo.
- Informar a los consumidores y autoridades sobre la detención del servicio y el intervalo de tiempo de este. Las horas en que se

puede ejecutar los ensayos es desde las 23:00 a 5:00, siempre que no se observen alteraciones del suministro días previos al ensayo.

- Conocer el tipo de usuarios y localizar los grandes consumidores existentes dentro de todas las zonas.
- Instalación de equipos medidores de caudal y presión, se requiere el monitoreo de presiones en el AZP y zonas adyacentes de cada área de estudio.
- Elaborar el plan de manejo de válvulas que dependerá de la cantidad de distritos de medición, se programa el cierre de las válvulas desde el punto más alejado de la red hasta el más próximo, esta planificación será utilizada para pruebas posteriores.

Las labores listadas anteriormente consisten en las actividades de campo y oficina que requieren de planificación y supervisión del personal encargado de las pruebas, donde los pasos a seguir en el ensayo son los siguientes:

- a) De ser necesario, se ejecuta el cierre previo de sectores aledaños a la de la zona de estudio.
- b) Se realizan mediciones de presión en las zonas de prueba, previo al cierre de cada válvula, las cuales deben incluir la hora de aforo.
- c) Las válvulas de los sectores involucradas en la prueba son cerradas en el orden establecido en el plan de manejo de válvulas, con un intervalo de 30 minutos entre cada cierre de sector para estabilización del sistema.
- d) Registro de las horas de cierre de todas las válvulas.
- e) En cada cierre se debe comprobar que las presiones de la zona cerrada lleguen a cero, si no es el caso representa que la válvula no está cerrada herméticamente.
- f) La apertura de los sectores se efectúa en sentido contrario al cierre, ya con todas las válvulas abiertas se verifica que el servicio este totalmente establecido.

Al final de cada prueba se reúne la información adquirida del estudio, con el fin evaluar el proceso, elaborar una base de datos y efectuar las comparaciones con la simulación hidráulica. En el siguiente gráfico se

muestra una comparación entre una simulación hidráulica y los resultados del step test realizados en un sector. En este se señala los puntos que presentan diferencias muy marcadas cuando se produce el cierre de las válvulas, y con la diferencia entre la simulación y la prueba se puede estimar el de fugas.

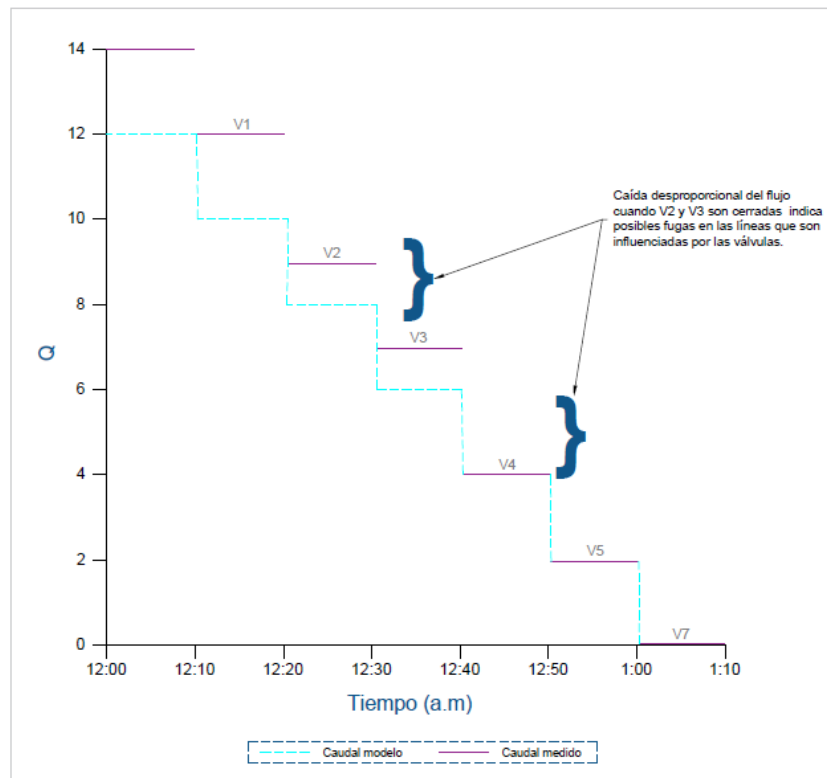


Gráfico 8. Comparación entre simulación hidráulica y mediciones del Step test.

Pressure step test en distritos de medición

El propósito del pressure step test es determinar el valor del exponente de fuga de cada sector, la teoría de la prueba se fundamenta en el hecho que el tamaño de fuga está definido y el caudal de fuga está relacionada a la presión, debido a que la caudal de fuga es afín al cambio de presión, se puede determinar de los gradientes de presión durante la prueba. Durante la prueba se reduce la presión de entrada en "pasos", antes de continuar con la siguiente reducción se espera que el sistema se estabilice por unos cuantos minutos. La información para el cálculo del exponente de fuga es obtenida de las mediciones de caudal de entrada a los sectores y presión en el AZNP,

con la cual después se encontrará el factor diario de fuga. Las tareas previas a la prueba son:

- Identificación de la zona de estudio, que precisa de ubicación de todas las válvulas existentes en la red y especificar las que serán maniobradas en el transcurso de la prueba.
- La ejecución de la prueba se realiza desde las 23:00 a 5:00, por lo que se debe informar sobre la irregularidad en el servicio.
- Instalación de caudalímetros en cada zona, en las cuales las mediciones deben ser calibradas para un periodo de 1 minuto de muestreo.
- Implementación de equipo medidores de presión junto con data loggers en el AZNP, de igual forma es registro de los datos de presión deben estar en concordancia con los de caudal, por lo que se recomienda asimismo que sea para un intervalo de 1 minuto entre cada toma.

El procedimiento del pressure step test es el siguiente:

- a) Para comenzar con el procedimiento, las zonas a realizarse deben ser aisladas, por lo cual se requiere cierres previos de válvulas que pertenecen al sector.
- b) Se efectúa el primer cierre parcial de la válvula de entrada al sector, hasta alcanzar una reducción de la presión deseada, que puede ser del 20% al 50% de la lectura inicial, previa a la siguiente reducción se debe realizar registro de presión y caudal.
- c) El paso anterior se debe repetir hasta alcanzar una presión menor al 50% del registrado inicialmente, sin que la presión llegue a ser cero.
- d) Se debe realizar la apertura de todas las válvulas manipuladas del área, al final se debe verificar que el servicio sea reestablecido a todos los usuarios.

Determinación y mediciones de presión en AZP

El AZP o punto de presión promedio es valor que simboliza la presión promedio, determinado para cada DMA. Las presiones dentro de un sistema de abastecimiento juegan un papel importante en el control de pérdidas reales, ya que realizando mediciones en el AZP es posible determinar el exponente de fuga. El AZP es obtenido de la siguiente forma:

- a) Calcular el nivel medio del terreno con ayuda de sistemas de información geográficos (GIS) o curvas de isopresión, que agrupan en rangos las presiones.
- b) Se determina la cantidad de conexiones por existente en cada rango de presión, estos dos valores deben ser multiplicados y al final los datos obtenidos deben ser sumados, esta sumatoria es dividida para el total de conexiones existentes.
- c) El valor conseguido anteriormente representa el nivel medio del suelo y ese punto representa el AZP.
- d) Se efectúan mediciones de presión para un periodo mínimo de 24 horas, el valor promedio de las mediciones es conocido como AZP.
- e) Obtener el AZP para cada una de las zonas de estudio.

Las presiones registradas durante la noche son conocidas como AZNP, periodo de menor consumo y mayores presiones en la red. El uso de modelos hidráulicos facilitará la observación de las variaciones de presión. Si el modelo hidráulico posee una mayor precisión, es decir que ha sido posible obtener información de campo para realizar una calibración más precisa, es oportuno comparar el punto de presión promedio determinado con la metodología empírica junto con el obtenido mediante la simulación hidráulica.

3.3. Estimación de caudales de fuga

Los componentes que influyen en la estimación del volumen de pérdidas son las presiones obtenidas de las mediciones en el AZP, caudal de fuga estimado del step test, y el exponente N1 con esto poder obtener el factor diario de pérdida.

Factor Noche-Día

El factor diario de fuga es un valor adimensional determinado para cada distrito de medición, el mismo que asiste en el cálculo del volumen de caudal fugado. Es conseguido a partir del exponente de fuga y las mediciones de presión en el AZP, obtenido de la siguiente forma:

- a) Efectuar mediciones de presión durante una semana en el AZP, que requiere de monitoreo constante y que no se presenten alteraciones en el flujo.
- b) Determinar la presión promedio para cada hora de medición.
- c) Con la presión mínima del lugar de estudio se usa la siguiente expresión para determinar el factor diario de fuga.

$$FDN = \sum_{i=0}^{24} \left(\frac{\bar{P}}{\bar{P}_{CMN}} \right)^{N1}$$

Cálculo del caudal medio de fuga

Los parámetros involucrados para la estimación del volumen de fugas son el caudal de fuga determinado del step test y el factor diario de fuga, descrito anteriormente, el volumen de fuga queda expresado en la siguiente ecuación:

$$Q_{f \text{ Prom}} = Q_f \times FDN$$

3.4. Indicador de pérdidas reales

Como parte final de la estructura de metodológica se plantea el uso de indicadores de pérdidas reales,

Algunos de los criterios utilizados son evaluados en función del porcentaje del caudal, longitud de red, volumen utilizado por predio o conexión, de los cuales se pueden mencionar: indicadores porcentuales, volumen por predio por unidad de tiempo (l/predio/h), volumen por conexión de servicio por unidad de tiempo (l/conexión/h), volumen por longitud de tuberías del sistema por unidad de tiempo (m³/km de red/h).

Indicadores Porcentuales

Los indicadores porcentuales dependen directamente de las mediciones efectuadas y las variaciones presentes en el sistema, como mínimo para un periodo de 24 horas, y se pueden subdividir en: coeficientes de consumo, índice lineal de fugas e índice de agua no contabilizada.

Los coeficientes de consumo son valores determinados a través de mediciones de consumo. Algunos de los valores derivados del análisis de estos datos son:

- El índice de consumo máximo horario (CHM/CMN), donde CHM es el consumo horario máximo y CMN es el consumo mínimo nocturno, y con resultados <3 se tiene un alto índice de fugas en el sistema.
- El índice de consumo mínimo nocturno (CMN/CHP), donde CMN es el consumo mínimo nocturno y CHP es caudal horario promedio, que a partir de valores >0.4 indica probabilidad de fugas en el sector.

El índice de agua no contabiliza (IANC), sirve para evaluar en forma general la eficiencia del sistema. Molina (2009), define que usualmente se tiene que 15% es valor válido como índice de agua no contabilizada y que este indicador es utilizado para diagnosticar el sistema a nivel de empresa. Este valor es obtenido a partir de la siguiente expresión:

$$IANC = \frac{\text{Volumen producido} - \text{Volumen facturado}}{\text{Volumen producido}}$$

Donde el volumen producido es el caudal contabilizado que sale directamente de la planta de almacenamiento hacia las líneas de distribución y el volumen facturado es caudal medido (micromedidores) y ha sido consumido por los usuarios.

El índice lineal de fugas o coeficiente específico nocturno (CEN) es obtenido de los resultados del caudal mínimo nocturno del step test entre la longitud del sistema analizado, aunque este valor puede derivar en el consumo específico nocturno (CELN), pero este utiliza como parámetro un porcentaje esperado de entrega a los usuarios, bajo el supuesto de que existen fugas en el sistema durante la hora de caudal mínimo nocturno y el resto del agua contabilizada es entregada a los usuarios, con lo que se tiene las siguientes expresiones:

$$CEN = \frac{CMN}{L} \text{ y } CELN = \frac{E \times CMN}{100 \times L}; L \text{ en Km y CMN en l/s}$$

Indicadores relativos

Entre los indicadores relativos que se pueden mencionar están: el volumen de pérdidas reales anuales actuales o 'Current Annual Real Leakage' (CARL), que está en función del caudal de pérdidas reales del año y los días en que el sistema estuvo en funcionamiento.

$$PRAA = \frac{Q_{PR} \times 10^3}{N_{ds}}$$

Así como las pérdidas reales anuales inevitables o 'Unavoidable Annual Real Losses' (UARL), que es el valor de pérdidas más bajo que puede obtenerse en el sistema, este depende de los siguientes parámetros: longitud de red principal, número de acometidas, longitud de las acometidas y la presión del sistema. A partir de la siguiente ecuación:

$$PRAI = (18 \times L_R + 0.8 N_C + 25 \times L_P) \times P_P = (l/c. s. p \text{ día})$$

De la división de los indicadores mencionados anteriormente se obtiene el índice de fugas estructurales o 'Infrastructure Leakage Index' (ILI), que es un valor adimensional que indica la efectividad del manejo de las pérdidas, en la tabla 6 se presentó algunos de los valores recomendados para el ILI en función de la presión de servicio, en la cual se determina que un valor de ILI de 1 a 2 significa que la red existente se encuentra en buena condición, y un ILI de 4 a 8 representa que el sistema tiene una mala condición, pero un valor aceptable puede considerarse hasta 5.

El uso de cualquiera de los indicadores antes mencionados dependerá del criterio del equipo de trabajo y de las necesidades del proyecto. Con ayuda de los indicadores se podrá evaluar y priorizar las actividades de localización, detección y reparación de fugas para los sectores con mayor cantidad de inconvenientes, así poder reducir las pérdidas del sistema de abastecimiento y mejorar la calidad del servicio a los usuarios.

CAPITULO IV

4. CASO DE ESTUDIO

El macrosector hidráulico Sur - Guasmo o 'SGU' se encuentra ubicado en la ciudad de Guayaquil y es abastecido por medio del acueducto de 1.800 mm de diámetro, que viene desde La Toma y Tres Cerritos. La red del macrosector SGU fue instalada entre los años 2.007 y 2.008, además, tiene aproximadamente 38.155 acometidas y cuenta con 3 macromedidores de caudal¹, los cuales son denominados M-58, M-59 y M-60 y estos se encuentran ubicados a lo largo de la Av. 25 de julio. En el anexo 1 se presentan los gráficos, que son resultado del registro de las macromediciones realizadas durante el año 2016.

