Metodología de Evaluación de Medidores y su Aplicación en Diversas Condiciones Operativas y de Consumo

gtz

COOPERACION
REPUBLICA DEL PERU
REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA

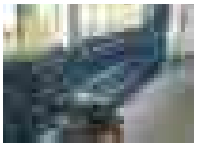
Programa de Agua Potable
y Alcantarillado

Metodología de Evaluación de Medidores y su Aplicación en Diversas Condiciones Operativas y de Consumo

Indice

Presentación 5

Resumen Ejecutivo 7



Capítulo 1. Evaluación del Comportamiento Metrológico 22
1.1 Objetivo y etapas
1.2 Materiales y equipos utilizados
1.3 Variables y procedimiento
1.3.1 Determinación de la curva de error
1.3.2 Determinación de la pérdida de carga
1.4 Análisis e interpretación de resultados
1.4.1 Consideraciones iniciales
1.4.2 Análisis del comportamiento
A Tendencias en el caudal de arranque
B Tendencias en la operación del sistema (24 horas o inferior)
C Tendencia en función de la continuidad del servicio con caudales característicos
D Análisis de la pérdida de carga

Capítulo 2. Desarrollo del Trabajo de Campo 42
2.1 Objetivo y etapas
2.2 Materiales y equipos utilizados
2.2.1 Materiales utilizados
2.2.2 Equipos utilizados
2.3 Condiciones hidrodinámicas y del consumo
2.3.1 Variables operacionales
2.3.2 Variables comerciales
2.4 Interpretación de resultados
2.4.1 Consideraciones iniciales
2.4.2 Interpretación de resultados
A Por grupos de consumo
B Interpretación de resultados por parámetros operacionales

Conclusiones 63

Anexos 67

Glosario de términos 91

Bibliografía 95

Páginas institucionales 96

Presentación

Uno de los mayores desafíos del futuro es asegurar la continua y satisfactoria disponibilidad del recurso agua para cumplir con las múltiples y crecientes demandas de su uso tanto a nivel social como productivo. Es responsabilidad de cada uno de los actores públicos y privados organizar el uso eficiente y racional del recurso hídrico según las características de su sector. Para el sector saneamiento el alto nivel de pérdidas de agua es uno de los desafíos mayores por sus impactos sociales y ambientales, lo que requiere especial atención de las instituciones sectoriales y prestadoras de servicios de agua y saneamiento. La información proporcionada por la SUNASS señala que el agua no contabilizada (ANC) en los sistemas de agua potable en el Perú representa el 42,30% del total del agua producida, lo que concentra pérdidas físicas (fugas) y las no físicas. Estas últimas corresponden a consumos no autorizados por las EPS y al subregistro que se origina por la baja cobertura en medición (consumo asignado) por un lado, y a la antigüedad o deficiente calidad de los micromedidores de agua potable utilizados.

Por lo tanto, la cobertura de micromedición y su rendimiento son aspectos que las EPS están conscientes que debe ser una prioridad en los siguientes años. De tal manera, se logrará una disminución del ANC y se incrementará la continuidad del servicio al restringir el uso excesivo del agua potable por parte de los usuarios.

Por otra parte, lograr una mejor micromedición es también una prioridad para el regulador de los servicios SUNASS, ya que responde a los intereses de los usuarios: paga más quien más consume, motivo por el cual las EPS tienen que cumplir las metas de gestión de micromedición establecidas en los PMO.

En este contexto, la adecuada selección y dimensionamiento de los micromedidores es aspecto esencial en la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento.

Así, entre los meses de marzo y septiembre del año 2008, GTZ/PROAGUA desarrolló el presente estudio con el objetivo de contribuir con criterios y procedimientos para que las EPS puedan seleccionar los tipos de micromedidores que respondan mejor a sus respectivas condiciones. Con esta finalidad, el equipo de asesores del Programa de Medidas de Rápido Impacto (PMRI) encargados de la asistencia técnica a 12 EPS del país, realizó un análisis del comportamiento de micromedidores instalados en el ámbito de cinco EPS de ciudades pertenecientes al programa (Moquegua, Selva Central, Huánuco, Moyobamba y Chavín).

Los resultados muestran interesantes comportamientos según las condiciones de continuidad, de aspectos hidrodinámicos (presión) y de patrones de consumo, que sugieren incorporar criterios desde el proceso de adquisición de los micromedidores, hasta en las políticas de mantenimiento de las EPS.

En este sentido, el estudio espera contribuir a mejorar el desempeño de las EPS y con ello a los servicios de agua potable en el país, además de promover la investigación aplicada en este campo. Hacemos mención especial a los asesores que tuvieron esta iniciativa y la llevaron a la práctica, contando siempre con el invalorable apoyo del personal gerencial y operativo de las EPS participantes.

Lic. Michael Rosenauer
Coordinador del Programa de Agua Potable y Alcantarillado
GTZ/PROAGUA

Resumen ejecutivo

1 OBJETIVO

Brindar a las EPS una metodología y procedimientos para evaluar medidores en el campo. A partir de la aplicación de dicha metodología, las EPS podrán establecer criterios técnicos que les permitan seleccionar los tipos de medidores que respondan mejor a sus condiciones operacionales, de consumo y ambientales (humedad y temperatura).

2 METODOLOGÍA APLICADA

En el estudio se utilizaron 176 medidores de QN 1,5 m^3/h – DN15 de velocidad de chorro único y de chorro múltiple, todos nuevos y equipados con registradores de datos para la lectura.

Se adecuaron las cajas para alojar dos medidores en serie; los puntos de evaluación fueron elegidos al azar en zonas con diferentes condiciones hidrodinámicas por el desnivel topográfico, niveles de presión y continuidad y patrones de consumo.
En el anexo 4 se describe el procedimiento empleado para el trabajo de campo. Brevemente, las etapas del estudio fueron:

- ✓ Primera etapa. Aferición inicial (línea de base): Se realizó con el objetivo de conocer el error relativo porcentual (%) de los medidores respecto a los caudales característicos y el caudal de arranque. Solo se consideraron los medidores que obtuvieron resultados satisfactorios de acuerdo con la NMP005-1. En el anexo 3 se describe el procedimiento de aferición de los medidores.

- ✓ Segunda etapa. Pruebas de campo: Los medidores se instalaron por parejas y en serie; el volumen registrado por los medidores se obtuvo de la lectura directa manual y simultánea de cada pareja de medidores con un intervalo de uno a tres días y por un lapso mínimo de tres meses, con registros cercanos a los cinco meses en algunos casos. Durante este periodo los medidores registraron consumos entre 5 a 187 m^3/mes por conexión. Con base en esta información se establecieron los intervalos de consumo (comportamiento mensual), que fueron uno de los parámetros de evaluación del estudio.

  Complementariamente se obtuvieron registros electrónicos en periodos extendidos con transductores de presión y de caudal (data loggers) en cada pareja de medidores para determinar el comportamiento horario y diario del consumo en cada punto evaluado. Con ello fue posible determinar el patrón de consumo por intervalo de medición, para establecer los porcentajes de tiempo en el cual los medidores registran el consumo en función de los diferentes intervalos de caudal.

- ✓ Tercera etapa. Aferición final: Se realizó con el objetivo de conocer el error porcentual (%) de los medidores en caudales característicos y el caudal de arranque después de las pruebas, a fin de comparar el desempeño de ambos tipos de medidores.

Para fines de análisis, los usuarios elegidos para el estudio fueron agrupados en los siguientes cinco grupos de consumo:

Grupo	Intervalo de consumo (m^3/mes)	Cantidad de puntos seleccionados (unidades)
1	$Q \leq 10$	9
2	$10 < Q \leq 20$	30
3	$20 < Q \leq 40$	24
4	$40 < Q \leq 90$	13
5	$Q > 90$	12
Total		88

Donde: Q es el volumen de agua consumido en el mes (m^3/mes).
En términos de presión y continuidad, la distribución de los puntos fue la siguiente:

Presión y continuidad	< 24 horas	24 horas
$P < 10$ mca	12	0
$10 \leq P < 20$ mca	16	30
$20 \leq P < 40$ mca	9	13
$P \geq 40$ mca	1	7
Total	38	50

Donde P es la presión de agua en mca (metros de columna de agua).

