



INSTITUTO COSTARRICENSE DE  
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

## Informe técnico

Estudio del impacto de la instalación de  
placa de orificio reductor de caudal.

**CÓDIGO: GTE-106-04-F1**

CONSECUTIVO DEL DOCUMENTO: **PIDi2020-AT63-II-ATM-1**



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
Centro de Documentación e Información  
UEN Investigación y Desarrollo



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,  
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN EL  
REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

Yo, **Eric Alonso Bogantes Cabezas**

---

---

**N° Cédula:** 5-251-0327

---

**Dependencia:** Gerencia General

---

Autorizo como Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital y Catálogo en línea (OPAC).

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

**E-mail:** [gerenciageneral@aya.go.cr](mailto:gerenciageneral@aya.go.cr) **N° Teléfono:** 2242-5090



Firmado digitalmente  
por ERIC ALONSO  
BOGANTES CABEZAS  
(FIRMA)  
Fecha: 2021.06.16  
17:21:24 -06'00'

**Firma:** \_\_\_\_\_



Macroproceso: Gestión Técnica	Proceso: Investigación y Desarrollo	Subproceso: Investigación Aplicada	CÓDIGO: GTE- 106-04-F1	Nº de Versión: 01
Elaborado por: Jorge Merzalde	Revisado por: Jorge Merzalde	Aprobado por: German Mora Rodríguez	Fecha de aprobación: 13/02/2020	

## PÁGINA DE APROBACIONES

Elaborado por: Ing. Alejandro Gamboa V.

Firmado digitalmente  
por ALEJANDRO  
GAMBOA VASQUEZ  
(FIRMA)  
Fecha: 2020.03.17  
12:08:44 -05'00'

Ing. Yaudleth Lépez V.

YAUDETH  
VANESSA LEPEZ  
VILLALOBOS  
(FIRMA)

Firmado digitalmente  
por YAUDETH  
VANESSA LEPEZ  
VILLALOBOS  
(FIRMA)  
Fecha: 2020.03.17  
12:08:44 -05'00'

Revisado por: Ing. Jorge Merzalde D.

Firmado digitalmente  
por JORGE GUILLERMO  
MERZALDE DOBLES  
(FIRMA)  
Fecha: 2020.03.17  
12:13:18 -05'00'

Aprobado por: Ing. German Mora R.

GERMAN  
GUSTAVO  
MORA  
RODRIGUEZ  
(FIRMA)

Firmado digitalmente  
por GERMAN  
GUSTAVO MORA  
RODRIGUEZ (FIRMA)  
Fecha: 2020.03.17  
12:07:41 -05'00'



## RESUMEN EJECUTIVO

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) continúa los esfuerzos para abastecer a la población ante la disminución del agua potable disponible que se presenta en la época seca. Esta escasez se ve agravada ante la alerta sanitaria por coronavirus (COVID-19). Para mitigar este desabastecimiento, se busca limitar el gasto irracional de agua potable en los usuarios, favoreciendo una mejor distribución del líquido a aquellos que, por su condición geográfica y topográfica, lo reciben de manera racionada en los sistemas que opera el AyA en la Gran Área Metropolitana (GAM).

La Dirección de la Macrozona Este (zonas 2 y 4) de la Subgerencia de Sistemas GAM, en conjunto con la dirección de Desarrollo Tecnológico de la UEN de Investigación y Desarrollo, evaluaron el impacto de la instalación de dispositivos reductores de caudal (Q) tipo placa de orificio, entre la junta de expansión (estrella) y el medidor de agua.

Los resultados de los ensayos realizados en el Laboratorio de Flujo de Agua indican que es posible limitar el consumo en conexiones domiciliarias, instalando placas de orificio con una luz de paso de 5.70 mm a la salida de los medidores DN-15.



## TABLA DE CONTENIDOS

1.	ABREVIATURAS .....	5
2.	TERMINOLOGÍA .....	5
3.	INTRODUCCIÓN.....	6
1.1	Antecedentes.....	6
1.2	Justificación .....	7
1.3	Objetivos.....	7
1.3.1	Objetivo General .....	7
1.3.2	Objetivos específicos.....	7
1.4	Alcance.....	8
1.5	Limitaciones.....	8
4.	METODOLOGÍA .....	9
1.6	Marco metodológico.....	9
1.7	Conformación del equipo .....	10
1.8	Instrumentos y herramientas utilizados .....	10
1.9	Actividades realizadas .....	11
1.9.1	Procedimiento de ensayo .....	11
5.	RESULTADOS.....	12
6.	CONCLUSIONES .....	20
7.	RECOMENDACIONES .....	21
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	22
9.	ANEXOS.....	23



## 1. ABREVIATURAS

**AyA:** Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

**GAM:** Gran Área Metropolitana.

**LFA:** Laboratorio de Flujo de Agua.

## 2. TERMINOLOGÍA

**bar:**  $10^5$  Pa (cien mil pascales) ~ 1 atm (una atmósfera) ~ 14 psi, unidad de presión.

**DN:** Diámetro nominal. Designación alfanumérica del tamaño del medidor.

**Ensayo:** Determinación de una o más características de un objeto de evaluación de conformidad, de acuerdo con un procedimiento.

**Error de medición:** Diferencia entre lo indicado por un medidor de agua y el volumen de referencia que se hace pasar por él durante un ensayo, expresado porcentualmente.

**Medidor de agua (hidrómetro):** Dispositivo para cuantificar el volumen agua que lo atraviesa.

**Tolerancia:** Rango del error de medición dentro del cual debe encontrarse un medidor para que sus condiciones de trabajo se consideren aceptables.

**Presión de agua:** Energía hidrostática medida en un punto específico de un volumen de agua, expresada como fuerza por unidad de área: psi, Pa, bar, mca,  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , etc.

**Placa de orificio:** Dispositivo que constriñe el paso de un fluido, obligándolo a aumentar su velocidad y causando una pérdida de energía apreciable. Consiste en un disco con una perforación en el centro, que se coloca de forma perpendicular a la dirección del flujo.