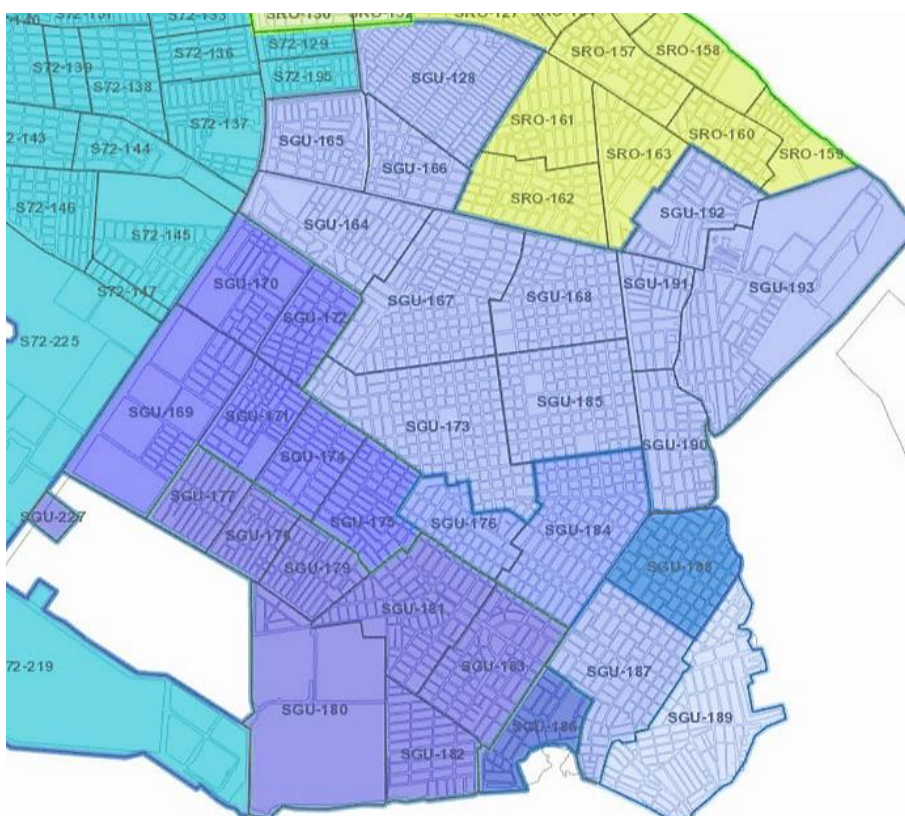


Gráfico 9. División de los sectores del macro-sector Sur-Guasmo.

¹ Caudalímetro M-58 Av. 25 de julio y calle 53 (Dr. Raúl Clemente Huerta), M-59 Av. 25 de Julio y calle 55 y M-60 Av. 25 de julio y Av. Cacique Tomalá.

El SGU se encuentra sectorizado y está conformado por 31 sectores hidráulicos², como se muestra en el gráfico 9, el sistema está compuesto por una red con una longitud alrededor de 418,49 km, donde el 76% es polietileno de alta densidad (PEAD), el 11% es PVC, el 9% es hierro dúctil (HD) y 3% es asbesto cemento (AC), tal como se muestra en la tabla 7, donde se presenta las longitudes de los tramos de tubería en función de los materiales que se encuentran instalados a lo largo del macrosector SGU.

Tabla 7. Longitudes de la red SGU en función del diámetro y material.

DIAMETRO (mm)	MATERIAL					TOTAL (Km)
	AC (m)	HD (m)	HF (m)	PEAD (m)	PVC (m)	
80	5967.42	9.42		90.33	211.42	8.56
90	1562.76	533.92		248638.79	28941.25	280.56
100	441.18			129.00		0.57
110	278.66	161.22		65047.27	9980.28	75.47
150	1066.98	11928.78		91.60	1104.50	14.19
160	338.42	227.29		1472.17	4617.40	6.66
200	945.57	4916.21		820.28	1922.34	8.60
225		102.05				0.10
250	832.57	6936.64		98.57	186.80	8.05
300	88.83	7478.65	425.37		392.12	8.38
315				71.55		0.07
350	24.53	99.76			65.51	0.19
400		2833.53				2.83
500		771.31				0.77
600		1820.63				1.82
700		1889.28				1.89

A partir de los resultados del balance hídrico realizado desde enero 2.016 a diciembre 2.016, se estima que el porcentaje de agua no contabilizada (ANC) del macrosector SGU es del 62,38%. Evaluando el caudal suministrado promedio se calcula un valor de 666,58 l/s y el caudal contabilizado promedio de 250,77 l/s, con lo cual se obtiene un caudal de pérdida promedio de 415,80 l/s. A continuación, se muestra en la tabla 8 los resultados del balance hídrico, los cuales se presentan de forma mensual, junto a los caudales de los valores promedio por mes.

² Sectores hidráulicos: SGU-128, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193.

Tabla 8. Balance hídrico enero 2.016 – diciembre 2.016.

Mes	Q _{entregado} (l/s)	Q _{contabilizado} (m ³ /mes)	Q _{contabilizado} (l/s)
Enero	681.02	638465.00	246.32
Febrero	692.39	661034.42	255.03
Marzo	694.37	700671.93	270.32
Abril	703.56	658138.47	253.91
Mayo	690.37	668041.53	257.73
Junio	667.74	637959.77	246.13
Julio	681.50	657688.02	253.74
Agosto	654.09	645969.09	249.22
Septiembre	638.56	626455.76	241.69
Octubre	622.53	632756.28	244.12
Noviembre	625.48	616086.95	237.69
Diciembre	647.32	656830.72	253.41
Σ=	7998.93 l/s		Σ= 3009.30 l/s

Las pruebas que se efectuaron en el macrosector SGU para el control de pérdidas reales fue el step test, en donde se realizaron 12 pruebas a lo largo de todo el año 2.016 mediante mediciones fijas, de las cuales solamente en los sectores 169 y 171 se volvieron a efectuar dichas pruebas.

Basado en el registro de operación de válvulas, las pruebas comenzaron a partir de las 23:00 horas con el cierre previo de sectores aledaños, y las horas de ejecución de los 'steps' en promedio son: 02:00 para el primer step, 02:40 para el segundo step y 03:20 para el tercero (existe una prueba en la que se registró hasta 5 'steps'). De las mediciones del step test, con el cierre del sector, se verifican los caudales que fueron suministrados a este previo y después del cierre, con el fin de tener el caudal de entrada del sector. Con la diferencia de los consumos mínimos nocturnos estimado, de los usuarios en los sectores en el momento en que se ejecutaron las pruebas, y del caudal suministrado, se calcula el caudal de fuga durante el step test. En el anexo 2 se muestran en gráficos de los resultados conseguidos del step test.

El consumo mínimo nocturno es un valor estimado a partir de las mediciones del consumo medio contabilizado y del factor de consumo horario. Este factor fue encontrado a través del análisis a los usuarios del sector,

examinando para esto un total de 91 muestras. Las mediciones fueron efectuadas para un periodo de 1 semana, en las cuales se obtuvieron mediciones directas de los consumidores y se determinaron los consumos promedios para cada hora de la semana, y este valor es dividido para el valor promedio de los consumos para determinar el coeficiente de uso nocturno. El coeficiente utilizado para el cálculo es 0,352, que es el valor promedio encontrado a las 2 a 4 horas. En el anexo 3 se muestra el grafico del perfil de consumo horario, realizado en base a los promedios de los coeficientes.

En el anexo 4 se muestra el resumen del cálculo del caudal de fuga promedio del sector, producto de la información de las mediciones del step test y pressure step test. En esta se observan los resultados agrupados por sector y las fechas de ejecución, donde \bar{q} es el consumo medio contabilizado, el AZP es la presión promedio, mediciones tomadas con manómetro, q_{cmn}/\bar{q} es el factor de consumo nocturno, q_{cmn} consumo mínimo nocturno, Q_{CMN} es el caudal suministrado durante la hora del caudal mínimo, Q_{fCMN} es el caudal de fuga que se presenta durante el caudal mínimo nocturno, AZNP es la presión promedio característica a la hora del caudal mínimo nocturno, N1 es el exponente de fuga y Q_{fProm} el caudal de fuga promedio. En el mismo anexo, se observa las mediciones de presiones en el AZP, efectuadas en los distritos de medición del macrosector SGU, se determinan valores de presión promedio de 1,34 bar (13,4 mca). Por otro lado, de las mediciones derivadas del AZNP se estima una presión promedio de 2,45 bar (24,5 mca).

El valor del exponente de fuga (N1), utilizado para el cálculo del caudal fuga promedio, fue estimado por medio del pressure step test, realizado en el macromedidor M-58 con un caudalímetro ultrasónico SIEMENS Sitrans F, en los distritos SGU-164, 165, 167, 173, 184, 186, 188, 190 y 192. Los distritos analizados cuentan aproximadamente con 12.649 conexiones³. El caudal de uso nocturno estimado para esta prueba, considerando un error de micromedición del 7%, fue de 26,10 l/s y la medición del caudal suministrado

³ Conexiones: 11.995 residenciales, 566 comerciales, 88 oficiales.

registrado de 316,4 l/s, con lo cual se obtiene un caudal de pérdidas de 290,3 l/s, esto antes de comenzar con las pruebas. El primer 'step' se registró a las 02:00 horas, e inicio con una presión de 1,75 bar (17.5 mca) y se procedió al cierre parcial de la válvula, en la cual se consiguió una reducción de la presión de entrada a 15,9 mca, como efecto de la reducción de esta, se produjo la disminución del caudal de pérdidas a 269,7 l/s, con esto se pudo estimar el valor de N1 para la primera caída, de 0,77. Los cierres parciales de las válvulas tuvieron un intervalo de 30 minutos entre cada una. La prueba finalizó a las 4:00 horas y se efectuaron 4 'steps' en total, de los resultados se estimó un N1 promedio de 0,68, valor que es considerado en los cálculos del caudal de fuga promedio en la tabla 9.

El caudal promedio total de fuga fue estimando en función del conjunto de resultados de las pruebas en los distritos de medición, en la tabla adjunta en el anexo 4, con un valor de 374,91 l/s. Si el valor anterior es comparado con el caudal de pérdida promedio obtenido del balance hídrico (tabla 8), que es de 415,8 l/s, se consigue establecer una diferencia de 40,89 l/s entre los métodos.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las metodologías utilizadas para la estimación de pérdidas reales en el macrosector SGU muestran un error de 5,85%, que es un porcentaje aceptable debido a que los cálculos realizados son estimaciones basadas en hipótesis y como tal siempre van a estar sujetas a algún grado de incertidumbre. El error puede ser producto de diversos factores como la cantidad de usuarios, que puede ir variando constantemente, o la imprecisión de las micromediciones a los usuarios, del cual se estima un error aproximado del 7%. Por lo tanto, de los valores obtenidos a partir de las estimaciones de caudal de fugas promedio se puede concluir lo siguiente:

- La sectorización hidráulica de las redes de abastecimiento mejora la operatividad del sistema, además es fundamental para la detección y control de pérdidas, con resultados a corto plazo.
- Suponiendo que la red analizada no tuviera esa distribución, es decir dividida en distritos de medición, se hubiera dificultado el cálculo del caudal de fuga promedio que se realiza con ayuda del step test y el exponente de fuga N1, determinado del pressure step test.
- Realizando un análisis de los cálculos del caudal de fuga promedio, se determina que los distritos con mayores problemas son: SGU-128, SGU-167, SGU-173, SGU-183, SGU-188 y SGU-189, por lo tanto, en función de un análisis de costo-beneficio, debe evaluarse cuáles pueden ser reparadas o las tareas de mantenimiento que ayuden a la reducción de pérdidas. Se recomienda que se verifiquen el estado de las válvulas del macrosector.
- El SGU-128, que es el sector con mayor número de acometidas, se observa una mayor incidencia de fugas, con un caudal promedio de 40,04 l/s, que representa el 10,7% del valor total de fugas promedio. Lo contrario ocurre en el SGU-180, que tiene un caudal promedio de 1,07 l/s, se debe mencionar que este es el distrito más pequeño con

un total de 200 acometidas representado un 0,3% del valor total. Se puede observar que una mayor cantidad de acometidas incrementa la tendencia a las fugas, valor que también se encuentra influenciado por la longitud de la red.

- El valor estimado de agua no contabilizada en el sector es de 62%, para el balance hídrico y 64% a través del cálculo del caudal de fugas promedio.

Análisis de sensibilidad

Algunos de los factores que influyen directamente en el cálculo del caudal promedio de fugas son: el factor de uso nocturno y el exponente de fuga, así como el porcentaje de error por submediciones para estimar el caudal de pérdidas reales en el balance hídrico. Los valores mencionados anteriormente serán las variables utilizadas para crear distintos escenarios de comportamiento en la red, con el fin de observar cómo es afectado el caudal de fugas en la red y las pérdidas reales del balance hídrico, esto en función del porcentaje de error entre los métodos.

Coeficiente de uso nocturno

El valor del coeficiente de uso nocturno utilizado en el cálculo adjunto en el anexo 4 fue de 0,352, que es el factor de consumo promedio determinado del análisis efectuado durante el caudal mínimo nocturno, del cual se puede estimar que el caudal de pérdidas reales con ese coeficiente es de 374,41 l/s y comparado con las pérdidas reales del balance hídrico, de 398,20 l/s, se determina como resultado un error del 5,85% entre métodos. Si se aplica estadística y el consumo nocturno se comportará como una función normal, el número de perfiles evaluados en el SGU con los cuales se obtuvieron factores es un poco más pequeño en comparación a la cantidad que debería ser analizada. Por lo tanto, si se quisiera garantizar que la información levantada y determinar un valor más adecuado, se estima que con un nivel de confianza de 1.96 y un error esperado de $\pm 8.5\%$ deberían ser analizadas 132 muestras.

Tabla 9. Análisis de sensibilidad – Variación de coeficiente de uso nocturno.