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los aspectos relevantes observados a lo largo del estudio fueron: caudal de arranque, errores de precisión en caudales característicos, consumos diarios y horarios, y registro de los medidores para cada grupo de consumo seleccionado. En cuanto al desempeño del medidor en caudales de arranque y caudales característicos se evaluaron las variaciones porcentuales de error desde que fueron instalados (aferición inicial) hasta después de ser retirados (aferición final).

Para el análisis de consumos diarios y horarios se observó el porcentaje de tiempo que el medidor registra consumos para relacionarlos con el comportamiento metrológico del medidor en sus caudales característicos.

Finalmente, en el laboratorio se determinaron los valores de pérdida de carga en distintos caudales de operación y se contrastaron con los resultados de presión obtenidos en el campo. Esto permite determinar el tipo de medidor más adecuado para los consumos de agua tanto en zonas con presiones altas, aquéllas con presiones en el intervalo que fija la norma, como en aquellas zonas por debajo del límite permisible.

3.1 Desempeño según el caudal de arranque

Los medidores nuevos de chorro único tuvieron caudales de arranque más sensibles (promedio: 10,7 L/h) que los medidores de chorro múltiple (promedio: 12,3 L/h). No obstante, al final del periodo de evaluación de ambos tipos de medidores tuvieron caudales de arranque similares. (Véase el gráfico A).

Las pruebas evidenciaron que, en promedio, en los medidores de chorro único, el caudal de arranque se incrementó 26,2% respecto de la aferición inicial, mientras que en los medidores de chorro múltiple aumentó 11,4%.

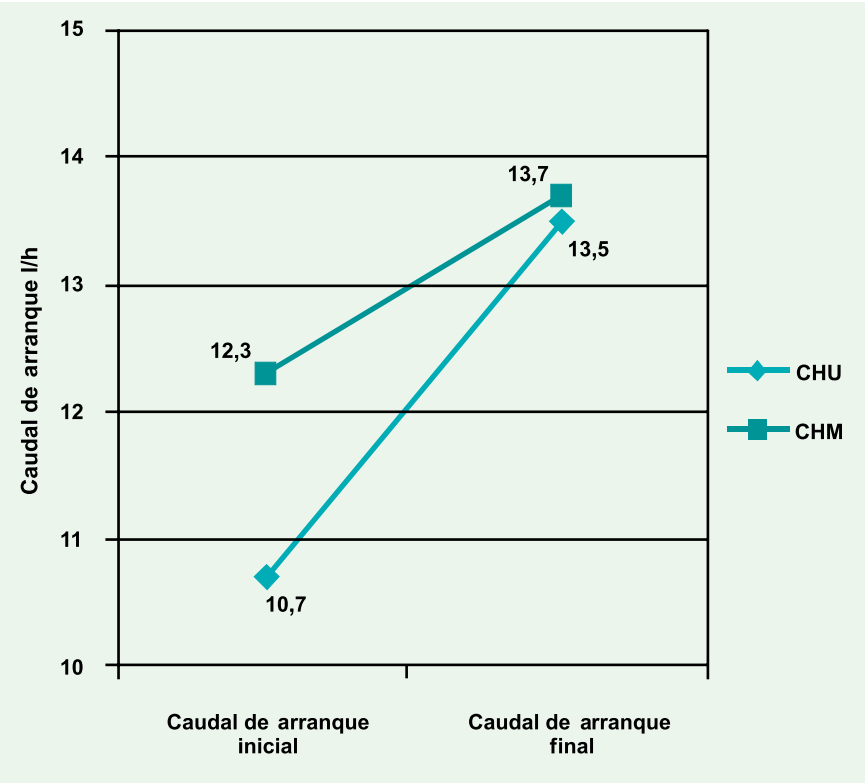


Gráfico A. Variación del caudal de arranque

Al desglosar ambos valores se observó que el medidor de chorro único tuvo una variación del caudal de arranque inicial de 28,7% cuando el servicio es discontinuo y de 23,6% cuando el servicio es continuo (24 h). En los medidores de chorro múltiple, la variación respecto al caudal de arranque inicial fue de 13,6% cuando el servicio es discontinuo y de 8,3% cuando el servicio es continuo. (Véase la tabla 1).

Tabla 1. Caudales de arranque para diversos estados de continuidad

Continuidad (horas/día)	Caudal de arranque (L/h) Medidor de chorro múltiple				Caudal de arranque (L/h) Medidor de chorro único			
	Inicial	Final	Incre-mento	Varia-ción %	Inicial	Final	Incre-mento	Varia-ción %
24	12,1	13,1	1,0	8,3	10,6	13,1	2,5	23,6
<24	12,5	14,2	1,7	13,6	10,8	13,9	3,1	28,7
Promedio	12,3	13,7	1,4	11,4	10,7	13,5	2,8	26,2

3.1.1 Caudal de arranque de 10 L/h

En función de los caudales de arranque observados en las diversas contrastaciones que se hicieron a los nuevos dispositivos al inicio se tomó como valor referencial un caudal de arranque de 10 L/h para su evaluación. Con base en lo anterior se pudo observar que el error porcentual promedio de los medidores de chorro único tuvo un decremento de 38,35%, mientras que en los de chorro múltiple fue de 3,11%. Al término de las pruebas con un caudal de 10 L/h ambos medidores presentaron errores de subregistro altos y similares (tabla 2).

Tabla 2. Variación del error porcentual promedio con un caudal de 10 L/h

Etapa del estudio	Prueba con un caudal de 10 L/h			
	Medidor de chorro múltiple		Medidor de chorro único	
	% de error (*)	Variación	% de error(*)	Variación
Inicial	-86,78%	-3,11%	-48,39%	-38,35%
Final	-89,90%		-86,74%	

(*) Porcentaje de error promedio aplicado a toda la muestra por tipo de medidor.

La tabla anterior significa que, en términos de volumen, si se someten ambos tipos de medidores a un banco de pruebas y se afora en el rotámetro un caudal de 10 L/h y se llena el tanque de calibración con 10 litros, el medidor de chorro múltiple habría registrado 1,32 litros frente a 5,16 litros del medidor de chorro

único, ambos en condición inicial. No obstante, en las condiciones finales y con las mismas condiciones de prueba, el medidor de chorro múltiple registraría 1,01 litros en comparación con 1,33 litros contabilizados por el medidor de chorro único.

Otro resultado con el caudal de prueba de 10 L/h fue que 20% de los medidores de chorro único estuvieron paralizados con dicho caudal, mientras que 76,3% estuvieron sin registro en el caso de los de chorro múltiple. Sin embargo, al final del periodo de evaluación, el porcentaje de medidores de chorro único paralizados se incrementó a 77,8%, mientras que en los medidores de chorro múltiple se incrementó de 76,3% a 81,3% (tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje de medidores con errores de medición con un caudal de 10 L/h

Error (%)	Chorro único		Chorro múltiple	
	Nuevo	Usado	Nuevo	Usado
-50% < ε ≤ 0%	64,4%	17,8%	16,3%	13,8%
-100% < ε ≤ -50%	15,6%	4,4%	7,5%	5,0%
Paralizado	20,0%	77,8%	76,3%	81,3%