**Válvula:** Dispositivo mecánico utilizado para controlar el paso de un fluido por un conducto.



### 3. INTRODUCCIÓN

En la época seca pueden ocurrir disminuciones en la producción de las fuentes, así como aumentos en la demanda de los usuarios, situación que genera desabastecimiento en algunas zonas del país. Si bien la micromedición permite conocer la cantidad de agua consumida por cada uno de los usuarios, ésta no necesariamente resulta efectiva para cambiar los hábitos de consumo de los usuarios, ni para evitar el sobreconsumo y el desperdicio de agua.

Debido a la escasez del preciado líquido en algunas zonas de la GAM y a la alerta sanitaria por coronavirus (COVID-19), se ha considerado la instalación de dispositivos reductores de caudal como una forma de inhibir el consumo excesivo.

Se conoce que existe una relación directa entre la presión con que se entrega el agua a una conexión y su gasto promedio. Es decir, que los usuarios ubicados en los puntos bajos de las redes de distribución, al gozar de mayores presiones, tienden a presentar mayores consumos. Por lo tanto, la premisa es que, mediante la restricción del paso de agua se logre limitar el caudal máximo de consumo de cada usuario, y así, pueda aumentarse el volumen de agua potable disponible para distribución en la red.

#### 1.1 Antecedentes

Producto de dicha emergencia, el Ing. Carlos López, director de la Macrozona Este (zonas 2 y 4) de GAM solicitó el pasado viernes, 13 de marzo analizar las placas de orificio por él suministradas (placas de 5.70 mm y 6.76 mm) para instalarlas como dispositivo de restricción que permitan disminuir el consumo máximo de una conexión medida.



## 1.2 Justificación

Es fundamental que la Institución pueda optimizar sus recursos hídricos, humanos y financieros, dirigiéndolos a la mejora del servicio, especialmente en la coyuntura de la emergencia nacional que atravesamos.

Se busca reducir el caudal de entrada a las conexiones en las zonas bajas de las redes, para que las presiones se sostengan aguas arriba y se pueda aumentar la cobertura a los usuarios de las zonas altas.

La instalación de dispositivos reductores de caudal (placas de orificio) entre la junta de expansión (estrella) y el medidor de agua potable podrían ser una medida efectiva para mitigar el desabastecimiento estacional en la GAM.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

Evaluar el impacto de la instalación de dispositivos reductores de caudal (placas de orificio) entre la junta de expansión (estrella) y el medidor de agua potable.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- 1) Evaluar la efectividad de la utilización de placas de orificio -suministradas por el cliente interno- para funcionar como restricción del flujo en los hidrómetros, mediante ensayos de laboratorio.
- 2) Evaluar la pérdida de presión de los hidrómetros con dispositivos reductores, mediante ensayos de laboratorio.
- 3) Evaluar la exactitud de los medidores de agua con los dispositivos reductores, mediante ensayos de laboratorio.
- 4) Proyectar el desgaste de los medidores de agua con los dispositivos reductores.



#### 1.4 Alcance

El presente estudio contempló la evaluación de las capacidades metrológicas de un conjunto de medición (medidor de agua y accesorios) al cual se le ha adicionado una placa de orificio, en comparación con las capacidades del mismo conjunto de medición sin dispositivos de restricción.

Se volvió a evaluar la capacidad metrológica de cada conjunto de medición tras un proceso de desgaste acelerado para simular el uso de cerca de dos meses.

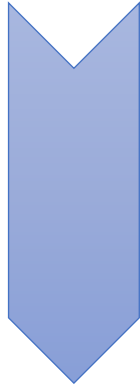
En ambos casos, la restricción de flujo se instaló en la conexión de salida del hidrómetro. Dado que las limitaciones de tiempo no permitían evaluar la efectividad de la restricción tanto a: (i) la entrada, como a (ii) la salida del medidor de agua, se decidió descartar la primera opción, por considerarse que podría tener mayor impacto sobre la exactitud de los medidores de velocidad.

#### 1.5 Limitaciones

- Complejidad de los ensayos a realizar.
- Tiempo disponible para realizar el estudio, producto de la urgencia de implementar el uso de la restricción.
- Fluctuaciones de presión en el equipo de bombeo.
- Capacidad de caudal del banco de desgaste (1000 L/h).
- Tiempo disponible para el desgaste acelerado (36 hrs).
- Espacios (plazas) disponibles (6) en el banco de desgaste debido a la alta pérdida de carga del arreglo (hidrómetro – placa de orificio).
- Por consideraciones de tiempo, no fue posible realizar los ensayos para determinar la curva del error con el dispositivo aguas arriba del medidor.

## 4. METODOLOGÍA

A continuación, se describen los pasos que se siguieron para la realización de la investigación. El proceso consistió en:



- Planificación
- Gestión de recursos
- Coordinación del equipo de trabajo
- Ensayos
- Observación de los ensayos
- Análisis de los resultados
- Redacción de informe
- Conclusión
- Recomendación

### 1.6 Marco metodológico

La presente investigación se ha desarrollado conforme a un enfoque de tipo cuantitativo; se vinculan conceptos referentes al análisis deductivo, donde se realizaron más de 50 ensayos y se obtuvieron más de 200 resultados.

El funcionamiento de la placa de orificio se basa en el efecto Venturi: cuando un fluido atraviesa una reducción en la sección transversal de la tubería, aumenta su velocidad y disminuye la presión.

Este efecto se utiliza también para medición de caudal, para control de flujo y para procesos de potabilización (mezcla de fluidos).

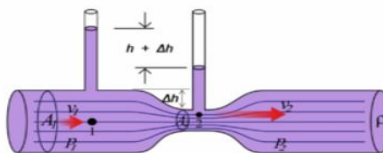
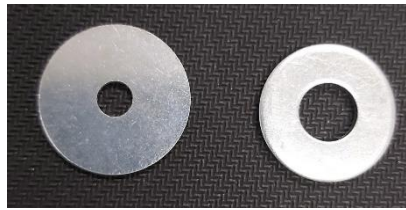


Ilustración 1: Tubo Venturi. Fuente: Referencia bibliográfica N°2.