Qf prom	% Variación	8.5	6	3.00	0.00	-3.00	-6.00	-8.50
	q_{CMN} / \bar{q}	0.382	0.373	0.363	0.352	0.341	0.331	0.322
	$Q_{pérdidas reales}$	370.80 l/s	372.03 l/s	373.40 l/s	374.91 l/s	376.41 l/s	377.78 l/s	379.02 l/s
	$Q_{contabilizado}$	224.18 l/s						
	$Q_{pérdidas aparentes}$	15.69 l/s						
	$Q_{entregado}$	610.67 l/s	611.90 l/s	613.27 l/s	614.78 l/s	616.28 l/s	617.65 l/s	618.89 l/s
	%ANC	63.29%	63.36%	63.45%	63.54%	63.62%	63.70%	63.78%
Balance hídrico	$Q_{entregado}$	666.58 l/s						
	$Q_{contabilizado}$	250.77 l/s						
	$Q_{pérdidas totales}$	415.81 l/s						
	$Q_{pérdidas aparentes}$	17.60 l/s						
	$Q_{pérdidas reales}$	398.21 l/s						
	%ANC	62.38%						
% Error (Pérdidas)		6.88%	6.57%	6.23%	5.85%	5.47%	5.13%	4.82%

En la tabla 9 se presenta el análisis de sensibilidad realizado para el coeficiente de uso nocturno en función del error esperado y se observa que producto de la variación del coeficiente de uso nocturno afecta directamente al valor del caudal de pérdidas reales, se obtiene una variación de 370.80 l/s con +8.5% y 379.02 l/s con -8.5%, y a su vez la del caudal entregado al sistema, de 610.67 l/s con +8.5% y 618.89 l/s con -8.5%. Los porcentajes de error entre los métodos son menores al 10%, con diferencias de 6.88% hasta 4.82%.

Exponente de fuga

El valor del exponente de fuga (N1) utilizado en el cálculo del caudal de fuga promedio fue 0.68, factor estimado a partir del pressure step test. La variación de este se realizó en un porcentaje del $\pm 5\%$, que es un error asociado a los equipos de medición utilizados para las pruebas, además no existen registros que indiquen un mínimo de pruebas necesarias para la obtención del N1.

Tabla 10. Análisis de sensibilidad – Variación de coeficiente de uso nocturno.

		5.00	4.00	3.00	2.00	1.00	0.00	-1.00	-2.00	-3.00	-4.00	-5.00	
Qf prom	% Variación												
	N1	0.714	0.707	0.700	0.694	0.687	0.680	0.673	0.666	0.660	0.653	0.646	
	Q_{pérdidas reales}	367.12 l/s	368.71 l/s	370.31 l/s	371.68 l/s	373.29 l/s	374.91 l/s	376.53 l/s	378.17 l/s	379.57 l/s	381.22 l/s	382.87 l/s	
	Q_{contabilizado}	224.18 l/s											
	Q_{pérdidas aparentes}	15.69 l/s											
	Q_{entregado}	606.99 l/s	608.58 l/s	610.18 l/s	611.55 l/s	613.16 l/s	614.78 l/s	616.40 l/s	618.04 l/s	619.44 l/s	621.09 l/s	622.74 l/s	
	%ANC	63.07%	63.16%	63.26%	63.34%	63.44%	63.54%	63.63%	63.73%	63.81%	63.91%	64.00%	
	Q_{entregado}	666.58 l/s											
	Q_{contabilizado}	250.77 l/s											
	Q_{pérdidas totales}	415.80 l/s											
Balance hídrico	Q_{pérdidas aparentes}	17.60 l/s											
	Q_{pérdidas reales}	398.20 l/s											
	%ANC	62.38%											
	% Error	7.81%	7.41%	7.01%	6.66%	6.26%	5.85%	5.44%	5.03%	4.68%	4.26%	3.85%	

El análisis de sensibilidad expuesto en la tabla 10 muestra que el porcentaje de error esta inicialmente en 5,85% con el valor 0.68, valor utilizado en el anexo 4 que es cálculo del caudal de fugas promedio, y un caudal de pérdidas de 374,91 l/s. Para una variación del 5% el factor N1 se incrementa a 7,81% del cual se tiene un exponente de 0,714 y como resultado se tiene una disminución del caudal de pérdidas de 367,12 l/s. Lo contrario ocurre cuando el porcentaje de error es a -5% el valor del caudal de pérdidas reales se incrementa a 382,87 l/s y provoca una variación del error entre métodos de 3,85%. Analizando las metodologías los porcentajes de agua no contabilizada no se produce una mayor variación y solo existe una diferencia máxima del 1,62%.

Error de submedición

En el cálculo del balance hídrico se estimó en el análisis un error por micromedición de 7%, valor considerado para obtener el caudal de pérdidas aparentes en todos los análisis anteriores. Realizando el análisis de sensibilidad para este factor, como se muestra en la tabla 11, se efectúan variaciones de este porcentaje hasta llegar a un $\pm 15\%$, la modificación de este parámetro de un valor positivo a negativo aumenta el caudal de pérdidas reales del balance hídrico provocando un incremento en el porcentaje de error entre los métodos.

Tabla 11. Análisis de sensibilidad – Variación de error de micromedición.

Qf prom	Q _{pérdidas reales}	374.91 l/s					
	Q _{contabilizado}	224.18 l/s					
	Q _{pérdidas aparentes}	15.69 l/s					
	Q _{entregado}	614.78 l/s					
	%ANC	63.54%					
Balance hídrico	Q _{pérdidas totales}	415.80 l/s					
	Q _{contabilizado}	250.77 l/s					
	Error _{submedición}	15.00%	10.00%	7.00%	-5.00%	-10.00%	-15.00%
	Q _{pérdidas aparentes}	37.62 l/s	25.08 l/s	17.55 l/s	-12.54 l/s	-25.08 l/s	-37.62 l/s
	Q _{pérdidas reales}	378.18 l/s	390.72 l/s	398.25 l/s	428.34 l/s	440.88 l/s	453.42 l/s
	Q _{entregado}	666.58 l/s					
	%ANC	62.38%					
% Error	0.87%	4.05%	5.86%	12.47%	14.96%	17.31%	

De los análisis anteriores se puede determinar que los factores que producen una mayor variación en los resultados son:

- El valor de N1 para la estimación del caudal de fugas promedio, esto cuando el valor del exponente de fuga se incrementa a 0,714, que produce un aumento en el porcentaje de error entre las dos metodologías.
- El porcentaje de error en la micromedición afecta directamente al valor obtenido de pérdidas reales en el balance hídrico, si se incrementa el error de medición a 15% se disminuye el error entre métodos a 0,87.

A partir del análisis del macrosector SGU y el análisis de sensibilidad realizado para el mismo, se puede concluir que, la metodología aplicada para la estimación de pérdidas reales en el sistema se estiman valores admisibles entre aplicación de metodología (Balance hídrico y cálculo del caudal de fugas promedio), y que a partir del cálculo del caudal de fuga promedio se puede establecer el sector que requiere de una investigación

más detallada, es decir realizar tareas de detección, localización y reparación de fugas, como es el caso del distrito SGU-128, que es el sector con mayor cantidad de pérdidas y representa el 10% del total de fugas en el macrosector.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J., & Parena, R. (2000). *Performance Indicators for Water Supply Services*. IWA Publishing.
- Alegre, H., Texeira Coelho, S., Almeida, M., & Viera, P. (2005). *Controlo de Perdas de Água em Sistemas Públicos de Adução e Distribuição*.
- ARCA. (2016). *Agenda Regulatoria 2016*. Quito.
- Asian Development Bank. (2005). *Data Book of Southeast Asian Water Utilities*, . Manila, Filipinas: ADB.
- AWWA. (1997). *Manual of Water Supply Practices M36: Water Audits and Leak Detection*. Denver.
- AWWA. (2007). *Water Audits and Loss Control Programs*.
- AWWA. (2009). *Water Audits and Loss Control Programs* (Tercera ed.). Denver, Colorado, Estados Unidos.
- Boulos, P., & Aboujaoude, A. (2011). Managing Leaks Using Flow Step-Testing, Network Modeling, and Field Measurement. *JOURNAL AWWA*, 90-97.
- Cabrera, E., Almandoz, J., Arregui, F., & García-Serra, J. (1999). Auditoria de Redes de Distribución de Agua. *Ingeniería del Agua* , 387-399.
- Clayton, C. R., & Van Zyl, J. E. (2007). *The Effect of Pressure on Leakage in Water Distribution Systems*. Exeter.
- Di Nardo, A., Di Natale, M., & Di Mauro, A. (2013). *Water Supply Network District Metering: Theory and Case Study*. Udine: Springer.
- DVGW, D. V.-u. (2003). *Rohrnetzinspektion und Wasserverluste - Maßnahmen, Verfahren*. Bonn.
- EPA. (2007). *Leakage Management Technologies*.
- EPA. (2010). *Control and Mitigation of Drinking Water Losses in Distribution Systems*. Estados Unidos.

- Escobar, J. J. (2011). *Método de los caudales mínimos nocturnos: revisión de sus bases científicas, evaluación de errores potenciales y propuestas para su mejora*. Valencia.
- Fanner, P. (ABRIL de 2004). Assessing real water losses. *WATER* 21, págs. 49-50.
- Farley, M., & Trow, S. (2003). *Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*. Londres: IWA Publishing.
- Farley, M., Wyeth, G., & Istandar, A. (2008). *The Manager's Non-Revenue Water Handbook: A Guide to Understanding Water Losses*.
- Garzón, F., & Thornton, J. (2006). Influencia de la Presión en las Pérdidas de Agua en Sistemas de Distribución. XXX CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL. Punta del Este.
- Guerrero Erazo, J., & Arango Jaramillo, A. (2008). *Evaluación Económica de Proyectos de Reducción de Pérdidas y Uso Eficiente de Agua, en Empresas de Acueducto*. Pereira.
- Hamilton, S. (2008). When is a DMA not a DMA? *Journal of Indian Water Works Association*, 283-289.
- Hoyle, T. (16 de 04 de 2010). Obtenido de ABB Website: <http://www.abb.co.uk/cawp/seitp202/8b1bac80a0dcc280c1257707004aba9d.aspx>
- International Leakage Management Support Services. (2003). *Guidelines relating to the Assessment and Calculation of Average Pressure in Water Distribution Systems and Zones*.
- IWA. (2007). *District Metered Areas: Guidance Notes*.
- Julian Thornton, G. K. (2008). *Water Loss Control Manual*.

- Kingdom, B., Liemberger, R., & Marin, P. (2006). *The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries*. Washington,, Estados Unidos: World Bank.
- Lambert, A., Myers, S., & Trow, S. (1998). *Managing Water Leakage - Economic and Technical Issues*. London: Financial Times Energy.
- May, J. (1994). Pressure Dependent Leakage. *World Water and Environmental Engineering*.
- Molina A., S. (2009). *Metodología para la reducción de pérdidas técnicas en el sistema de distribución de AA.PP del suburbio Oeste de la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil.
- Molina, S. X. (2014). *Metodología para la calibración preliminar de modelos de redes de distribución de agua mediante la utilización conjunta de demandas y consumos*. Valencia.
- National Water Council. (1980). *Leakage Control Policy and Practice*. London.
- OFWAT. (2001). *Leakage and the Efficient Use of Water*. Birmingham: Office of Water Services.
- Patrick Fallis, K. H. (2011). *Guía para la reducción de las pérdidas de agua*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- Skipworth, P. J., Saul, A. J., & Machell, J. (1999). The Effect of Regional Factors on Leakage Levels and the Role of Performance Indicators. *Water and Environment Journal*, 184-188.
- Thornton. (2008). *Digital Engineering Library @ McGraw-Hill* (www.digitalengineeringlibrary.com). (w. I. manual, Ed.)
- Thornton, J., & Lambert, A. (2005). Progress in Practical Prediction of Pressure: Leakage, Pressure: Burst Frequency and Pressure: Consumption Relationships.

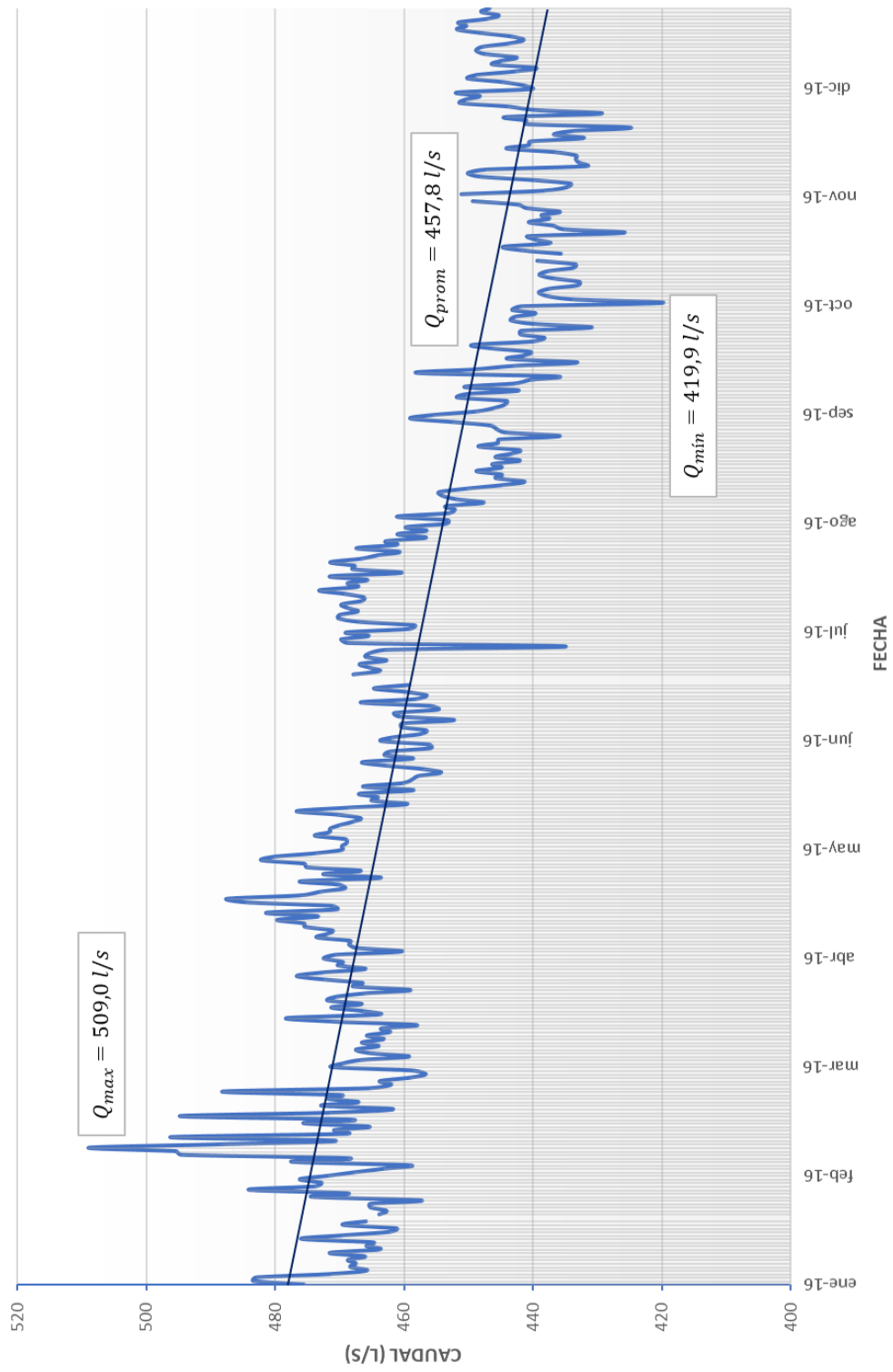
- Thornton, J., & Rizzo, A. (2002). *Apparent Losses, How Low Can You Go? IWA Water Loss Task Force Water Loss Conference proceedings*. Cypress: IWA Publishing.
- Tormo Clemente, M., & Blanca Giménez, V. (2014). *Recursos para la instalación de redes de abastecimiento y distribución de agua y saneamiento*. Paraninfo.
- UK Water Industry Research. (1999). *A Manual of DMA Practice*. London.
- Van Zyl, J. E., & Cassa, A. M. (2013). Modeling Elastically Deforming Leaks in Water Distribution Pipes. *Journal of Hydraulic Engineering*.
- World Water Council. (2009). *Proceedings of the 5th World Water Forum, Istanbul, . Estambul, Turquia : Istanbul Water Cosensus*.