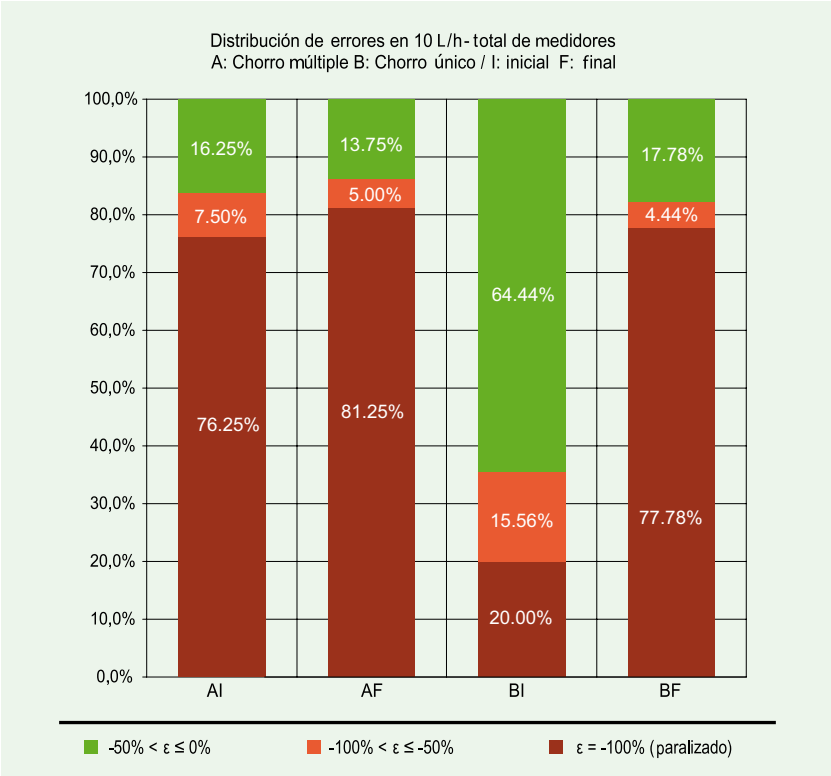


Gráfico B. Comportamiento de medidores con un caudal de 10 L/h

Los resultados de la tabla 1 muestran que la discontinuidad del servicio afecta en mayor proporción el desempeño de los medidores en caudales bajos y que hay mayor variación en los medidores de chorro único. No obstante, aun cuando éstos tienen un desempeño inicial muy bueno con un caudal de arranque de 10 L/h, éste no se mantiene en el tiempo y tienden a igualarse tanto en el porcentaje de error (tabla 2), como en la cantidad de medidores paralizados (tabla 3) respecto a su homólogo de chorro múltiple.

3.2 Comportamiento con caudales característicos

3.2.1. Medidores instalados en zonas con servicio continuo 24 horas/día

En la tabla 4 se muestran los resultados de la aferición final después del uso de los medidores en el campo por el periodo establecido y en condiciones de funcionamiento de 24 horas al día.

Los resultados de dicha tabla muestran que los porcentajes de error en el intervalo óptimo de precisión con caudal mínimo (±5%) y caudal de transición (±2%) para ambos tipos de medidores resultaron similares al final de las pruebas (68,09% para medidores de chorro múltiple y 68,75% para medidores de chorro único).

Tabla 4. Distribución porcentual de medidores por error de medición
Continuidad 24 horas/día, aferición final

Caudal característico / tipo de medidor		% de incidencia por intervalo de error según NMP005-1 para Q mínimo					
		-100% ≤ ε < -10%	-10% ≤ ε < -5%	-5% ≤ ε ≤ 5%	5% < ε ≤ 10%	10% < ε ≤ 100%	% Total dentro de norma
Mínimo	Ch. múltiple	19,15%	12,77%	68,09%	0,00%	0,00%	80,86%
	Ch. único	6,25%	25,00%	68,75%	0,00%	0,00%	93,75%
Caudal característico / tipo de medidor		% de incidencia por intervalo de error según NMP005-1 para Q transición y permanente					
		-100% ≤ ε < -4%	-4% ≤ ε < -2%	-2% ≤ ε ≤ 2%	2% < ε ≤ 4	4% < ε ≤ 100%	
Transición	Ch. múltiple	0,0%	6,4%	80,9%	12,8%	0,0%	100%
	Ch. único	0,0%	8,0%	78,0%	14,0%	0,0%	100%
Permanente	Ch. múltiple	4,26%	14,89%	80,85%	0,00%	0,00%	95,74%
	Ch. único	0,00%	8,00%	86,00%	6,00%	0,00%	100%

En términos generales, ambos tipos de medidores presentan una ligera tendencia al subregistro.

Con un caudal mínimo ambos medidores tuvieron un comportamiento similar con más de 30% de submedición. En todo caso, los medidores de chorro único tuvieron menor desviación dentro del intervalo permisible para medidores usados.

Respecto al caudal de transición, ambos tipo de medidores tuvieron comportamientos similares tanto en el intervalo permisible para medidores nuevos como para los medidores usados; cabe destacar que en ninguno de los casos se presentaron valores fuera de los intervalos permisibles de error (±4%) para medidores usados según la NMP-005-1.

Sin embargo, con un caudal permanente (QN 1,5 m^3/h), los medidores de chorro único mantuvieron un porcentaje mayor dentro del intervalo permisible para medidores nuevos (±2%) (86% versus 80,8%) y en el intervalo permisible para medidores usados 100% de los de chorro único cumplieron la norma (error de ±4%), mientras que los de chorro múltiple tuvieron tendencia al subregistro (14,89% de los casos dentro del intervalo tolerable y 4,26% fuera de normativa) (véase la tabla 4).

En conclusión, en condiciones de continuidad durante 24 horas/día, los medidores de chorro único mantuvieron mejor desempeño metrológico que los de chorro múltiple (aunque la diferencia absoluta no es crítica), sobre todo con un caudal permanente, lo cual explicaría además por qué el registro de consumo acumulado del medidor de chorro único es mayor que el de chorro múltiple para los grupos de consumos 4 y 5 (véase el apartado 3.3.4).

3.2.2. Medidores instalados en zonas con servicio discontinuo (menor de 24 horas/día)

Cuando el servicio es discontinuo (<24 horas), los resultados de aferición final (tabla 5) indicaron que para un caudal mínimo, el medidor de chorro múltiple tuvo mejor comportamiento en parámetros óptimos (medidores nuevos) con 76,7% versus 72%. En cambio, si se sigue el criterio del intervalo permisible para medidores usados ambos tipos de medidores tuvieron un comportamiento similar, con mayor incidencia –aunque ligera– de los medidores de chorro único hacia el subregistro con 11,63% de los analizados frente a 9,3% de los medidores de chorro múltiple.

En cuanto al caudal de transición se observó mayor variación de los resultados para los distintos intervalos de error y se presentó dispersión tanto hacia el subregistro como el sobre registro, así como mayor deterioro del medidor de chorro único dentro del intervalo óptimo de error con 65,96% frente a 83,72% del medidor de chorro múltiple. No obstante, si se consideran los límites permisibles para medidores usados, el porcentaje de medidores dentro de norma fue 91,5% para el de chorro único versus 95,3% para el de chorro múltiple, con

mayor porcentaje de sobre registro por parte de los medidores de chorro único (tabla 5).

De igual manera, con un caudal permanente (Qp) se observó variación de los resultados para los distintos intervalos de error y se presentó dispersión tanto hacia el subregistro como el sobre registro, así como mayor deterioro del medidor de chorro único dentro del intervalo óptimo de error con 72,34% frente a 90,7% del medidor de chorro múltiple. No obstante, si se consideran los límites permisibles para medidores usados, el porcentaje de medidores dentro de la norma fue de 95,7% para el de chorro único versus 97,7% para el de chorro múltiple, con mayor tendencia al sobre registro por parte de los medidores de chorro único (tabla 5).