La siguiente ilustración muestra las placas de orificio utilizadas.



*Ilustración 2: Placas con orificios de 5.70 mm y 6.76 mm de diámetro. Fuente: propia (marzo 2020)*

### 1.7 Conformación del equipo

UEN de Investigación y Desarrollo, por medio del área funcional Desarrollo Tecnológico, Laboratorio de Flujo de Agua: ingenieros Alejandro Gamboa V, Diego Chacón Z y Yaudieth Lépiz V.

### 1.8 Instrumentos y herramientas utilizados

- Banco de prueba gravimétrico.
- Banco de desgaste.
- Transductores de presión.
- Caudalímetros electromagnéticos.
- Medidores de agua DN-15.
- Calibrador Vernier.
- Placas de orificio.
- Cronometro.
- Cámara fotográfica.
- Procesadores de datos.



- Software de diseño AutoCAD.

### 1.9 Actividades realizadas

- Se seleccionaron medidores tipo velocidad y volumétricos.
- Se seleccionaron cuatro marcas de medidores diferentes, todos con un diámetro nominal DN-15: AIMEI, ITRON, FAE y ARAD.
- Se determinaron las dimensiones de dos (2) placas con diámetros de orificio de 5.70 y 6.76 mm.
- Se probaron ocho (8) unidades de medidores de agua en un «banco de prueba gravimétrico»
- Se desgastaron aceleradamente seis (6) unidades de medidores de agua en un «banco de desgaste acelerado».
- Se procesaron y analizaron los datos obtenidos.

#### 1.9.1 Procedimiento de ensayo

- **Primera fase:** consistió en determinar la diferencia de caudal y la pérdida de presión, con y sin placas de orificio. Para ello, se utilizaron los equipos instalados en uno de los bancos de prueba del LFA. Los caudales se midieron con tres caudalímetros electromagnéticos, y presión con dos transductores de presión.

Para determinar la variación de caudales se realizaron 36 mediciones: 12 mediciones para el caudal de control, 12 mediciones con la placa de 6,76 mm instalada y 12 mediciones con la placa de 5,70 mm. A la vez, se realizaron las mediciones de presiones aguas arriba y aguas abajo de las placas de orificio, para determinar la variación de la presión en cada uno de los caudales ensayados.

- **Segunda fase:** consistió en determinar los errores de medición de los hidrómetros con y sin placas de orificio. Para ello, se realizaron un aproximado de 80 ensayos a ocho (8) medidores de agua para determinar sus curvas de error. Los ensayos



se realizaron Inicialmente sin placa de orificio, como control, y posteriormente con cada tipo de placa de orificio.

**Tercera fase:** consistió en determinar la posible afectación de los medidores de agua por desgaste en presencia de las placas de orificio, por aproximadamente dos meses. Para ello, se sometieron seis (6) medidores al proceso de desgaste acelerado a un caudal de 1000 L/h, durante un periodo de 36 horas. El volumen acumulado que atravesó cada hidrómetro equivale al uso durante un periodo aproximadamente de dos meses. Posteriormente se repitió el ensayo para determinar las curvas de error de los medidores, las cuales se compararon con los errores iniciales. Según la norma ISO4064:2005, el error de medición deberá encontrarse, para medidores nuevos, dentro del rango  $\pm 2.0\%$ , y para medidores usados, dentro del rango  $\pm 4.0\%$ .

## 5. RESULTADOS

Con base en los objetivos específicos planteados y la aplicación de la metodología explicada, a continuación, se describen los resultados obtenidos.

- 1) Acerca de la efectividad de la utilización de placas de orificio -suministradas por el cliente interno- para funcionar como restricción del flujo.

Las dimensiones de la placa de orificio utilizada (5.70 mm), al tener un diámetro externo de 25.00 mm, imposibilitan la instalación de esta en la junta de expansión tipo «estrella», debido a que el diámetro interno del niple de la junta de expansión tiene la misma dimensión externa de la placa de orificio. La dimensión exterior de la placa debe ser menor a la dimensión interna de la junta para permitir que la placa se aloje en el interior de la junta.

- 2) Acerca de la pérdida de presión de los hidrómetros con dispositivos reductores.

Los ensayos realizados arrojaron los resultados sobre la pérdida de presión en la **Primera fase de ensayos** que se muestran en la Tabla 1: Comparación de caudales (L/h). Según los



resultados, la placa de orificio de diámetro 6.76 mm no provoca una reducción considerable de caudal; por esta razón, se desestima utilizar la placa para los ensayos posteriores. La placa de orificio de diámetro 5.70 mm provocó una considerable reducción de caudal, alcanzando un caudal máximo de 2287 L/h (reducción de 58%), lo cual causó una pérdida de carga de 84 psi ( $\Delta P = 59$  mca) a una presión de aproximadamente 90 psi (63 mca, capacidad del equipo de bombeo).

Ensayo	Comparación de caudales (L/h)		
	Control (sin placa)	Placa Ø 6,76mm	Placa Ø 5,70mm
1	1015	1017	977
2	1204	1132	1084
3	1399	1349	1245
4	1600	1561	1371
5	1814	1811	1582
6	1995	1748	1494
7	2210	2094	1722
8	2406	2281	1781
9	2600	2352	1855
10	2802	2525	1855
11	3003	2818	1971
12	5366	4596	2287

Tabla 1: Comparación de caudales (L/h). Fuente: propia (marzo 2020).