ANEXOS

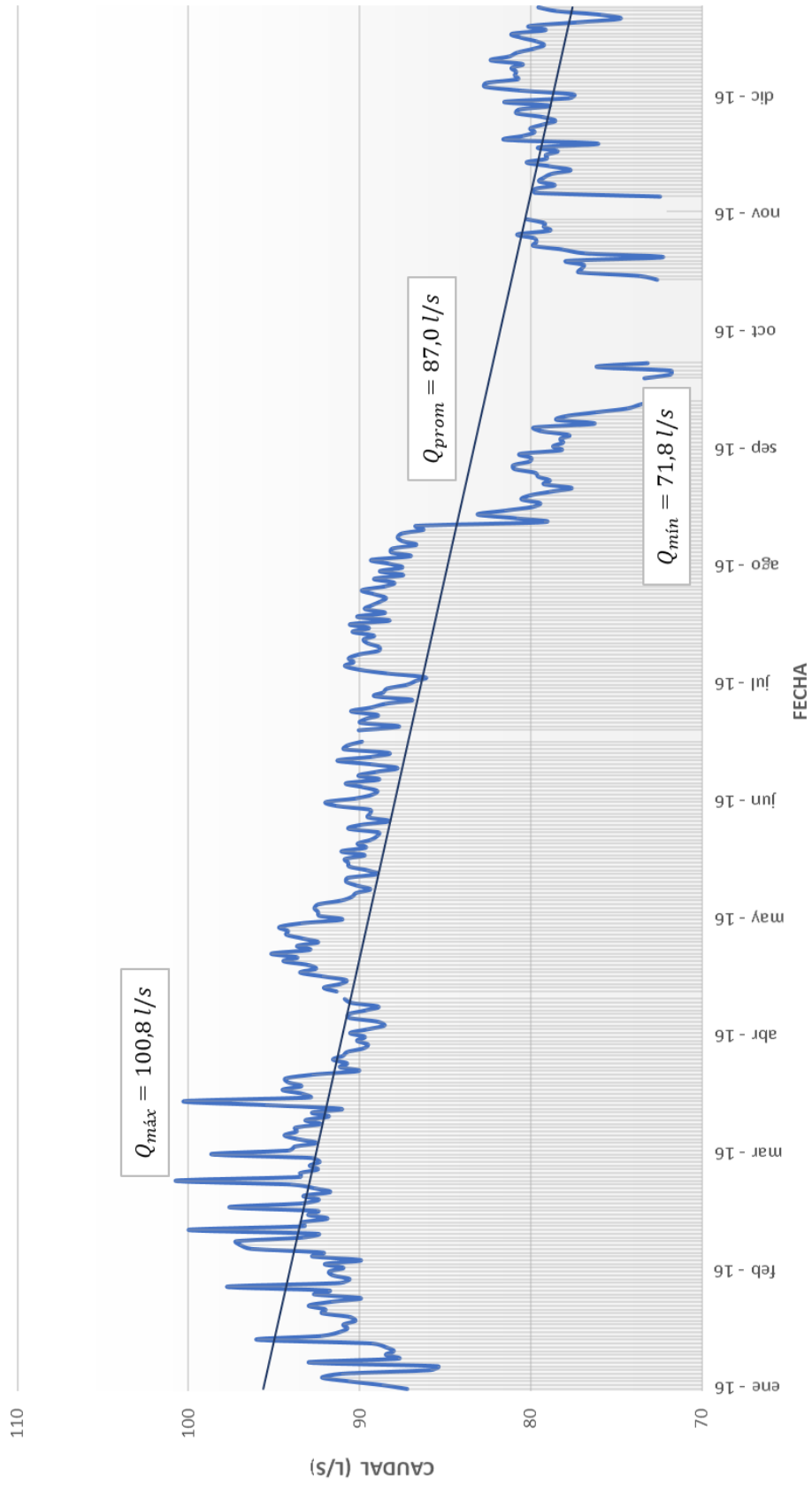
Anexo 1

Mediciones de caudalímetros en macrosector
Sur-Guasma (SGU), medidores M-58, M59 y M-60
Año 2016