Tabla 5. Distribución porcentual de medidores por error de medición
Continuidad < 24 horas/día aferición final

Caudal característico / tipo de medidor		% de incidencia por intervalo de error según la NMP005-1 para Q mínimo					
		-100% ≤ ε < -10%	-10% ≤ ε < -5%	-5% ≤ ε ≤ 5%	5% < ε ≤ 10%	10% < ε ≤ 100%	% total dentro de la norma
Mínimo	Ch. múltiple	13,95%	9,30%	76,74%	0,0%	0,00%	86,04%
	Ch. único	16,28%	11,63%	72,09%	0,00%	0,00%	83,72%
Caudal característico / tipo de medidor		% de Incidencia por intervalo de error según la NMP005-1 para Q transición y permanente					
		-100% ≤ ε < -4%	-4% ≤ ε < -2%	-2% ≤ ε ≤ 2%	2% < ε ≤ 4%	4% < ε ≤ 100%	
Transición	Ch. múltiple	0,00%	2,33%	83,72%	9,30%	4,65%	95,35%
	Ch. único	4,26%	8,51%	65,96%	17,02%	4,26%	91,49%
Permanente	Ch. múltiple	2,33%	6,98%	90,70%	0,00%	0,00%	97,68%
	Ch. único	2,13%	6,38%	72,34%	17,02%	2,13%	95,74%

En resumen, en un servicio discontinuo (menos de 24 horas/día), los medidores de chorro múltiple mantuvieron mejor desempeño metrológico que los de chorro único, sobre todo con caudal transitorio y permanente. Si bien en el porcentaje acumulado, en el intervalo permisible por la norma para medidores usados, ambos tipos de medidores presentaron un comportamiento similar (±10% con caudal mínimo y ±4% con caudal de transición y permanente), no debe olvidarse que el periodo de prueba ha sido de cinco meses máximo y en ese periodo los resultados señalaron que el medidor de chorro único tuvo mayor desviación que su similar de chorro múltiple, tanto hacia el sobre registro como el subregistro.

3.3 Comportamiento diario del consumo

El siguiente análisis se realizó en cinco grupos de consumo definidos por su distribución normal[1] y agrupados por intervalos de consumo mensual después de conocer las lecturas diarias de los medidores. El gráfico C muestra una de las distribuciones obtenidas en el proceso de análisis de la información, que corresponde al comportamiento de los medidores del grupo de consumo 3. Se observa la formación de la campana de Gauss para el histograma de frecuencias, que relaciona intervalos de consumo con respecto a sus porcentajes de incidencia en el proceso de medición.

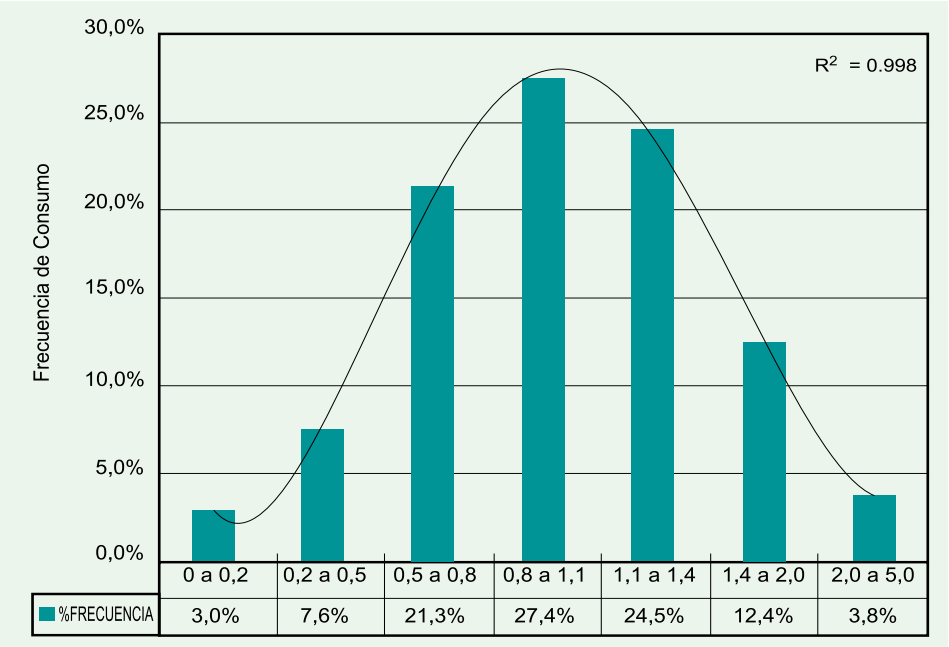


Gráfico C. Histograma de frecuencia para el grupo de consumo 3 (20 a 40 m^3/mes)
Patrón de consumo horario en el grupo 3

[1] La distribución normal, también llamada distribución de Gauss o distribución gaussiana, es una distribución de probabilidad de variable continua que con frecuencia representa fenómenos reales.

En usuarios con consumos típicamente domésticos, como es el caso del grupo 1, predominan las demandas diarias bajas (200 a 500 L/día en 52,4% del tiempo), en usuarios del grupo 2 y 3 predominan los consumos medios de 500 a 1.500 L/día y en los grupos de alto consumo mensual, representados por los grupos 4 y 5 predominan los consumos diarios superiores a 1.500 L/día.

Tabla 6. Patrón de consumo diario para cada grupo

Grupo de consumo m^3/mes	Consumo diario (L/día)					
	0 < Q ≤ 100	100 < Q ≤ 200	200 < Q ≤ 500	500 < Q ≤ 1.500	1.500 < Q ≤ 3.000	3.000 < Q ≤ 5.000
1: 0 < Q ≤ 10	16,4%	24,0%	52,4%	7,2%	0,0%	0,0%
2: 10 < Q ≤ 20	1,9%	4,5%	38,1%	55,0%	0,5%	0,0%
3: 20 < Q ≤ 40	1,0%	4,8%	4,8%	86,0%	3,9%	0,0%
4: 40 < Q ≤ 90	0,0%	1,1%	1,1%	19,0%	56,7%	22,6%
5: Q > 90	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	8,4%	91,6%

3.3.1. Grupo de consumo 1: 0 a 10 m^3/mes

Este grupo representó 10,2% de los medidores evaluados. Se observó que al predominar el consumo bajo, el volumen registrado por ambos tipos de medidores fue similar. En las pruebas de aferición, con caudales bajos y de transición la tendencia de error de ambos medidores fue similar y los caudales de arranque fueron casi los mismos. Se considera que si los medidores de chorro único mantuvieran sus condiciones de sensibilidad inicial con caudales bajos, los registros de consumo serían mayores en este tipo de medidor.

3.3.2. Grupo de consumo 2: 10 a 20 m^3/mes

Este patrón de consumo se observó en 34,1% de los medidores evaluados; los medidores de chorro múltiple registraron un mayor volumen que los medidores de chorro único. Esto puede explicarse debido a que el medidor funciona con mayor frecuencia en el intervalo de 30 a 120 L/h (véase el apartado 3.4), en el que los medidores de chorro único tienen mayor tendencia al subregistro que los medidores de chorro múltiple.

3.3.3. Grupo de consumo 3: de 20 a 40 m³/mes

Este patrón de consumo se observó en 27,3% de los medidores; el comportamiento del registro de medidores fue similar al del caso anterior. De igual manera, los registros que predominan se encuentran en el intervalo de 30 a 120 L/h en 40,74% del tiempo y en el intervalo de 120 L/h a 350 L/h en 23,10% del tiempo de consumo efectivo (véase el apartado 3.4), en el que los medidores de chorro único tienen mayor tendencia al subregistro que los medidores de chorro múltiple.

3.3.4. Grupos de consumo 4 y 5: 40 a 90 m³/mes y mayor de 90 m³/mes

Se obtuvo este registro en 14,8% y 13,6% del total de medidores, respectivamente. Se observó un cambio de comportamiento en el registro del consumo, con una tendencia de mayor registro en el medidor de chorro único respecto del múltiple. Esto se explica porque el medidor tiende a trabajar con caudales superiores a 120 L/h en buena parte del tiempo, caudales para los cuales existe una mayor tendencia al sobre registro (en intervalos tolerables por la norma) en el medidor de chorro único respecto del chorro múltiple.

3.4 Comportamiento del consumo horario

El comportamiento del consumo horario fue registrado con un transductor de presión (data logger) a partir del volumen por unidad de tiempo previamente establecido en la programación de los equipos. Este consumo horario permite visualizar el intervalo de trabajo al cual está sometido el medidor en cada grupo de consumo. Se obtuvieron datos para los grupos de consumo 2, 3, 4 y 5 (tabla 7).