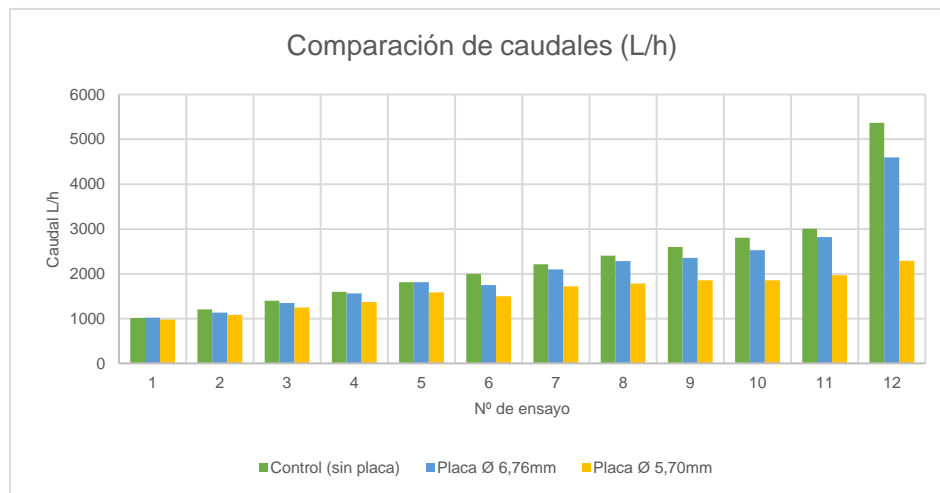


Gráfico 1: Comparación de caudales (L/h). Fuente: propia (marzo 2020).



Ensayo	Caudal de Control	Diferencia de caudal $\Delta Q$ (L/h)					
		Sin placa		Placa $\varnothing$ 6,76mm		Placa $\varnothing$ 5,70mm	
1	1015	0	0%	2	0%	-38	-4%
2	1204	0	0%	-72	-6%	-120	-10%
3	1399	0	0%	-50	-4%	-154	-11%
4	1600	0	0%	-39	-2%	-229	-14%
5	1814	0	0%	-3	0%	-232	-13%
6	1995	0	0%	-247	-12%	-501	-25%
7	2210	0	0%	-116	-5%	-488	-22%
8	2406	0	0%	-125	-5%	-625	-26%
9	2600	0	0%	-248	-10%	-745	-29%
10	2802	0	0%	-277	-10%	-947	-34%
11	3003	0	0%	-185	-6%	-1032	-34%
12	5366	0	0%	-770	-14%	-3079	-57%

Tabla 2: Efecto de la restricción sobre el caudal (L/h y porcentual). Fuente: propia (marzo 2020).

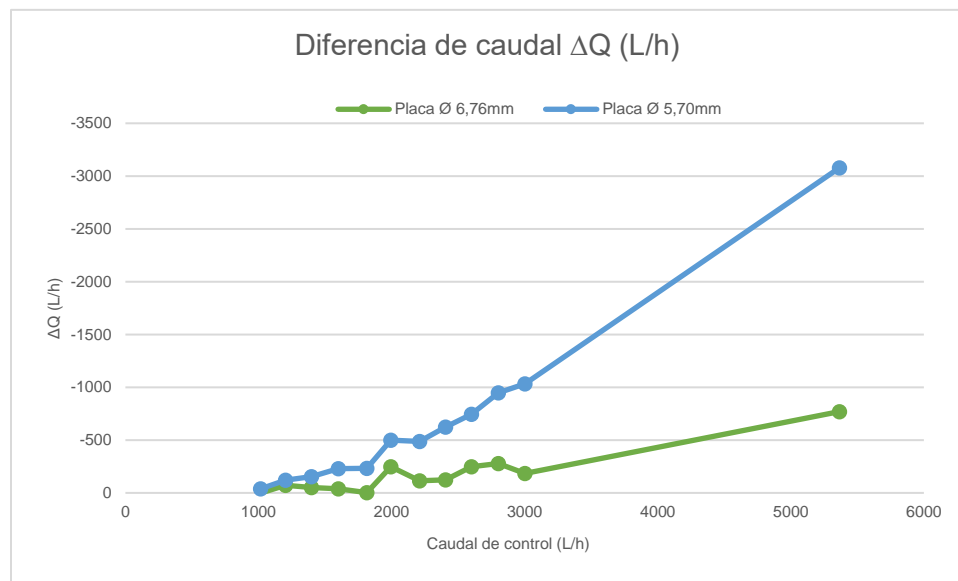


Gráfico 2: Diferencia de caudal (L/h). Fuente: propia (marzo 2020).

Con el aumento de caudal, se observa que la pérdida de carga es mayor con la placa de diámetro 5.70 mm que con la placa de diámetro 6.76 mm. En términos prácticos, la placa de 6.76 mm no tiene la capacidad de regular caudales de estas características. Al contrario, la placa de 5.70 mm muy efectiva para regular caudales por encima de 1000 L/h. Es importante indicar, que en el caudal de 1582



L/h (ensayo N°5) se detectó la ocurrencia de cavitación incipiente y al caudal de 1855 L/h (ensayo N°9) la cavitación tiene una intensidad crítica. ["Clic" para ver video de cavitación.](#)

Prueba	Caudal	Pérdida de carga $\Delta P$ (psi)					
		Control (sin placa)		Placa $\varnothing$ 6,76mm		Placa $\varnothing$ 5,70mm	
1	1015	2.76	3%	4.50	5%	13.78	15%
2	1204	3.77	4%	4.64	5%	18.42	20%
3	1399	5.37	6%	6.09	7%	24.51	26%
4	1600	6.38	7%	8.27	9%	30.46	33%
5	1814	8.12	9%	11.02	13%	34.52	39%
6	1995	9.72	12%	10.30	12%	35.39	39%
6	2210	11.60	14%	14.65	18%	43.51	49%
7	2406	13.63	18%	17.11	22%	46.99	54%
8	2600	15.81	22%	19.58	25%	48.73	59%
9	2802	18.27	27%	21.76	31%	53.95	67%
10	3003	21.03	36%	26.54	41%	60.05	76%
11	5366	43.51	56%	62.66	74%	84.41	89%

Tabla 3: Pérdida de carga. Fuente: propia (marzo 2020).