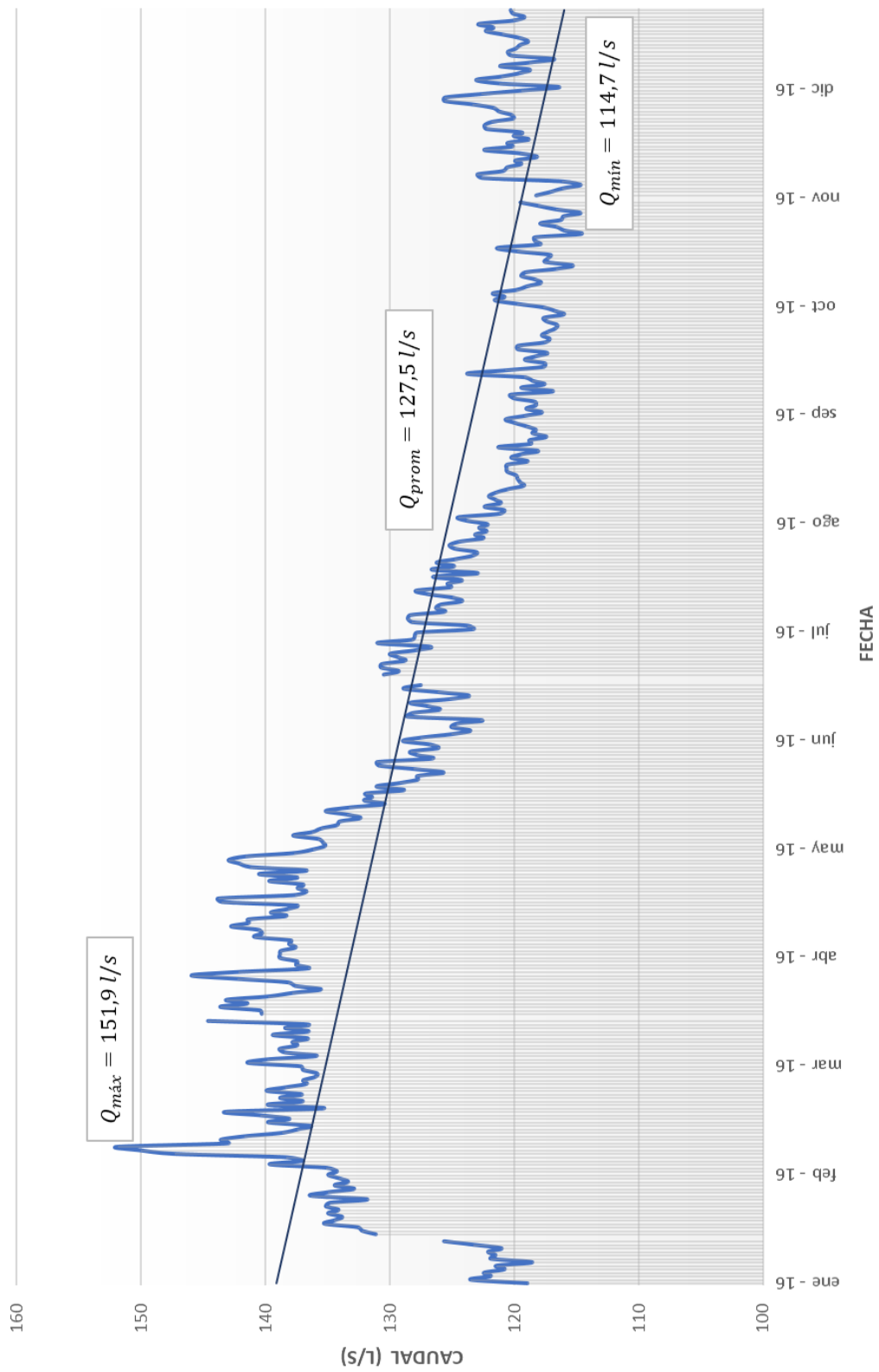
CAUDALIMETRO M-58 2016



CAUDALIMETRO M-59 2016



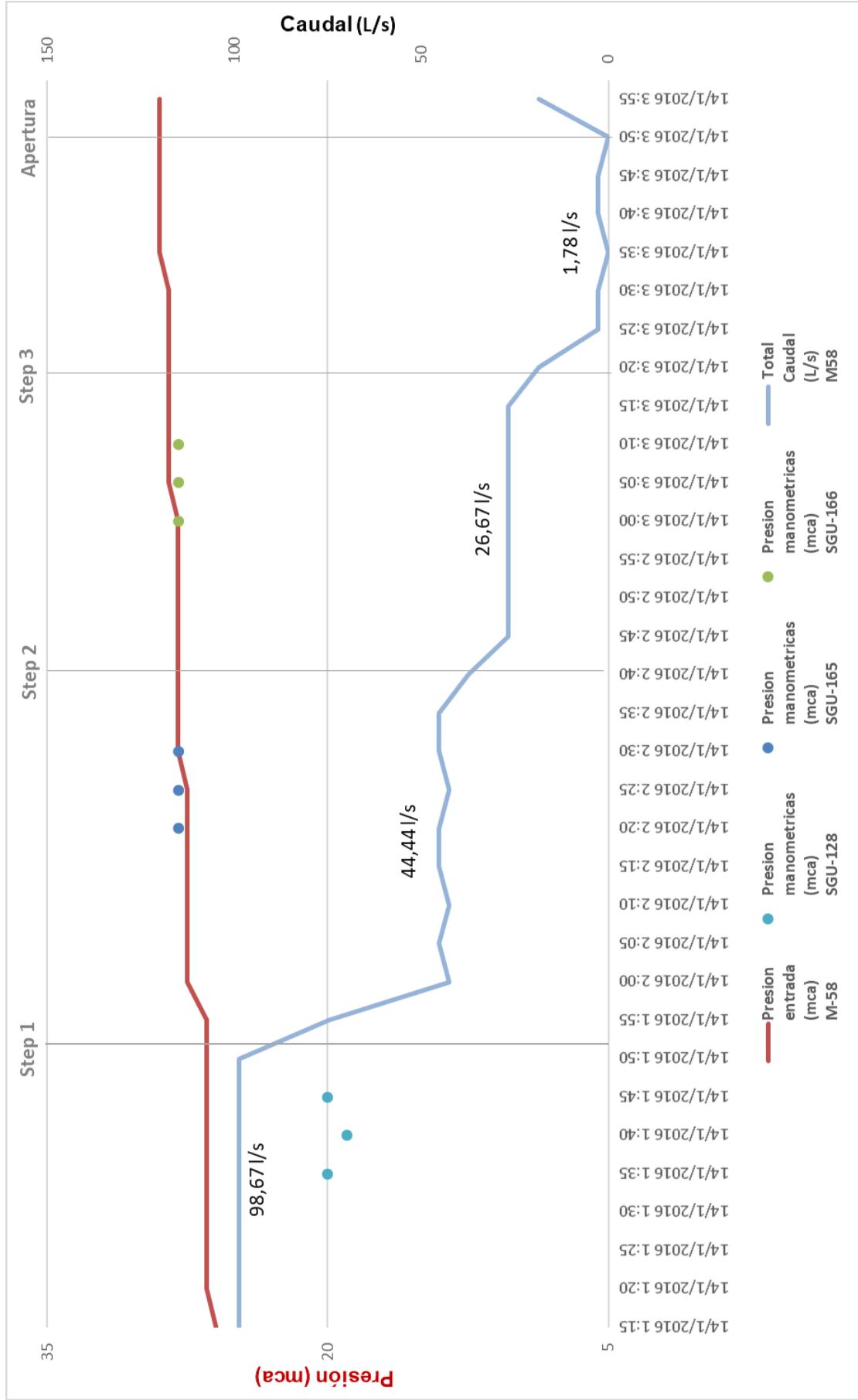
CAUDALIMETRO M-60 2016

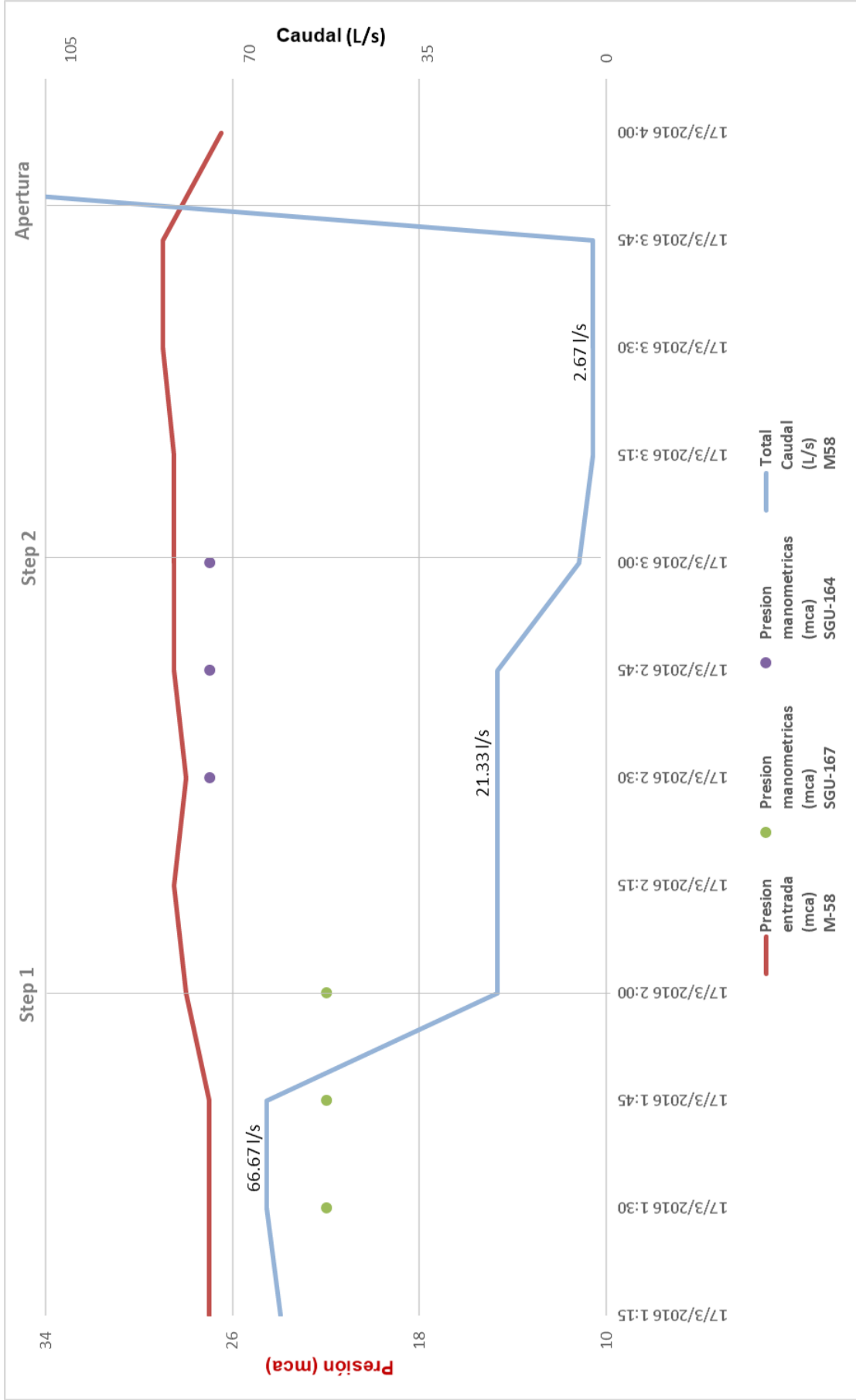


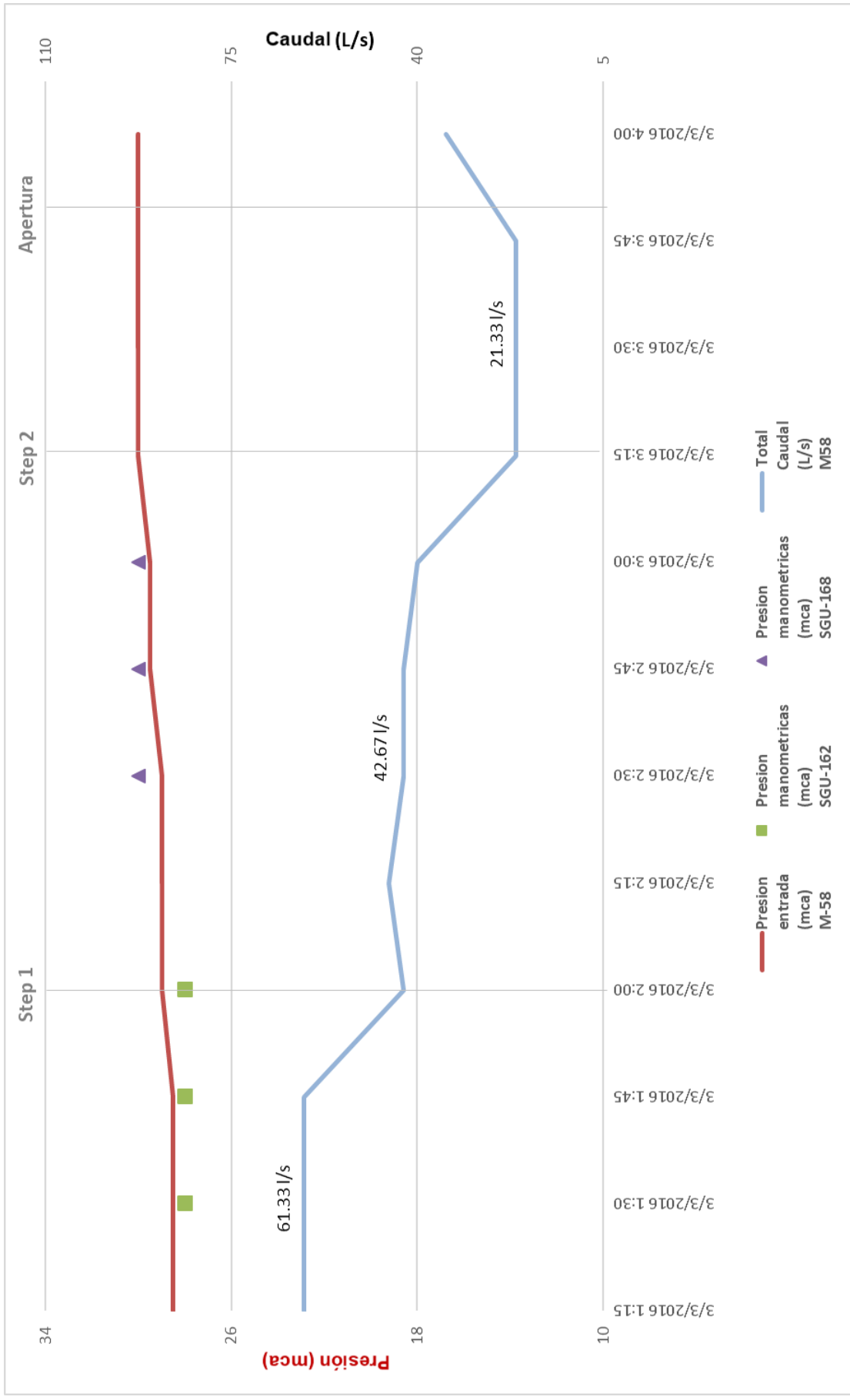
Anexo 2

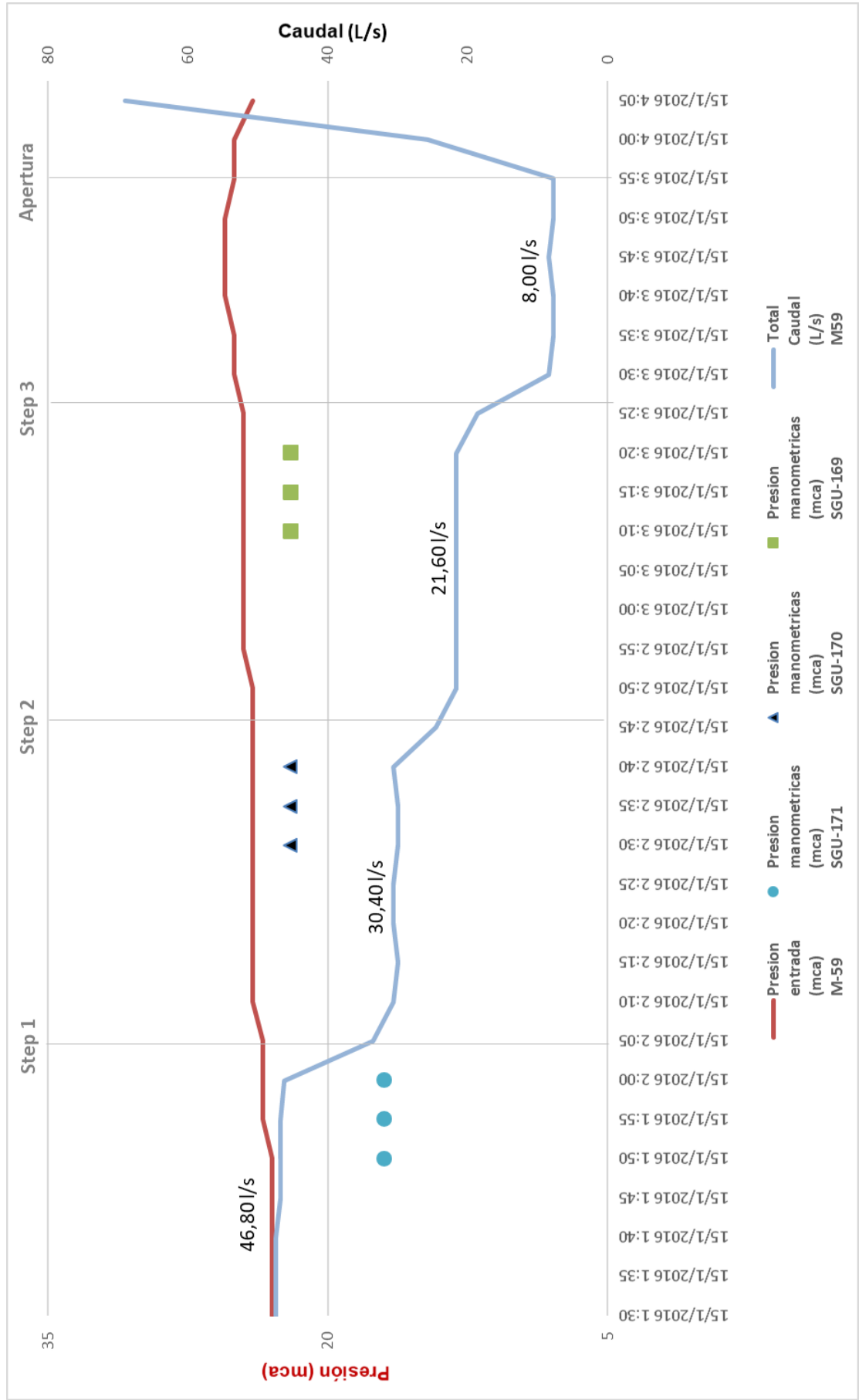
Gráfico de las mediciones del Step Test

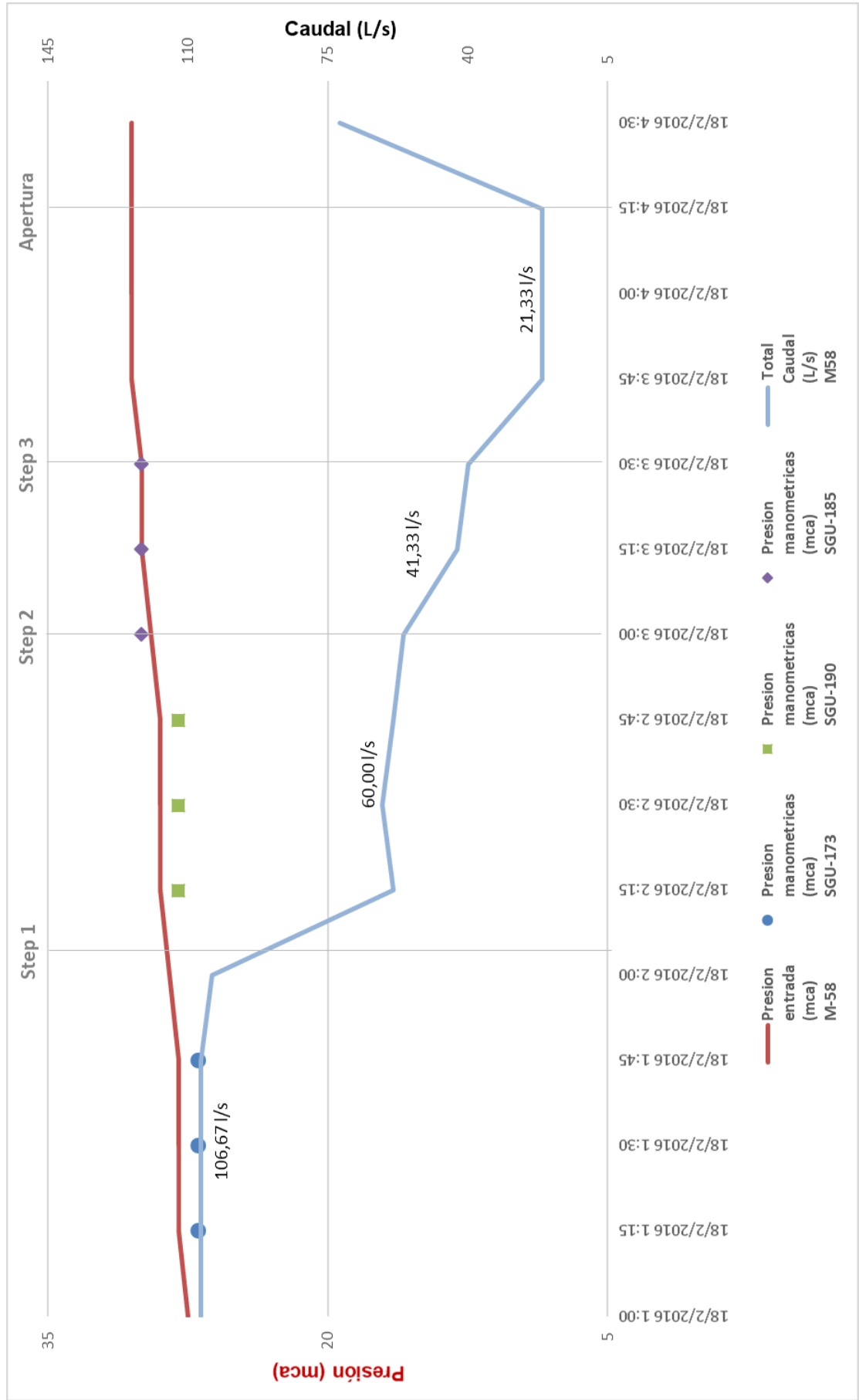
(Fuente: Interagua)