Tabla 7. Distribución porcentual (en tiempo) de caudales horarios por grupo de consumo

Grupo de consumo	% de tiempo en operación	Intervalo de caudal (L/h)							
m³/mes		0<Q≤ 10	10<Q≤30	30<Q≤ 120	120<Q≤350	350<Q≤750z	750<Q≤1.000	1.000<Q≤ 1.500	Q>1.500
1: 0 < Q ≤ 10		No se registraron datos							
2: 10 < Q ≤ 20	32%	5,1%	5,3%	17,1%	3,8%	0,6%	0,0%	0,1%	0,0%
3: 20 < Q ≤ 40	49,4%	3,1%	10,1%	20,1%	11,4%	4,2%	0,4%	0,1%	0,0%
4: 40 < Q ≤ 90	60,9%	3,8%	7,3%	24,2%	14,6%	5,2%	1,8%	1,0%	3,0%
5: Q > 90	73,8%	3,2%	5,9%	33,1%	19,4%	9,6%	2,3%	0,3%	0,0%

Como se aprecia en todos los grupos de consumo, inclusive en el grupo 5, los caudales demandantes que predominan están en el intervalo del caudal mínimo al transicional del medidor, es decir, 30 a 120 L/h y se observa una relación directa entre los grupos de consumo y las demandas horarias.

Asimismo, en la mayoría de los casos se observaron intervalos de trabajo del medidor inferiores al caudal permanente y sólo en un caso (grupo 4) se detectó una demanda horaria de 3% del tiempo (en 24 h) en el que se supera el caudal permanente. En todos los casos, el tiempo en que se producen las demandas de caudal permanente (1.500 L/h) fueron bajas, ya que varían entre 0,1% del tiempo hasta 1% (en el caso más extremo).

Además, el estudio permitió determinar el tiempo relativo de funcionamiento del medidor en un periodo de 24 horas para cada grupo de consumo. Evidentemente, cuanto mayor sea el consumo mensual, mayor será el tiempo de funcionamiento del medidor. Para consumos del grupo 2 (de 10 a 20 m^3/mes) el medidor funcionó en promedio 32% del tiempo. No obstante, es posible en este caso que hayan existido consumos menores de 10 L/h que el medidor no logró registrar. Para los grupos 3, 4 y 5 el medidor funcionó 49,4%, 60,9% y 73,8% del tiempo, respectivamente. (Véase la tabla 7).

3.5 Comportamiento de la pérdida de carga

Existe una diferencia comparativa entre ambos medidores. La pérdida de carga fue mayor en los medidores de chorro único con caudales horarios superiores a 700 L/h. Hasta este caudal se observa que la diferencia es de 0,25 m respecto del chorro múltiple, pero la diferencia se acrecienta mientras mayor sea el caudal (véase el gráfico D). Por tanto, es posible que la calidad del servicio del usuario se vea afectada si se demandan altos consumos horarios en un sistema con presiones bajas de servicio y si la conexión dispone de un medidor de chorro único.

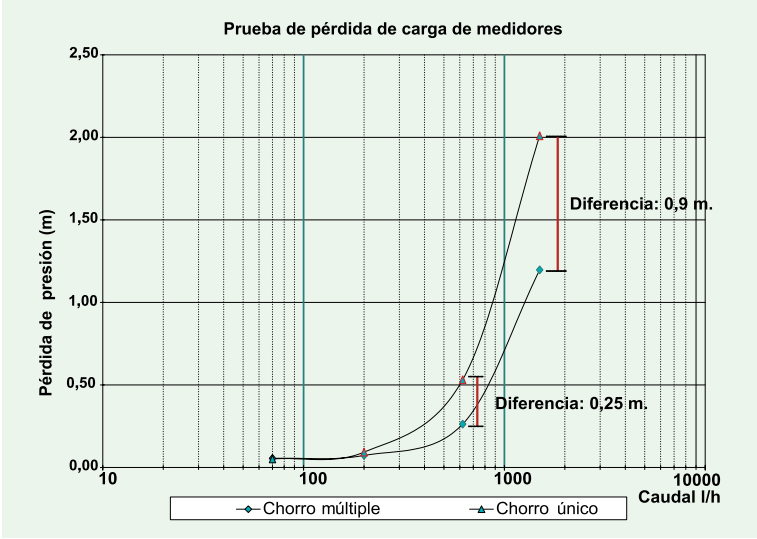


Gráfico D. Pérdida de carga de los medidores

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La metodología aplicada para la evaluación de medidores combinó el trabajo en el laboratorio (aferición inicial y final) con registros del campo que permiten conocer el patrón del consumo horario y diario de los usuarios. Adicionalmente, la instalación de medidores de diferentes tipos colocados en serie permitió comparar la desviación entre ellos y, con base en la aferición final, corroborar los medidores cuyos registros en el campo tendieron al sobre registro o al subregistro. Esta metodología permite la evaluación y posterior selección de medidores con criterios técnicos.

2. Del mismo modo, la instalación de medidores preequipados y de transductores de presión permitió conocer los registros horarios y diarios de los usuarios, con lo cual es posible calcular la cantidad de los medidores según los patrones de consumo y determinar los coeficientes de variación diaria y horaria en la localidad, lo que es necesario para el diseño de reservorios y redes de distribución.

3. Se observó que un importante porcentaje de los medidores presentó errores fuera de los límites permisibles, pese a haber estado sometidos a condiciones normales de operación por corto periodo (tres a cinco meses). Esto indicaría la necesidad de tomar acciones en el proceso de adquisición de medidores, así como en las políticas de mantenimiento. Por ello se recomienda:

    a. Asignar calificación al otorgamiento de garantías por parte del proveedor del producto en el proceso de licitación y adquisición de medidores.
    b. Considerar la prueba de desgaste acelerado del medidor ofertado como condición técnica mínima en el proceso de adquisición de medidores.
    c. Considerar la prueba de desgaste acelerado del medidor (a una muestra) como condición para aprobar el lote en el proceso de entrega de los medidores a la EPS.
    d. Considerar en el proceso de adquisición que el postor presente garantías para el cambio de todo medidor que presente errores fuera de los límites permisibles de la normativa vigente en el tiempo óptimo de operación ofrecido por el fabricante, sin que ello signifique un costo adicional para la EPS. Para ello, la EPS debe instalar los medidores de acuerdo con las especificaciones técnicas indicadas por el proveedor.
    e. La EPS debe introducir procesos de evaluación del parque de medidores con una frecuencia de 8 a 12 meses en su política de gestión de la medición a fin de tomar acciones preventivas o correctivas en el mantenimiento de medidores. Para tal efecto, la EPS debe mantener el banco de medidores con las certificaciones respectivas y contar con un taller de medidores y personal capacitado.

4. El caudal de arranque (valorado por las EPS en procesos de adquisición y selección de medidores) pierde en corto tiempo esta característica en ambos tipos de medidores, aunque esta pérdida de sensibilidad es mayor en los medidores de chorro único que en los de chorro múltiple (véase la tabla 1). Por ello, los resultados sugieren que no sería relevante considerar el caudal de arranque como factor de calificación en los procesos de selección y adquisición de medidores.

5. Los medidores de chorro único que operaron en condiciones de continuidad de 24 horas aumentaron su caudal de arranque de 10,6 a 13,1 L/h, mientras que los medidores de chorro múltiple tuvieron un caudal de arranque menos sensible (12,1 L/h) pero se desplazaron igualmente a 13,1 L/h en la aferición final. En sistemas con servicio discontinuo, el medidor de chorro único presentó un incremento de 10,8 a 13,9 L/h frente al de chorro múltiple que pasó de 12,5 a 14,2 L/h.

6. Con caudales característicos se observó que los medidores operados en sistemas continuos permanecieron en el intervalo óptimo y que los desplazamientos hacia los otros intervalos fueron similares para ambos tipos de medidores. No obstante, en condiciones de discontinuidad, el medidor de chorro único tuvo mayor desviación con respecto al medidor de chorro múltiple, lo que fue evidente en los caudales de transición y permanente.
   Por ello, el uso de medidores de chorro múltiple sugiere tener mejor comportamiento en servicios discontinuos, mientras que en los servicios continuos de 24 horas el comportamiento de ambos tipos fue muy similar.