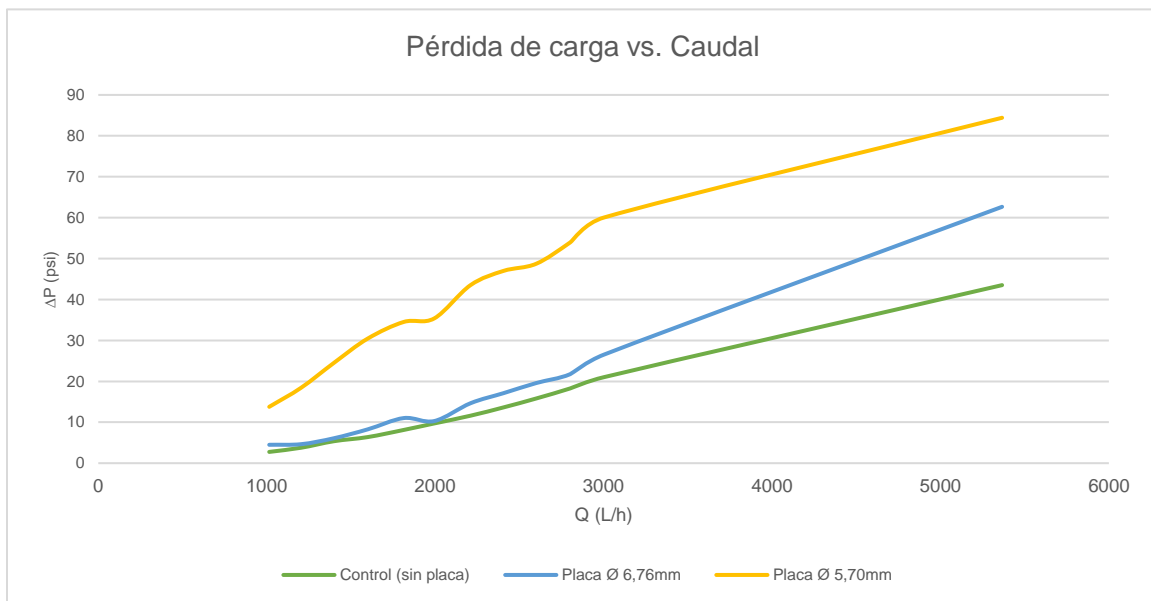


Gráfico 3: Pérdida de carga (psi). Fuente: propia (marzo 2020).



En el caudal de 1000 L/h la pérdida de presión ronda los 10 psi y conforme se incrementa el caudal la pérdida de carga se incrementa considerablemente hasta 84 psi en el ensayo de 5366 L/h.

3) Acerca de la exactitud de los medidores de agua con los dispositivos reductores.

Mediante ensayos de exactitud, para esta **segunda fase** los resultados obtenidos reflejan que los errores de medición de los hidrómetros prácticamente no se ven afectados por la instalación de las placas orificios, ubicados a una distancia de cero ('0') diámetros aguas abajo. Las diferencias que se perciben entre las pruebas realizadas obedecen a la incertidumbre propia del proceso de prueba. Ver tabla de resultados en el anexo, en la cual se aprecia que los errores de medición, producto del uso de la placa de orificio, se encuentran dentro del rango de tolerancia definido por la norma ISO4064:2005 (ver tablas en el anexo de resultados del error sin placa de orificio y con placa de orificio). En un caso señalado en rojo (error superior en las tablas del anexo a +2.0%, se observa corrección al aplicar la placa de orificio, lo cual permite que este por debajo de ese valor).

4) Acerca del desgaste de los medidores de agua con los dispositivos reductores

En esta **tercera fase de ensayos** y después de aplicar el proceso de desgaste a los medidores, no se observa una variación considerable. (ver resultados en el anexo acerca del error de medición posterior al desgaste, por debajo de los valores que indica la ISO 4064:2005). A continuación, en los gráficos siguientes se muestran los resultados de los medidores ensayados.

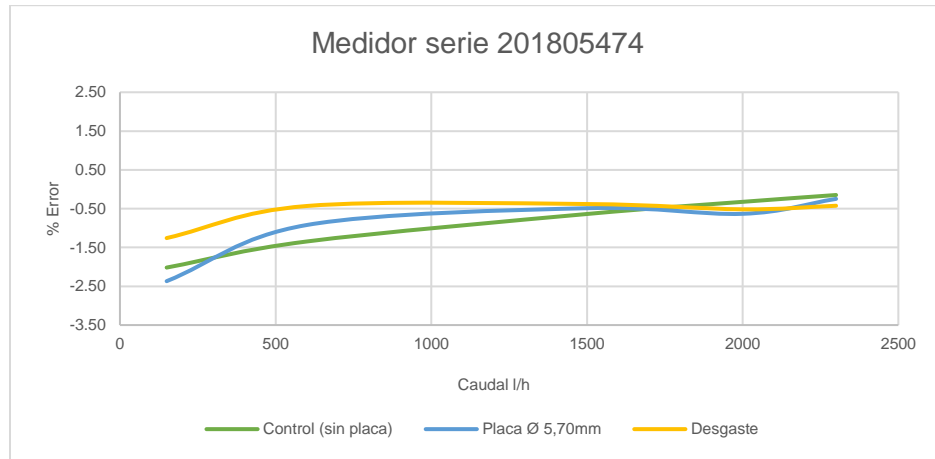


Gráfico 4: Curva del error, medidor nuevo serie 201805474. Fuente: propia (marzo 2020).