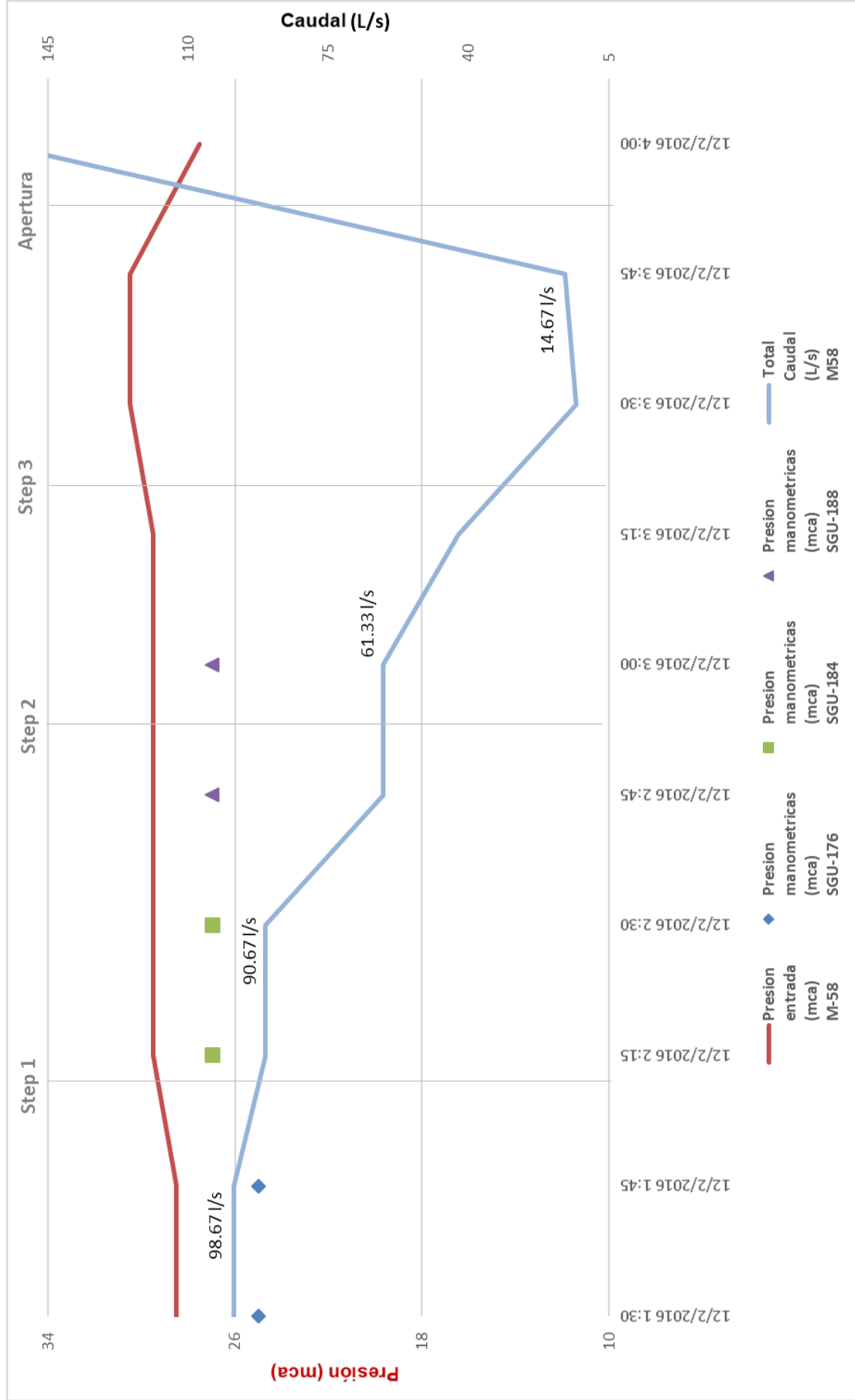


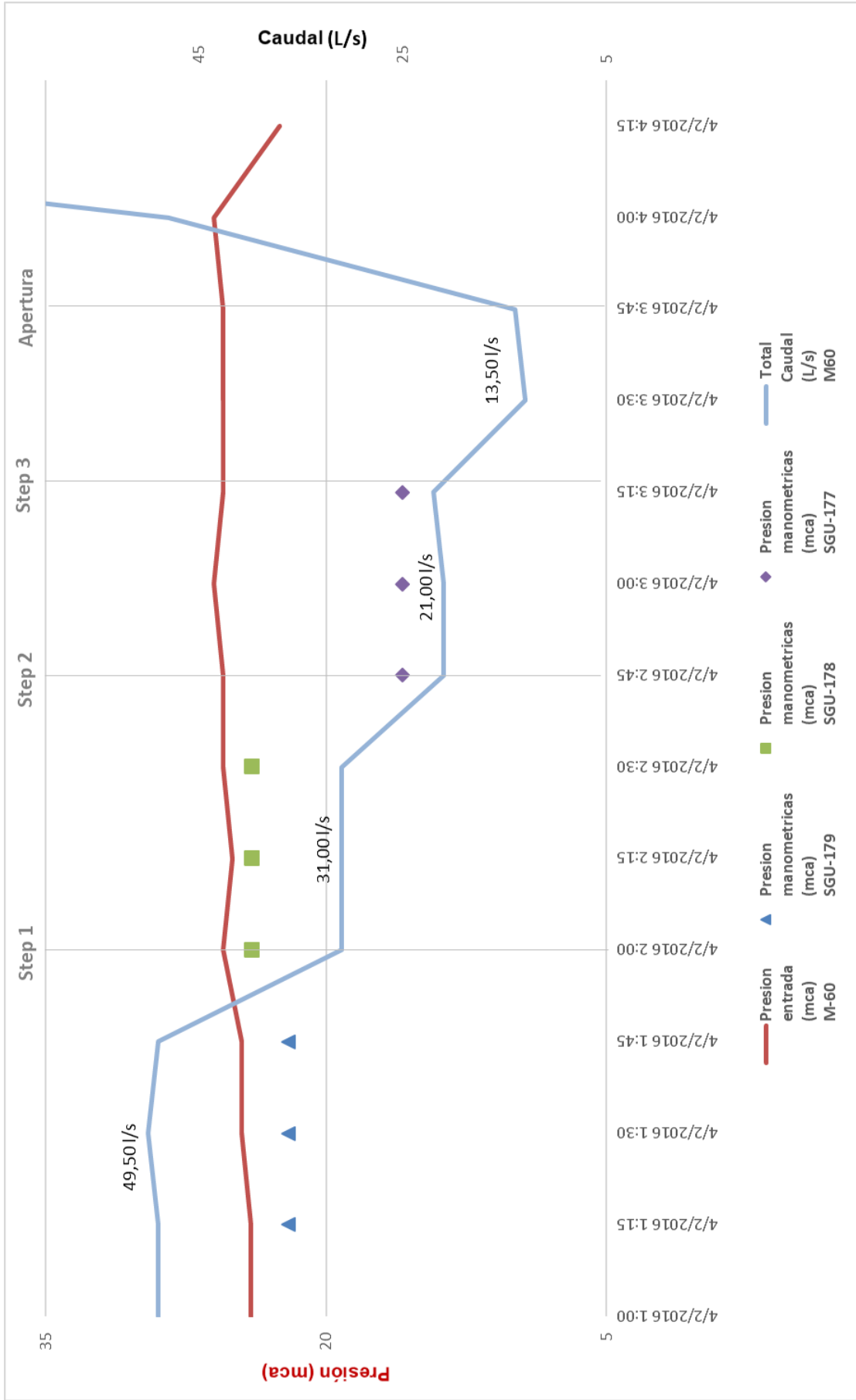


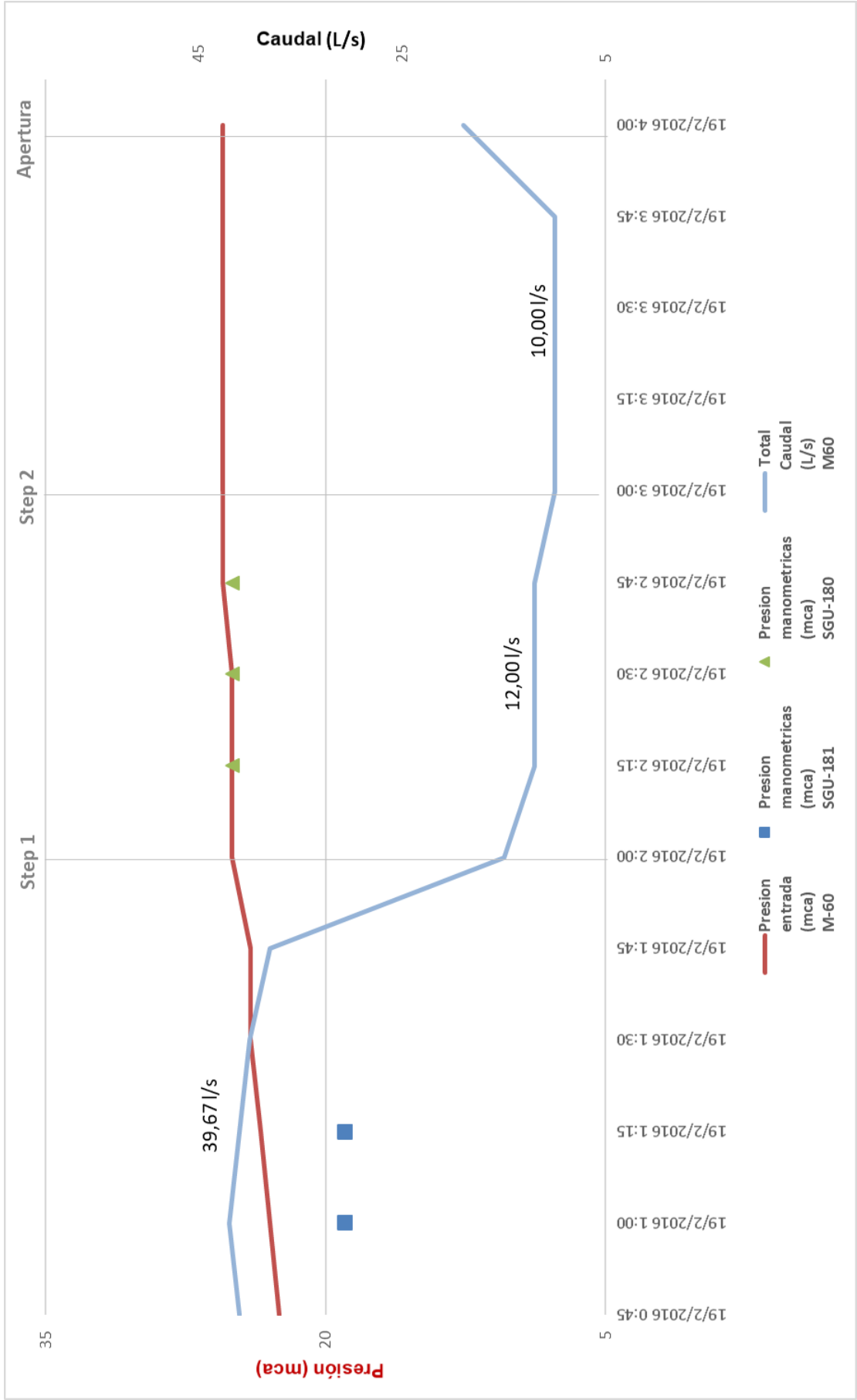


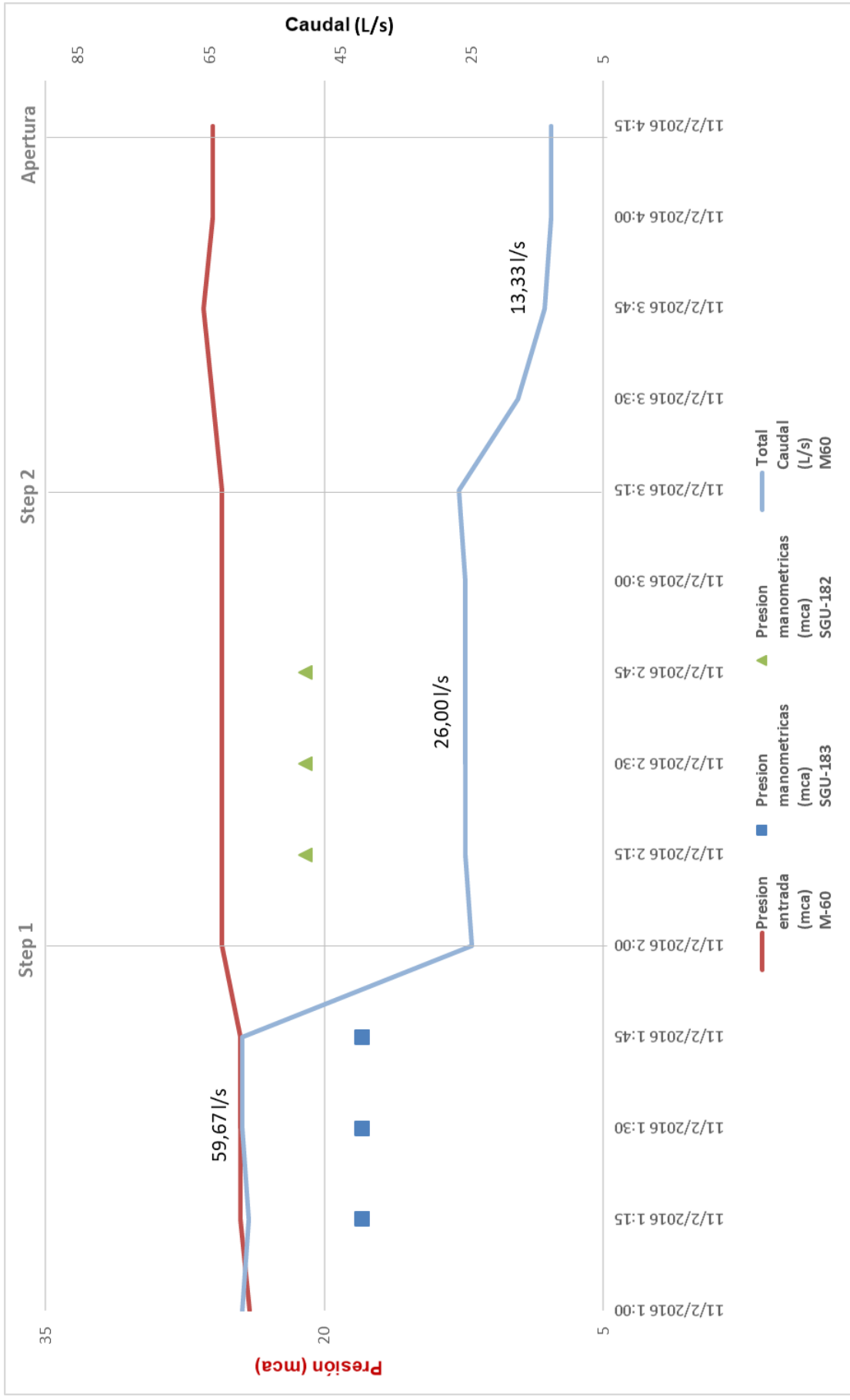


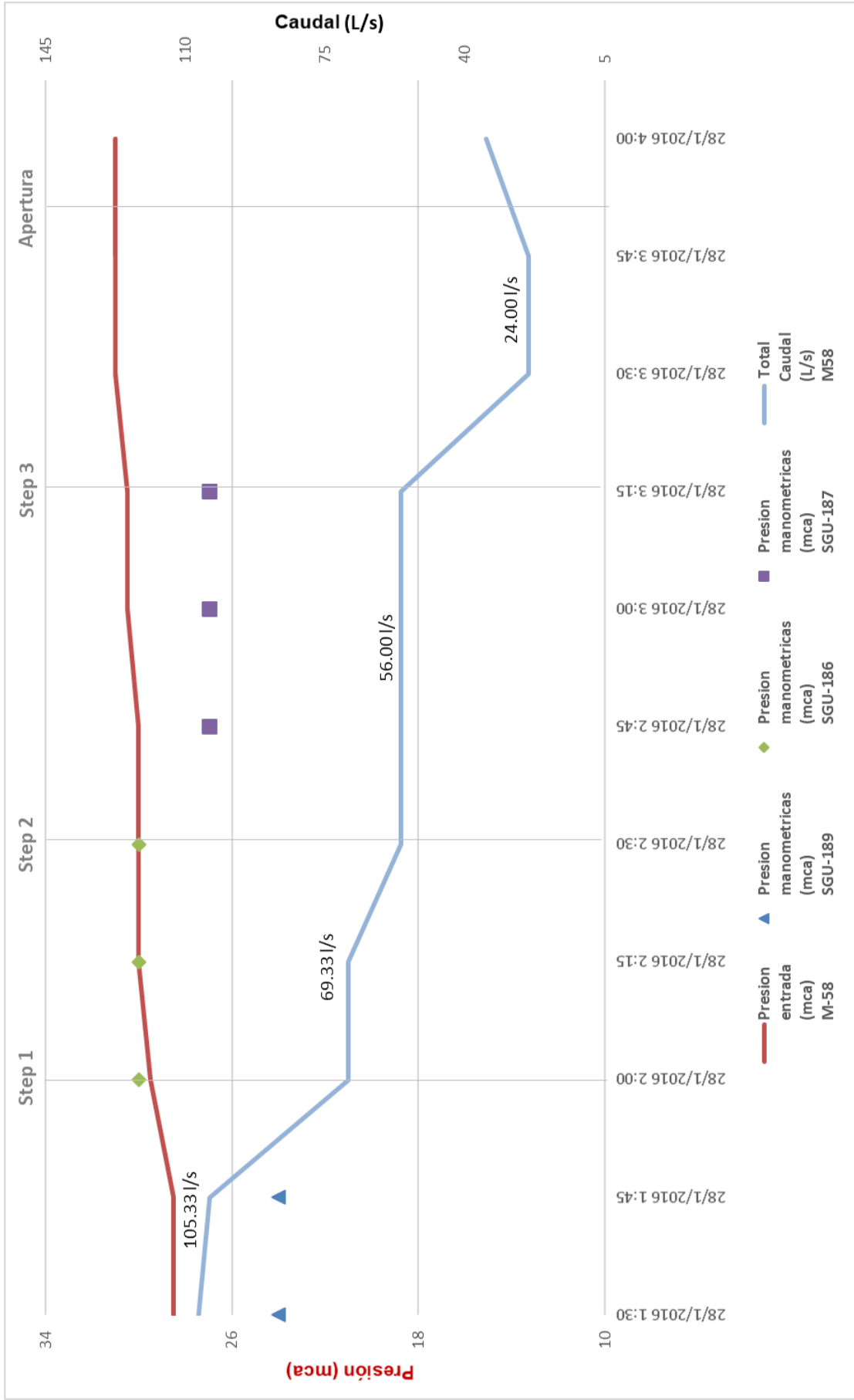