7. En el segmento de usuarios cuyo consumo es menor de 10 m^3/mes y en diversas condiciones de presión y continuidad los medidores trabajaron predominantemente con caudales diarios de 100 a 500 L/d. En las pruebas de laboratorio con caudales de 10 L/h, el porcentaje de medidores de chorro único paralizados se incrementó 57,8% respecto a la aferición inicial, mientras que los medidores de chorro múltiple aumentaron 5%. Esta observación tiene importancia por las pérdidas de agua intradomiciliarias, las cuales se encuentran dentro de este intervalo. Para este intervalo de consumo mensual se sugiere evaluar medidores con mejor precisión en el intervalo inferior de medición, como los medidores de QN: 0,75 m^3/h - clase B.

8. En el segmento de usuarios cuyo consumo varía entre 10 a 20 m^3/mes se observó un mayor registro de consumo en los medidores de chorro múltiple debido a que estarían funcionando 17,1% del tiempo entre el caudal mínimo y el caudal de transición, intervalo en el cual los medidores de chorro único presentarían mayor tendencia al subregistro en sistemas discontinuos. Por ello, se considera que:

   a. En sistemas continuos los comportamientos de ambos tipos de medidores son similares, aun bajo distintas condiciones de presión del servicio.
   b. En sistemas discontinuos los medidores de chorro múltiple tuvieron mejor comportamiento.
   c. Al igual que en el caso anterior, se sugiere evaluar medidores de mejor precisión en el intervalo inferior de medición, como los QN 0,75 m^3/h – clase B, ya que el registro en el intervalo de caudales bajos es importante.

9. En el segmento de usuarios cuyo consumo varía entre 20 a 40 m^3/mes se observó que 0,5% del tiempo los medidores registraron caudales horarios en el intervalo superior a 750 L/h, que si bien se producen en periodos cortos de tiempo, en términos de volumen son relevantes. En sistemas continuos, la tendencia al subregistro fue similar para ambos tipos de medidores en este grupo de consumo; en sistemas discontinuos, los medidores de chorro único tuvieron mayor porcentaje

al subregistro y a la dispersión en los intervalos de error, lo cual pone en evidencia el deterioro de este tipo de medidor bajo este régimen operativo.

En términos de presión, con caudales superiores de 750 L/h, los medidores de chorro único tuvieron mayor pérdida de carga que los medidores de chorro múltiple. Por ello, para el intervalo de consumo analizado se considera que:

a. En sistemas discontinuos, los medidores de chorro múltiple tuvieron mejor comportamiento.
b. En sistemas continuos, con presiones menores de 10 mca, los medidores de chorro múltiple tuvieron mejor comportamiento.
c. En sistemas continuos, con presiones mayores de 10 mca, los medidores de chorro único tuvieron mejor comportamiento.

10. En el segmento de usuarios cuyo consumo es superior de 40 m^3/mes se evidenció alta incidencia de registros con caudales horarios superiores de 750 L/h; los medidores de chorro único tuvieron mejor comportamiento metrológico que los de chorro múltiple.

En los sistemas que tienen servicio continuo las 24 horas, si bien hubo registros de consumo en el intervalo inferior de medición, lo que es importante para contabilizar fugas intradomiciliarias, éstos no son trascendentes en comparación con los caudales de consumo que se presentan en el intervalo alto de medición, lo que implica que los medidores que tienen mejor comportamiento en el intervalo superior de medición son los más adecuados para este intervalo de consumo.

En sistemas discontinuos, el medidor de chorro único tiende a deteriorarse con mayor rapidez, lo que se evidencia en la dispersión de los errores de precisión con caudales altos y bajos. Además, los medidores de chorro único tienen mayor pérdida de carga con caudales altos que el medidor de chorro múltiple. Por ello, se considera que:

a. En servicios continuos (24 horas) y con presiones mayores de 10 mca, los medidores de chorro único tuvieron mejor comportamiento.
b. Con presiones menores de 10 mca y en condiciones de discontinuidad, el medidor de chorro múltiple mostró mejor comportamiento.

1

Evaluación del Comportamiento Metrológico

A continuación se presenta la metodología empleada en la evaluación del comportamiento metrológico de los dispositivos, con base en lo dispuesto por la normativa vigente y buscando obtener resultados objetivos que muestren el estado de los medidores en las diferentes etapas del estudio.

1.1 Objetivo y etapas

El objetivo general fue brindar a las EPS una metodología y procedimientos para la evaluación de medidores en el campo bajo diversas condiciones de continuidad y de consumo. A partir de la aplicación de dicha metodología, las EPS podrán establecer criterios técnicos que les permita seleccionar los tipos de medidores que respondan mejor a sus condiciones operacionales y de consumo.

La primera etapa del estudio consistió en conocer el estado inicial de operación y funcionalidad de los medidores, los cuales deben ceñirse estrictamente a lo establecido en las normas vigentes que controlan y regulan la calidad metrológica de los medidores.

La calidad metrológica de los medidores se regula a través de ensayos metrológicos en un banco de medidores certificado[2], que deben cumplir lo establecido en la NMP–005–3–1996: Medición del flujo de agua en conductos cerrados. Medidores para agua potable fría. Parte 3. Métodos y equipos de ensayo.

Los ensayos para la verificación inicial del estado de operación del medidor que están indicados en la norma técnica son los siguientes:

- ✓ Aferición inicial – Verificación del estado de operación del medidor.
- ✓ Pérdida de presión de carga.

La aferición inicial califica si el medidor se encuentra en estado operativo o inoperativo. En cuanto a la prueba de pérdida de presión de carga, ésta se interpreta como la resistencia que ofrece el medidor al paso libre del agua. Este criterio se aplica en todas aquellas conexiones que por su ubicación cuenten con presiones bajas; la instalación del medidor podría perjudicar el consumo normal de agua por parte del usuario.

1.2 Materiales y equipos utilizados

Banco de pruebas: Los bancos de pruebas de las EPS son de la marca ARAD y tienen tres rotámetros de escalas que varían de 10 a 100 L/h, 50 a 500 L/h y 600 a 6.000 L/h. Los tanques de aluminio de 10 y 100 litros de capacidad incluyen manómetros, rotámetros y termómetros, y han sido calibrados por INDECOPI y tienen certificado vigente. Las pruebas fueron realizadas por personal calificado, capacitado por INDECOPI y con experiencia en pruebas de contrastación de medidores.

Medidores: Se emplearon 176 medidores de velocidad de chorro único y de chorro múltiples nuevos, sin uso, de 15 mm de diámetro, adquiridos por la EPS para el estudio. Los medidores estaban preequipados con pulsadores de resolución 1 y 10 litros/pulso. Los datos se obtuvieron con registradores de datos.

Presión: Se emplearon sensores de presión con registradores incorporados; la escala del sensor de presión fue de 0 a 10 bar. Los sensores, recientemente adquiridos, fueron calibrados en fábrica con una precisión de 0,1 m.

2 Certificación otorgada por el INDECOPI, la misma que estuvo vigente al momento de realizar las pruebas indicadas.

1.3 Variables y procedimiento

Se estudiaron dos aspectos para determinar el comportamiento de los medidores en diversas condiciones de funcionamiento: la curva de errores y la pérdida de carga.

Ambos aspectos han sido evaluados para cada medidor sometido al estudio en dos etapas: antes de iniciar el registro de consumos domiciliarios y después de haber sido retirados.

El montaje de los equipos y el desmontaje de los mismos de las conexiones domiciliarias se efectuó para cada par de medidores de manera simultánea.

1.3.1 Determinación de la curva de error

La prueba de verificación inicial metrológica se hace mediante el ensayo de aferición inicial, el cual corresponde a un método de obtención del error porcentual relativo del medidor en sus caudales característicos. La norma empleada para efectuar los ensayos fue la NMP 005-03:1996 Medición de flujos de agua en conductos cerrados, norma adoptada como equivalente de la norma internacional ISO 4064-3-1993 Measurement of water flow in closed conduits. Meter for cold potable water.