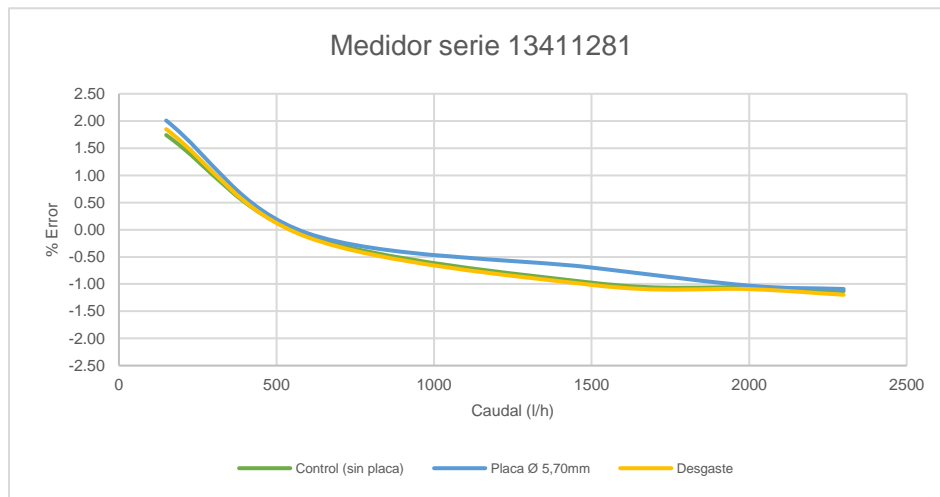


Gráfico 5: Curva del error, medidor usado serie 13411281. Fuente: propia (marzo 2020).

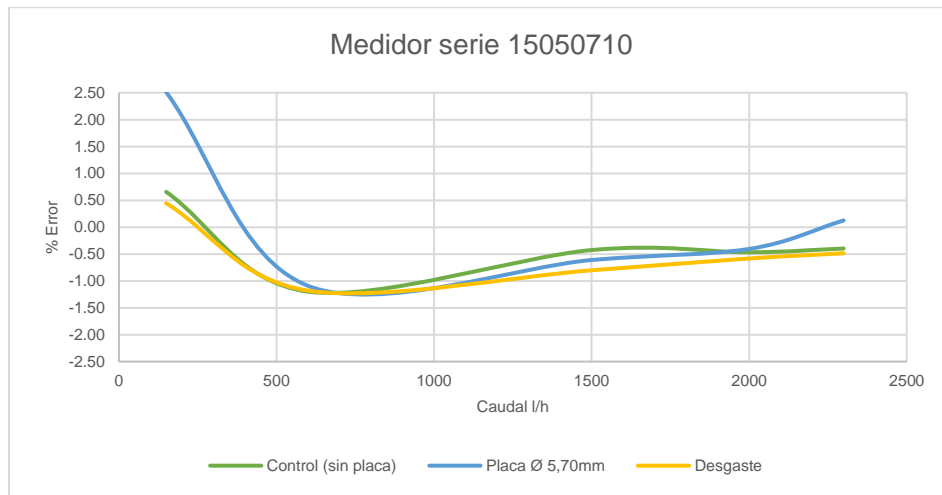


Gráfico 6: Curva de error, medidor usado serie 15050710. Fuente: propia (marzo 2020).

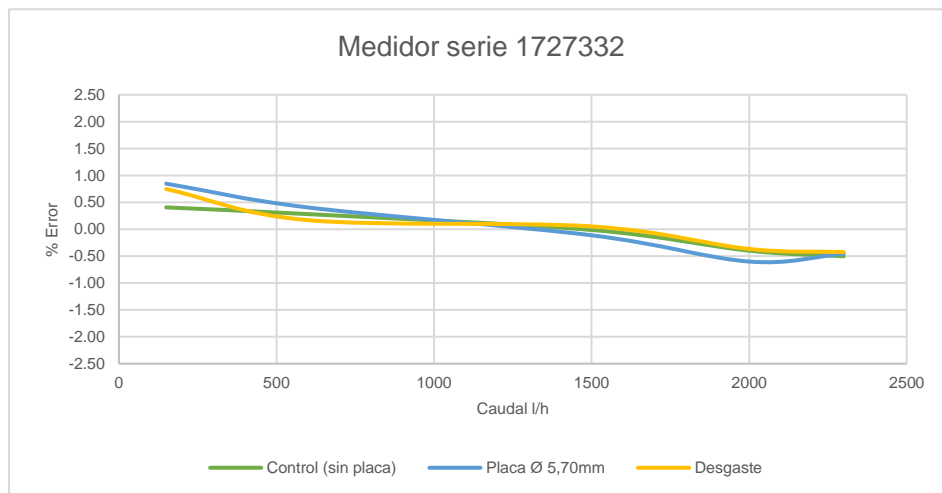


Gráfico 7: Curva de error, medidor usado serie 1727332. Fuente: propia (marzo 2020).

Por otra parte, se observó un deterioro considerable en el recubrimiento del material (galvanizado). Es decir, posiblemente los efectos combinados de corrosión del cloro en el agua, así como abrasión y cavitación del flujo provocaron que la cubierta galvanizada se comenzara a debilitar, dejando expuesto el material (acero) que se muestra oxidado alrededor del orificio. Es de esperar que este



efecto de debilitamiento del material se exacerbe con tiempos prolongados de exposición.



*Ilustración 3: Placa de orificio 5.70 mm después del desgaste acelerado. Fuente: propia (marzo 2020).*



## 6. CONCLUSIONES

1. Los resultados de los ensayos realizados determinan que la placa con orificio de 6,76 mm no presenta un área de paso suficientemente pequeña, que provoque una disminución importante en el caudal.
2. La placa con orificio de 5.70 mm presenta un área de paso suficientemente pequeña para provocar la reducción del caudal de un 4% a un 25%, en el rango de caudales utilizados en campo: menores a 2 000 L/h, y hasta de 57% en caudales de aproximadamente 5 400 L/h.
3. Para caudales por debajo de 1 000 L/h, el efecto de la restricción es despreciable, aún para el caso del orificio de 5.70 mm.
4. Después del proceso de desgaste se evidenció un daño ocasionado, posiblemente por el efecto del cloro y de la cavitación ocasionada por la propia restricción al paso del fluido. Sería esperable que la exposición prolongada provoque daños importantes en las placas utilizadas para este fin.
5. Las dimensiones de la placa de orificio utilizada (5.70 mm), específicamente el diámetro externo (25.00 mm) imposibilita la instalación del dispositivo en la junta de expansión «estrella», debido a que poseen el mismo diámetro.
6. Los resultados del ensayo para determinar la curva del error indican que no hay una afectación metrológica por la instalación de la placa de orificio. Asimismo, tras aplicar el proceso de desgaste acelerado por 36 horas, la calidad metrológica del hidrómetro no presenta afectación alguna (ver tabla de resultados tras el desgaste en anexo).