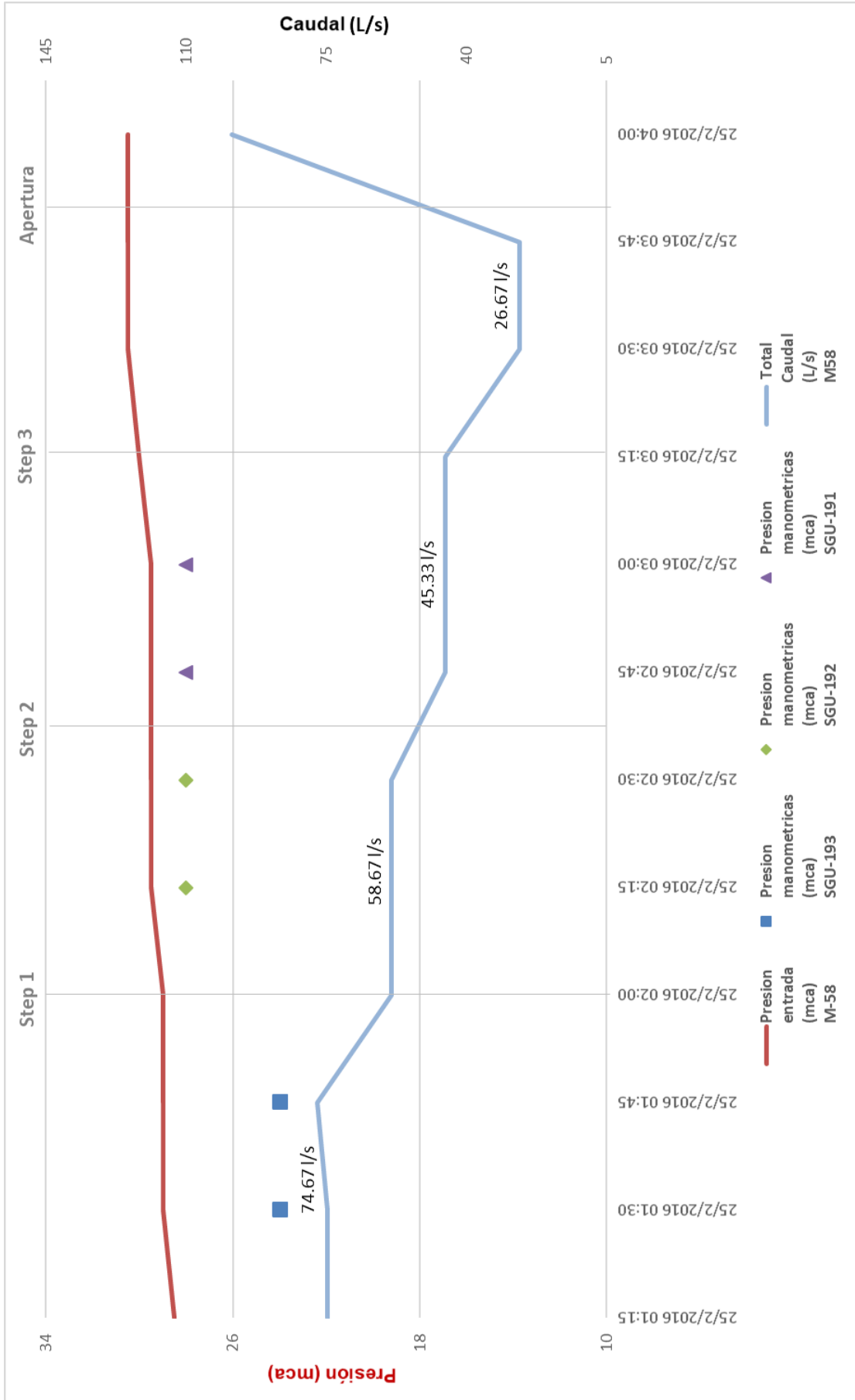


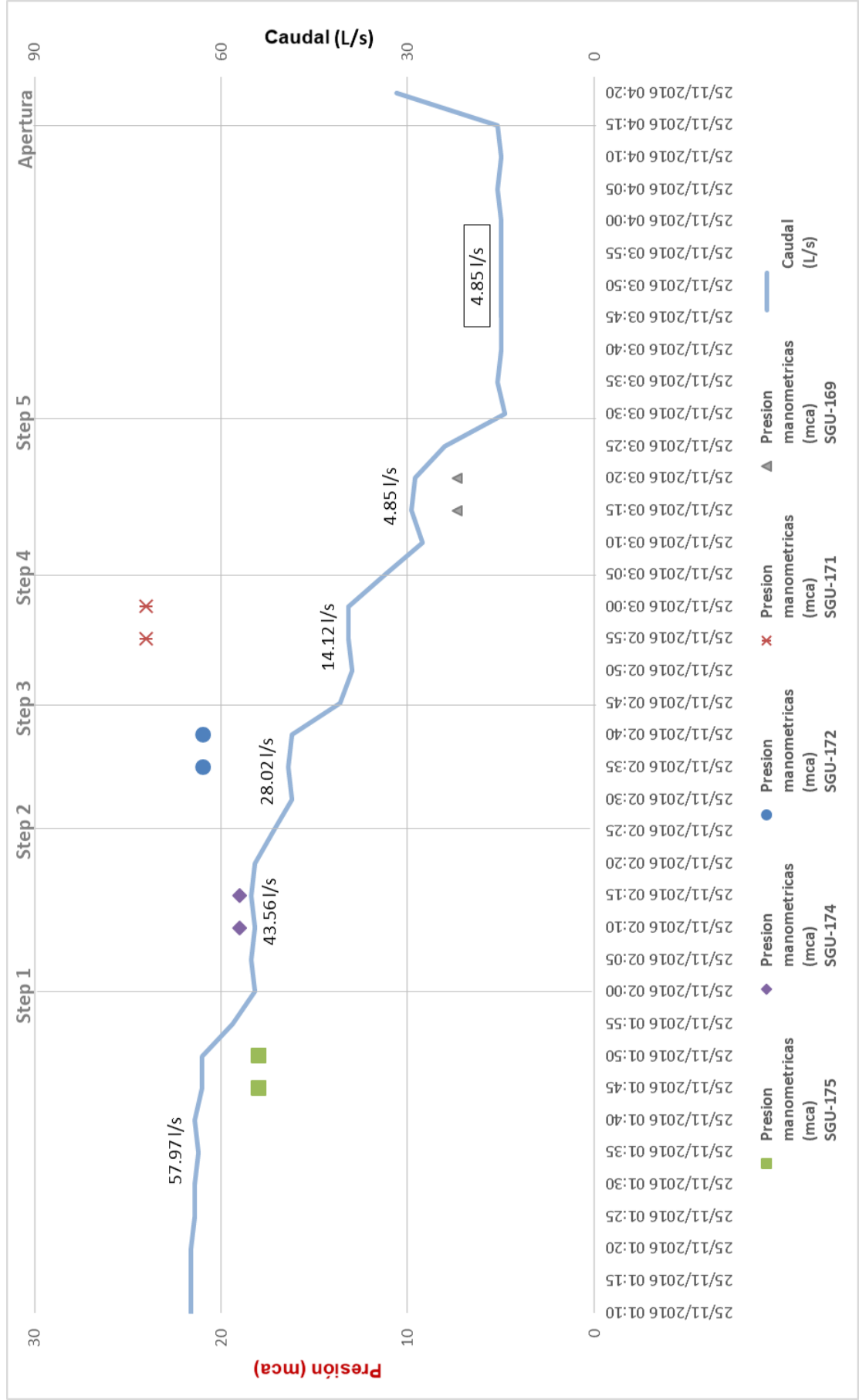








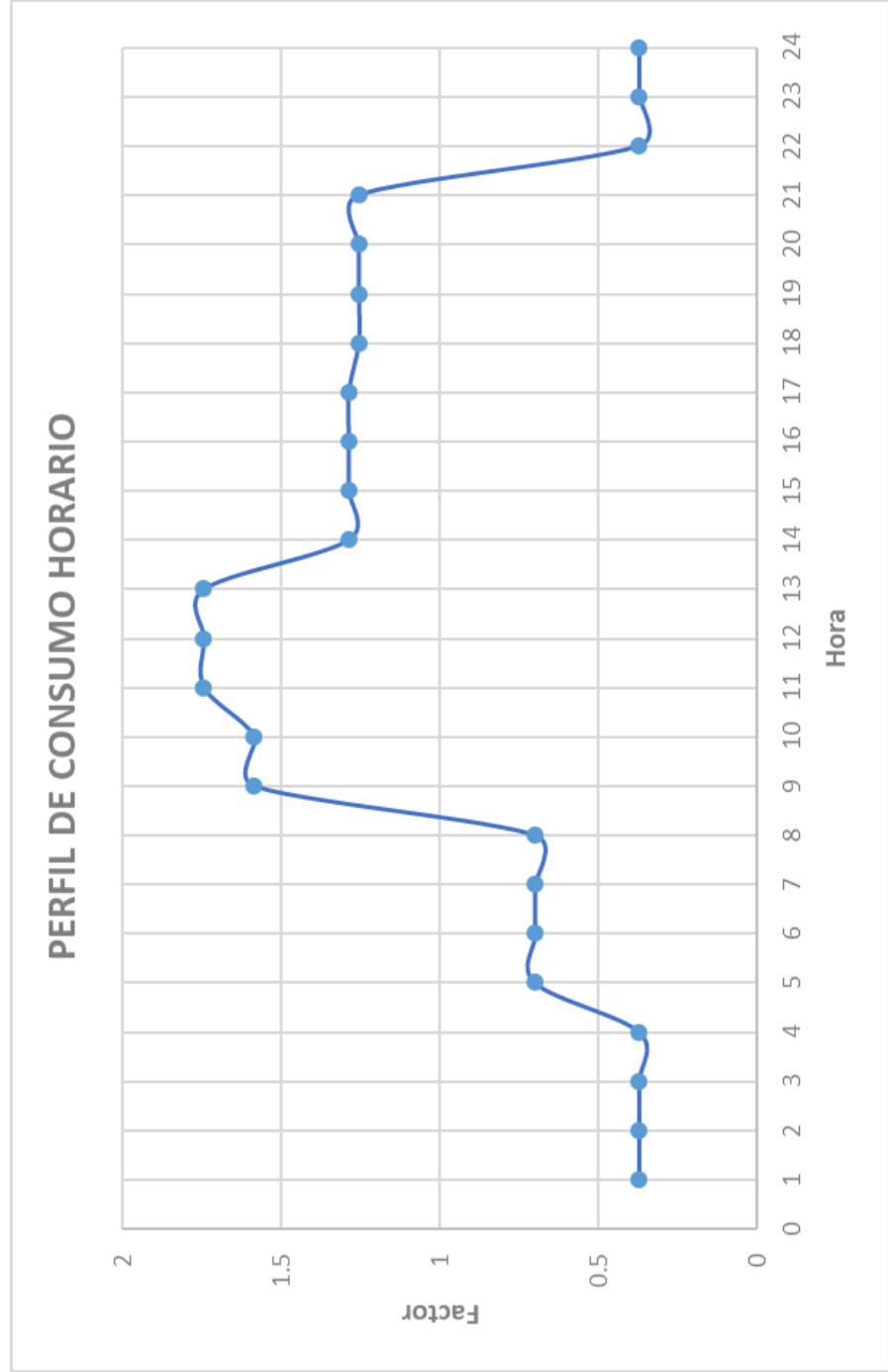




Anexo 3

Gráfico de las mediciones de obtenidas durante el pressure step test.