Las variables involucradas en la curva de error son las siguientes: caudal de prueba (L/h), que varía en los siguientes valores: 10, 30, 120 y 1.500, tiempo de prueba (min), volumen de prueba (L) y lectura del medidor (L).

Para determinar el error porcentual relativo del medidor en diferentes caudales de prueba se aplica la siguiente fórmula:

$$\%Error = \frac{(Lf - Li) - Vp}{Vp} \times 100\%$$

Donde:
Lf: Lectura final del medidor en litros.
Li: Lectura inicial del medidor en litros.
Vp: Volumen aceptado como verdadero, el que pasó por el medidor, expresado en litros.

El valor del caudal que se emplea para trazar la curva de error es el volumen que pasa durante el ensayo, dividido entre el tiempo.

La mencionada norma establece porcentajes límites permisibles de errores relativos para cada caudal característico, según se muestra en el siguiente gráfico.

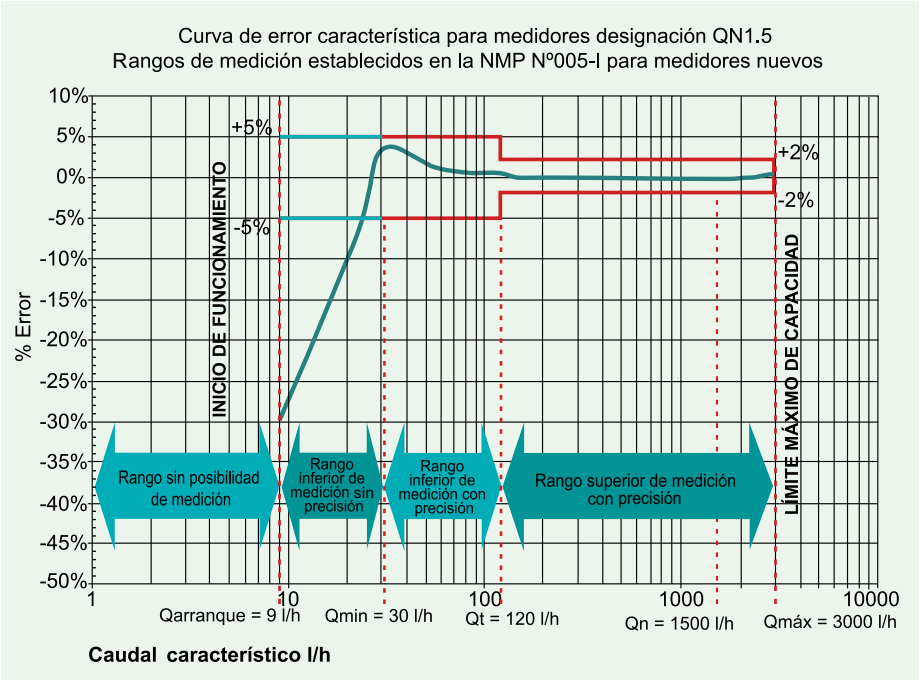


Gráfico 1.1. Curva de error característica

Estos porcentajes límites se establecen para los medidores nuevos. En el caso de medidores que han estado operativos en el campo (usados) estos porcentajes se deben duplicar, es decir, para el intervalo inferior de medición el límite es ± 10% y para el intervalo superior ± 4%.

1.3.2 Determinación de la pérdida de carga

Para la determinación del valor de la pérdida de carga de un medidor en diferentes caudales se han considerado las siguientes variables: caudal de prueba (L/h), tiempo (min), y presión antes y después de los medidores (mca).
Las pruebas de pérdida de carga se realizaron para una muestra de medidores que pasaron satisfactoriamente la prueba de aferición inicial. Los instrumentos utilizados fueron el banco de pruebas y transductores de presión de intervalo de 0 a 10 bar con data logger.

Estas pruebas se desarrollaron en dos etapas del estudio, la primera cuando se recibió el lote de medidores y pasaron la prueba de aferición inicial. La segunda etapa se aplicó después de que los medidores fueron instalados en las conexiones domiciliarias y funcionaron por un tiempo determinado (tres a cinco meses).

En cuanto a la metodología, para determinar la pérdida de carga con diferentes caudales de prueba se instalaron los equipos de presión aguas arriba y aguas abajo del medidor, y se tuvieron en cuenta las distancias indicadas en la NMP-005-3. El valor del caudal

que se empleó para esta prueba fue el indicado en el rotámetro del banco de medidores. Los caudales de prueba elegidos para construir la curva de pérdida de carga fueron de 30, 70, 200, 600, 700 y 1.500 L/h. En cuanto a los transductores de presión, estos fueron programados para que hicieran lecturas y registros de presión en metros de columna de agua (mca) cada 10 segundos.

1.4 Análisis e interpretación de resultados

1.4.1 Consideraciones iniciales

Para analizar e interpretar el comportamiento metrológico de los medidores se establecieron cinco grupos de consumo, definidos de acuerdo con el intervalo de variación del consumo mensual (m^3/mes). Asimismo, para cada grupo se definieron los caudales de prueba a fin de determinar las diferencias del comportamiento de los medidores seleccionados para el presente estudio[3].

Los caudales seleccionados fueron en total cinco, tres de los cuales pertenecen a los caudales característicos de la NMP-005-1 (caudal mínimo 30 L/h, caudal de transición 120 L/h y caudal permanente 1.500 L/h), uno es el caudal de arranque y el último es el caudal de 10 L/h. En el siguiente cuadro se aprecian los grupos de consumo con sus respectivos intervalos y la cantidad de medidores utilizados en cada caso.

Cuadro 1. Agrupación de pares de medidores para la evaluación metrológica

Grupo	Tasa de consumo (m^3/mes)	Pares de medidores evaluados
1	1: $0 < Q \leq 10$	9
2	2: $10 < Q \leq 20$	33
3	3: $20 < Q \leq 40$	25
4	4: $40 < Q \leq 90$	14
5	5: $Q > 90$	15

1.4.2 Análisis del comportamiento

Se analizó la tendencia de los medidores a desplazarse hacia un determinado intervalo de error después de un periodo de funcionamiento o medición en las conexiones domiciliarias. Este análisis se realizó para ambos tipos de medidores utilizados en el estudio, tanto para toda la muestra de forma integral, como también para cada uno de los cinco intervalos de consumo descritos en el apartado 1.4.1.

[3] Medidores de velocidad de chorro único y de chorro múltiple, DN15 – QN1.5.

A) Tendencia en el caudal de arranque

El análisis expresó de manera cuantitativa y porcentual el comportamiento del medidor en el caudal de inicio del funcionamiento, también conocido como caudal de arranque. Se muestran los resultados de las variaciones y tendencias de los valores porcentuales de error en el caudal de arranque de acuerdo con los siguientes criterios: cuando el medidor estuvo instalado en sectores con servicio continuo las 24 horas, cuando la continuidad fue menor de 24 horas (servicio discontinuo) y en una combinación de ambos casos.

De forma general y en condiciones iniciales (medidor nuevo), el medidor de chorro único mostró mayor sensibilidad para medir caudales bajos que su similar de chorro múltiple. El valor registrado del caudal de arranque para el primero de ellos estuvo entre 10,6 y 10,8 L/h en promedio y para el medidor de chorro múltiple estuvo entre 12,1 y 12,5 L/h, con lo cual el medidor de chorro único presentó al inicio un mejor comportamiento para caudales bajos.

Pruebas de caudal de arranque en la EPS Chavín S.A.

Luego del proceso de medición del consumo en las conexiones domiciliarias, el medidor de chorro único perdió esta sensibilidad y registró valores de caudal de arranque entre 13,1 y 13,9 L/h, lo que incrementó el valor del caudal de arranque en 26,2%. En cambio, el medidor de chorro múltiple presentó esta misma tendencia pero con menor incremento porcentual; el caudal de arranque registró valores entre 13,1 y 14,2L/h, lo que significó un incremento de 11,4%. El gráfico 1.2 muestra lo indicado.