## 7. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar la placa de orificio con diámetro interno de 5.70 mm y un diámetro externo entre 22.00 y 23.50 mm, para que ésta pueda ser introducida en el niple de la junta de expansión.
2. Se recomienda valorar la instalación de la placa de orificio de 5.70 mm en los sistemas operativos GAM y Periféricos donde se presenten presiones altas (usualmente puntos bajos de la red), que ocasionen dificultades de abastecimiento para las zonas más altas.
3. Se recomienda utilizar placas de orificio con materiales de mayor resistencia a la corrosión y a la cavitación, como es el caso de algunos aceros inoxidables y ciertos polímeros.
4. Se recomienda instalar la placa de orificio exclusivamente aguas abajo del medidor de agua, como lo muestra la ilustración 4 del anexo. Esto, debido a que la instalación aguas arriba podría provocar un aumento en la velocidad del agua y el traslado de la cavitación al interior del hidrómetro, dando como resultado un efecto de sobre-registro y de deterioro temprano de los medidores.
5. Deberá respetarse la dimensión del orificio de la placa utilizada en el presente estudio. En caso de requerirse la utilización de placas con orificios menores, deberán repetirse los ensayos, pues se desconocen los efectos que esta variación tendría sobre la calidad de la micromedición.
6. Se recomienda realizar un nuevo estudio para las mismas seis unidades de medidores de agua ensayadas, considerando un desgaste acelerado que simule un uso de 12 meses consecutivos, para determinar el deterioro de la placa y el efecto sobre la curva del error de los medidores al cabo de un año.



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Wika 2015. Blog de instrumentación. Consultado el 16-03-2020.  
<https://www.bloginstrumentacion.com/productos/caudal/elementos-primarios-de-caudal-placas-de-orificio/>
- 2) Cómo funciona. Consultado el 16-03-2020. <https://como-funciona.co/una-placa-de-orificio/>
- 3) Arregui de la Cruz, Francisco. (1998). *Propuesta de una metodología para el análisis y gestión del parque de contadores de agua en un abastecimiento*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- 4) Palau Estevan, Carmen V. (2005). *Aportaciones a la gestión de los sistemas de medición de caudal en redes de distribución de agua a presión*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

## 9. ANEXOS

### Medidor de agua, placa de orificio 5.70 mm, junta de expansión «estrella»

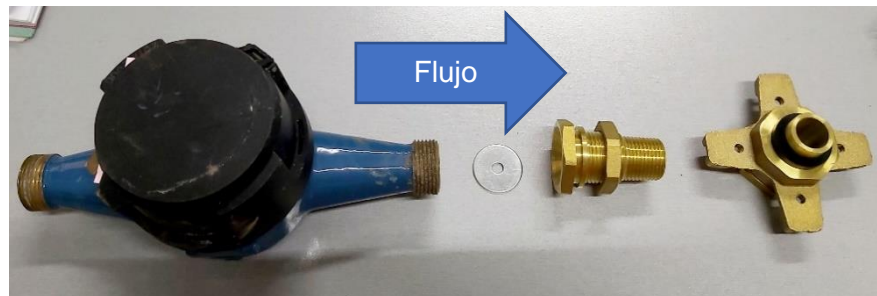


Ilustración 4: Medidor DN-15, placa 5.70 mm y junta de expansión. Fuente: propia (marzo 2020).

### Dimensionamiento de ambas placas de orificio

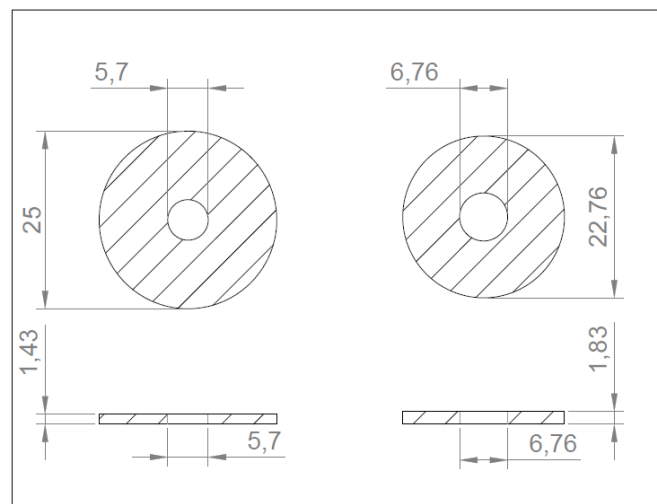


Ilustración 5: Dimensionamiento de las placas. Fuente propia (marzo 2020).