(Fuente: Interagua)



Anexo 4

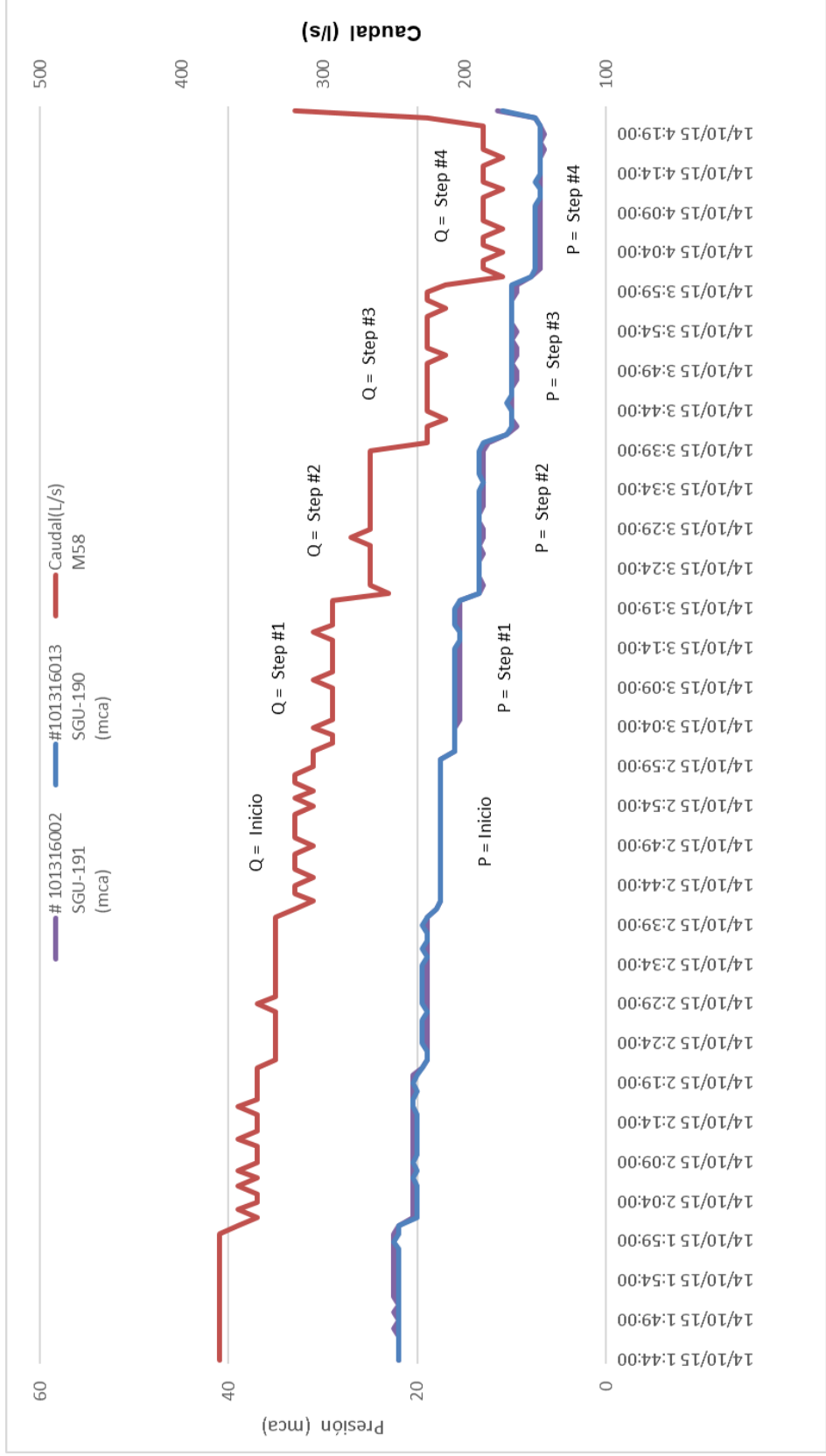
Cálculo del caudal de fuga promedio del macrosector SGU.

Sector Hidráulico	Fecha	Tipo de Prueba	Tipo de Medición	N° acometidas (u)	L. Red (Km)	\bar{q} (Consumo medio contabilizado)	AZP (bar)	q_{CMIN} / \bar{q}	q_{CMIN} (l/s)	Q_{CMIN}	$Q_{f,CMIN}$	AZNP	N1	Q_f^{prom}
SGU-128	2016-ene-13	Step test	Medición fija	2771	16.73	3.13	1.3	0.352	1.10	54.22	53.12	1.97	0.68	40.04
SGU-164	2016-mar-16	Step test	Medición fija	1126	16.27	7.94	1.5	0.352	2.79	18.67	15.88	2.70	0.68	10.64
SGU-165	2016-ene-13	Step test	Medición fija	1008	8.08	7.07	1.4	0.352	2.49	24.89	22.40	2.80	0.68	13.98
SGU-166	2016-ene-13	Step test	Medición fija	833	5.97	5.92	1.5	0.352	2.08	17.78	15.70	2.80	0.68	10.27
SGU-167	2016-mar-16	Step test	Medición fija	2475	29.15	14.07	1.1	0.352	4.95	45.33	40.38	2.20	0.68	25.20
SGU-168	2016-mar-02	Step test	Medición fija	1408	16.86	8.66	1.6	0.352	3.05	21.33	18.28	3.00	0.68	11.92
SGU-169	2016-nov-24	Step test	Medición fija	712	8.34	5.23	1.5	0.352	1.84	13.60	11.76	2.20	0.68	9.06
SGU-170	2016-ene-14	Step test	Medición fija	633	8.31	5.43	1.5	0.352	1.91	8.70	6.79	2.20	0.68	5.23
SGU-171	2016-nov-24	Step test	Medición fija	801	8.39	5.22	1.5	0.352	1.84	10.80	8.96	2.40	0.68	6.51
SGU-172	2016-nov-24	Step test	Medición fija	790	9.69	5.36	1.1	0.352	1.89	9.40	7.51	2.10	0.68	4.84
SGU-173	2016-feb-17	Step test	Medición fija	2355	27.99	13.25	1.1	0.352	4.66	46.67	42.01	2.70	0.68	22.81
SGU-174	2016-nov-24	Step test	Medición fija	980	9.06	6.06	1.4	0.352	2.13	6.00	3.87	1.90	0.68	3.14
SGU-175	2016-nov-24	Step test	Medición fija	1158	12.46	6.92	1.3	0.352	2.44	8.60	6.16	1.80	0.68	4.94
SGU-176	2016-feb-11	Step test	Medición fija	876	12.12	4.88	1.2	0.352	1.72	8.00	6.28	2.50	0.68	3.81
SGU-177	2016-feb-03	Step test	Medición fija	768	8.17	5.75	1.5	0.352	2.02	7.50	5.48	2.50	0.68	3.87
SGU-178	2016-feb-03	Step test	Medición fija	709	7.29	4.17	1.4	0.352	1.47	10.00	8.53	2.40	0.68	5.91
SGU-179	2016-feb-03	Step test	Medición fija	948	9.01	5.34	1.4	0.352	1.88	18.50	16.62	2.20	0.68	12.22
SGU-180	2016-feb-18	Step test	Medición fija	200	3.71	1.36	1.5	0.352	0.48	2.00	1.52	2.50	0.68	1.07
SGU-181	2016-feb-18	Step test	Medición fija	1719	19.15	9.9	1.1	0.352	3.48	27.69	24.21	1.90	0.68	16.69
SGU-182	2016-feb-10	Step test	Medición fija	898	9.18	4.75	1.1	0.352	1.67	12.67	11.00	2.10	0.68	7.09
SGU-183	2016-feb-10	Step test	Medición fija	1268	16.78	7.92	1.2	0.352	2.79	33.67	30.88	1.80	0.68	23.44
SGU-184	2016-feb-11	Step test	Medición fija	1953	25.22	11.32	1.2	0.352	3.98	29.33	25.35	2.70	0.68	14.60
SGU-185	2016-feb-17	Step test	Medición fija	1733	18.94	11.39	1.3	0.352	4.01	20.00	15.99	3.00	0.68	9.06
SGU-186	2016-ene-27	Step test	Medición fija	712	7.02	4.72	1.5	0.352	1.66	13.33	11.67	3.00	0.68	7.28
SGU-187	2016-ene-27	Step test	Medición fija	1750	20.70	9.66	1.2	0.352	3.40	32.00	28.60	2.70	0.68	16.48
SGU-188	2016-feb-11	Step test	Medición fija	1078	14.57	6.46	1.3	0.352	2.27	46.67	44.40	2.70	0.68	27.01
SGU-189	2016-ene-27	Step test	Medición fija	2334	25.99	9.99	1.3	0.352	3.52	36.00	32.48	2.40	0.68	21.41
SGU-190	2016-feb-17	Step test	Medición fija	1088	10.33	5.76	1.4	0.352	2.03	18.67	16.64	2.80	0.68	10.39
SGU-191	2016-feb-24	Step test	Medición fija	820	9.87	4.93	1.4	0.352	1.74	18.67	16.93	2.80	0.68	10.57
SGU-192	2016-feb-24	Step test	Medición fija	864	8.60	6.72	1.3	0.352	2.37	13.33	10.96	2.80	0.68	6.51
SGU-193	2016-feb-24	Step test	Medición fija	1387	14.53	14.9	1.3	0.352	5.24	16.00	13.50	2.40	0.68	8.90
$\Sigma = 224.18$ l/s														$\Sigma = 374.91$ l/s

Anexo 5

Gráfico de las mediciones de obtenidas durante el pressure step test.

(Fuente: Interagua)



Anexo 6

Cálculo de N1 a partir de Pressure Step Test.

(Fuente: Interagua)

Macro Medición	M58																		
Distrito de Medición	SGU-1																		
Sector hidráulico	SGU	164	165	167	173	184	186	188	190	192									
Fecha inicio		miércoles, 14 de octubre de 2015																	
Punto de medición		Av 25 de Julio y calle 53																	
Equipo de medición		Caudalímetro ultrasónico SIEMENS Sitrans F																	

	Hora de inicio	Hora de fin	Presión (AZNP) (mca)	Caudal (l/s)	Consumo nocturno (l/s)	Pérdidas físicas (l/s)	Valores calculados de N1 para pérdidas físicas													
							Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5									
Inicio		2:00	17.5	316.4	26.0	290.3														
Step 1	2:00	2:30	15.9	295.8	26.0	269.7	0.77													
Step 2	2:30	3:00	13.5	267.9	26.0	241.8	0.70	0.65												
Step 3	3:00	3:30	10.0	224.2	26.0	198.2	0.68	0.66	0.67											
Step 4	3:30	4:00	7.1	184.2	26.0	158.2	0.68	0.67	0.67	0.67										

N1 Promedio = 0.68

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Navarrete Nagua, Johanna Narcisa**, con C.C: # 1205916412 autora del trabajo de titulación: **Propuesta metodológica para la adaptación de métodos internacionales de estimación pérdidas reales de agua en sistemas urbanos de abastecimiento de agua potable de Ecuador** previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, **16 de marzo de 2018**

f. _____

Nombre: **Navarrete Nagua, Johanna Narcisa**

C.C: **1205916412**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA ADAPTACIÓN DE MÉTODOS INTERNACIONALES DE ESTIMACIÓN PÉRDIDAS REALES DE AGUA EN SISTEMAS URBANOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE ECUADOR.		
AUTOR(ES)	JOHANNA NARCISA NAVARRETE NAGUA		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	ING. NANCY VARELA TERREROS		
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL		
FACULTAD:	FACULTAD DE INGENIERÍA		
CARRERA:	INGENIERÍA CIVIL		
TÍTULO OBTENIDO:	INGENIERA CIVIL		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	16 de marzo de 2018	No. DE PÁGINAS:	103
ÁREAS TEMÁTICAS:	Redes de agua potable, Agua no contabilizada, Hidráulica urbana.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Balance hídrico, Pérdidas de agua, Distritos de medición Step test, Pressure step test, Caudal mínimo nocturno y Exponente de fuga.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>En el siguiente trabajo plantea el uso de un conjunto de estrategias para la estimación, detección y control de pérdidas reales, en los sistemas de abastecimiento del Ecuador, dispuesto con ayuda de distritos de medición. Las metodologías aplicadas son el balance hídrico, que ayuda a medir y clasificar los consumos de los usuarios, y el cálculo de caudal de fugas promedio, que es realizado a partir del análisis de los consumos medios de los usuarios, el step test y pressure step test, mediciones de presión y de coeficientes de uso nocturno, las mismas que serán comparadas y se determina el porcentaje de error entre métodos.</p> <p>Además, se efectúa el análisis del macrosector Sur-Guasmó y de sus distritos de medición, como caso de estudio, el cual se encuentra ubicado en la ciudad de Guayaquil. De los resultados de este estudio se obtiene un error entre métodos de 5,85% y porcentajes de agua no contabilizada estimados de 62,38% en el balance hídrico y 63,54% en el cálculo de caudal de fugas promedio.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-983366344	E-mail: johiinavarrete@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4 -2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA	
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	