## Caudalímetros electromagnéticos



*Ilustración 6: Caudalímetros electromagnéticos. Fuente: propia (marzo 2020).*

## Transductores de presión



*Ilustración 7: Transductor de presión. Fuente: propia (marzo 2020).*



## Banco de prueba gravimétrico



*Ilustración 8: Banco de prueba gravimétrico. Fuente: propia (marzo 2020).*

## Banco de desgaste



*Ilustración 9: Banco de desgaste. Fuente: propia (marzo 2020).*



### Plano de Junta de Expansión

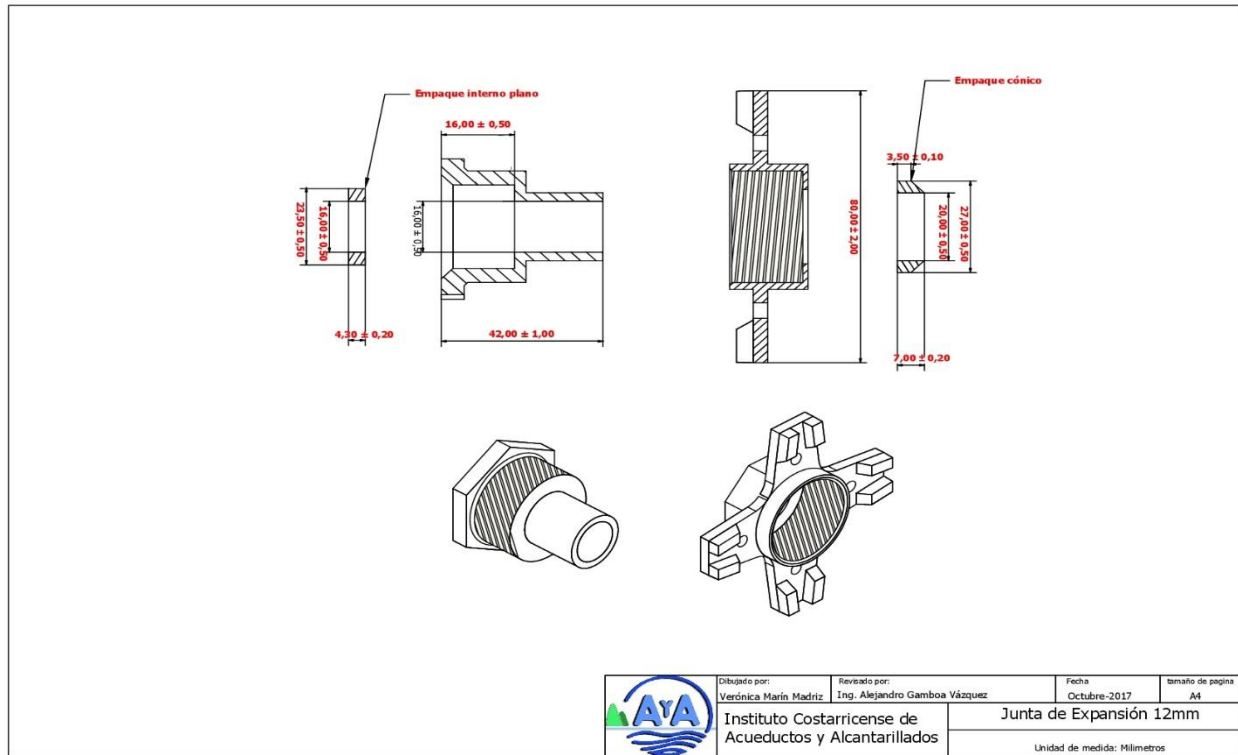


Ilustración 10: Plano de junta de expansión. Fuente: propia (marzo 2020).

## Estimación de errores de medición

### Prueba de control (sin placa).

Control (sin placa)									
Prueba	Caudal (L/h)	Medidores Usados		Medidores Nuevos				Medidores Usados	
		1341281	1352321	201805472	201805476	201805471	201805474	1727332	15050710
1	150	1.74%	1.74%	-0.77%	-1.27%	4.25%	-2.02%	0.41%	0.66%
2	600	-0.11%	1.27%	-0.02%	-0.46%	-0.90%	-1.35%	0.28%	-1.20%
3	1500	-0.97%	-0.64%	0.00%	-0.16%	0.04%	-0.64%	-0.01%	-0.43%
4	2000	-1.06%	-0.84%	0.36%	-0.04%	0.40%	-0.32%	-0.40%	-0.47%
5	2300	-1.13%	-0.91%	0.41%	0.09%	0.69%	-0.15%	-0.50%	-0.40%

Tabla 4: Estimación de errores de medición de hidrómetros sin placa (control). Fuente: propia (marzo 2020).

### Prueba con placa de orificio de $\varnothing$ 5,70 mm.

Placa $\varnothing$ 5,70mm									
Prueba	Caudal (L/h)	Medidores Usados		Medidores Nuevos				Medidores Usados	
		1341281	1352321	201805472	201805476	201805471	201805474	1727332	15050710
1	150	2.01%	1.86%	-0.62%	-0.94%	-1.18%	-2.37%	0.85%	2.51%
2	600	-0.07%	0.25%	-0.28%	-0.85%	0.07%	-0.92%	0.40%	-1.09%
3	1500	-0.70%	-0.61%	0.72%	0.28%	0.55%	-0.49%	-0.11%	-0.61%
4	2000	-1.03%	-0.79%	0.58%	0.33%	1.26%	-0.63%	-0.60%	-0.40%
5	2300	-1.09%	-0.90%	0.71%	0.31%	1.25%	-0.25%	-0.46%	0.13%

Tabla 5: Estimación de errores de medición de hidrómetros con placa 5.70 mm. Fuente: propia (marzo 2020).

### Prueba con placa de orificio de $\varnothing$ 5,70 mm DESPUÉS DEL DESGASTE.

Después del desgaste							
Prueba	Caudal (L/h)	Medidor Usado		Medidor Nuevo		Medidor Usado	
		1341281	1352321	201805474	201805471	15050710	1727332
1	150	1.85%	2.05%	-1.26%	0.00%	0.45%	0.75%
2	600	-0.14%	0.08%	-0.43%	0.42%	-1.18%	0.17%
3	1500	-1.02%	-0.72%	-0.38%	1.69%	-0.80%	0.05%
4	2000	-1.09%	-0.88%	-0.52%	1.84%	-0.58%	-0.37%
5	2300	-1.20%	-0.94%	-0.43%	1.80%	-0.49%	-0.43%

Tabla 6: Estimación de errores de medición de hidrómetros con placa 5.70 mm después del desgaste. Fuente: propia (marzo 2020).