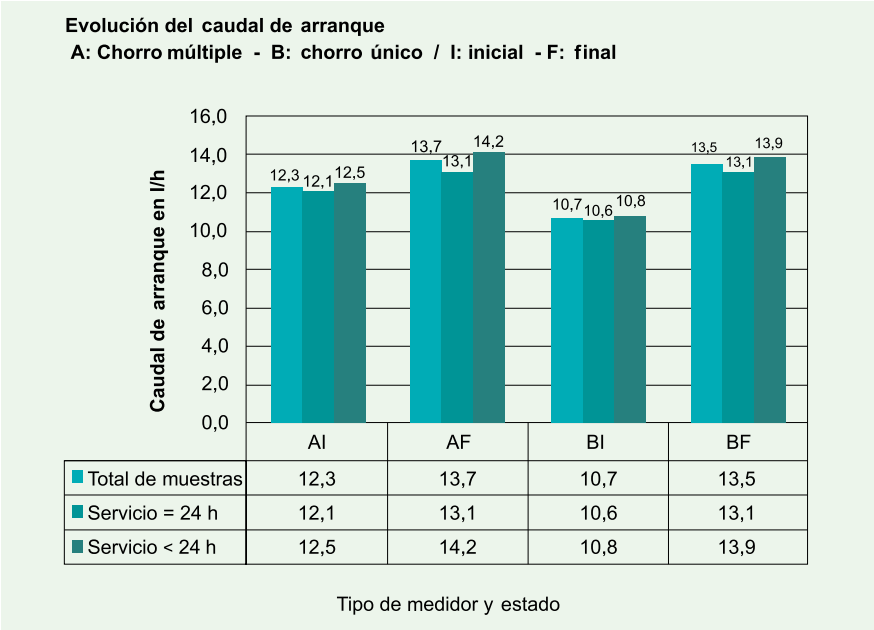


Gráfico 1.2. Variación del caudal de arranque en ambos tipos de medidores
A: chorro múltiple B: chorro único

De los resultados, si bien el medidor de chorro múltiple tuvo un caudal de arranque superior en 15% respecto al caudal de arranque del medidor de chorro único (12,3 versus 10,7 L/h), éste mantuvo de mejor forma la sensibilidad de medición. En cambio, el medidor de chorro único perdió rápidamente su sensibilidad inicial y el caudal de arranque al final fue similar al del medidor de chorro múltiple.

Respecto a la influencia de la continuidad del servicio en el caudal de arranque, los medidores mostraron un comportamiento diferente en un servicio con continuidad menor de 24 horas y otro cuando el servicio tenía continuidad plena. En ambos casos, el medidor de chorro único perdió su sensibilidad inicial pero en magnitudes diferentes y fue más elevada cuando la continuidad fue menor de 24 horas (28,7%) que cuando el servicio fue continuo (23,6%). En cuanto al medidor de chorro múltiple, cuando la continuidad fue menor de 24 horas, la pérdida de sensibilidad aumentó 13,6% y fue de 8,26% en el servicio de 24 horas.

Finalmente, este análisis confirma que cuando al servicio es discontinuo ambos tipos de medidores resultan afectados en su comportamiento metrológico, pero la incidencia es mayor en los medidores de chorro único.

B) Tendencias en la operación del sistema (24 horas o inferior)

Comportamiento con un caudal de 10 L/h

Como se aprecia en el gráfico 1.3, con el tiempo, en ambos tipos de medidores existe la tendencia a incrementar el error de medición hacia el subregistro (con el caudal de 10 L/h no existen tolerancias de precisión en la norma). Asimismo, se observa que esta tendencia es más fuerte en medidores de chorro único que en los de chorro múltiple para el mismo periodo de tiempo evaluado. Por tanto:

Para el caso de medidores de chorro múltiple en condiciones iniciales (nuevos) se encontró que con el caudal de prueba de 10 L/h, 76,3% de ellos no registraban[4], 7,5% estaban en el intervalo de error de $-100\% < \varepsilon \leq -50\%$ y los restantes 16,3% tenían porcentajes de error $-50\% < \varepsilon \leq 0\%$. Al final del periodo de funcionamiento, luego de más de 120 días de medición del consumo en las conexiones domiciliarias, 23,80% de los medidores que tenían la sensibilidad de funcionar con 10 L/h se redujeron a 18,80%, es decir, pasaron al grupo de medidores paralizados (error de -100%). Asimismo, para este mismo grupo, se observó que determinados medidores no conservaron sus porcentajes de error inicial y pasaron de un intervalo de $-50\% < \varepsilon \leq 0\%$ a un intervalo final de $-100\% < \varepsilon \leq -50\%$.

La tendencia de los medidores de chorro múltiple es semejante a la de los medidores de chorro único, pero en mayor escala. En este caso, con las mismas condiciones y un caudal de prueba de 10 L/h, 20% de ellos no registraban, 15,6% estaban dentro del intervalo de error de $-100\% < \varepsilon \leq -50\%$ y los restantes 64,40% tuvieron porcentajes de error de $-50\% < \varepsilon \leq 0\%$. Por ello se deduce que en condiciones iniciales este tipo de medidor es más sensible con caudales bajos que el medidor de chorro múltiple. Luego del periodo de funcionamiento o medición, la cantidad de medidores paralizados se incrementó 57,8% (de 20% a 77,8%) y los restantes 22,20% no conservaron sus porcentajes de error iniciales y pasaron de un intervalo de $-50\% < \varepsilon \leq 0\%$ a un intervalo final de $-100\% < \varepsilon \leq -50\%$.

[4] El caudal de arranque para esta cantidad de medidores era superior de 10 L/h.

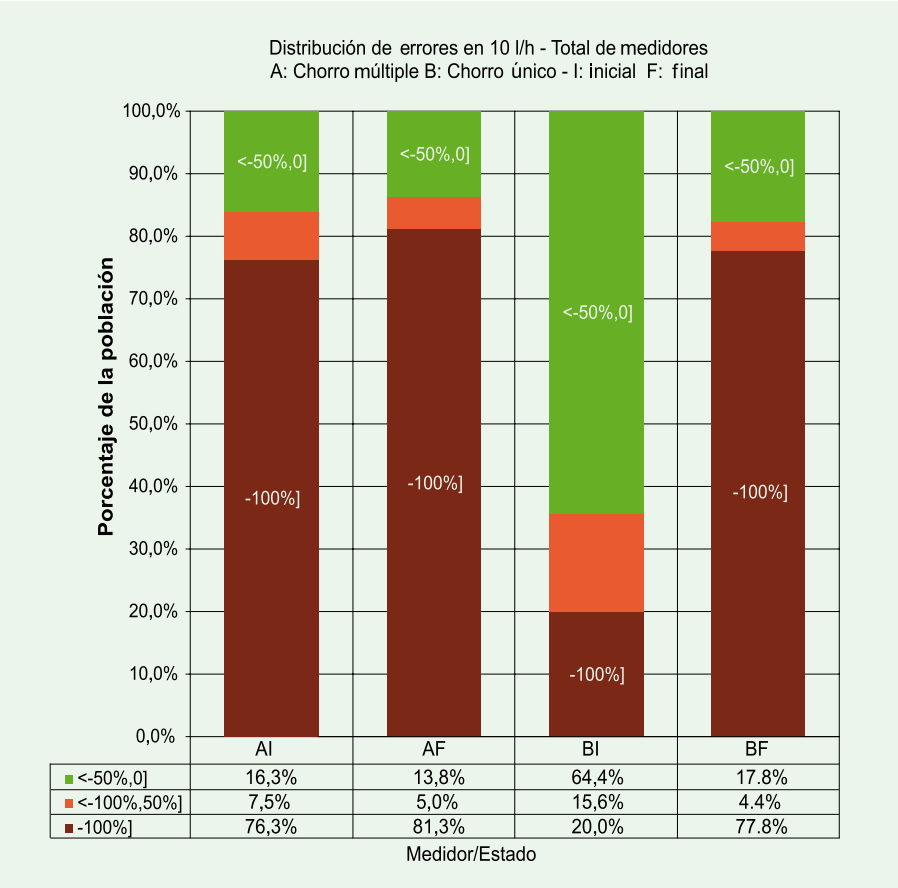


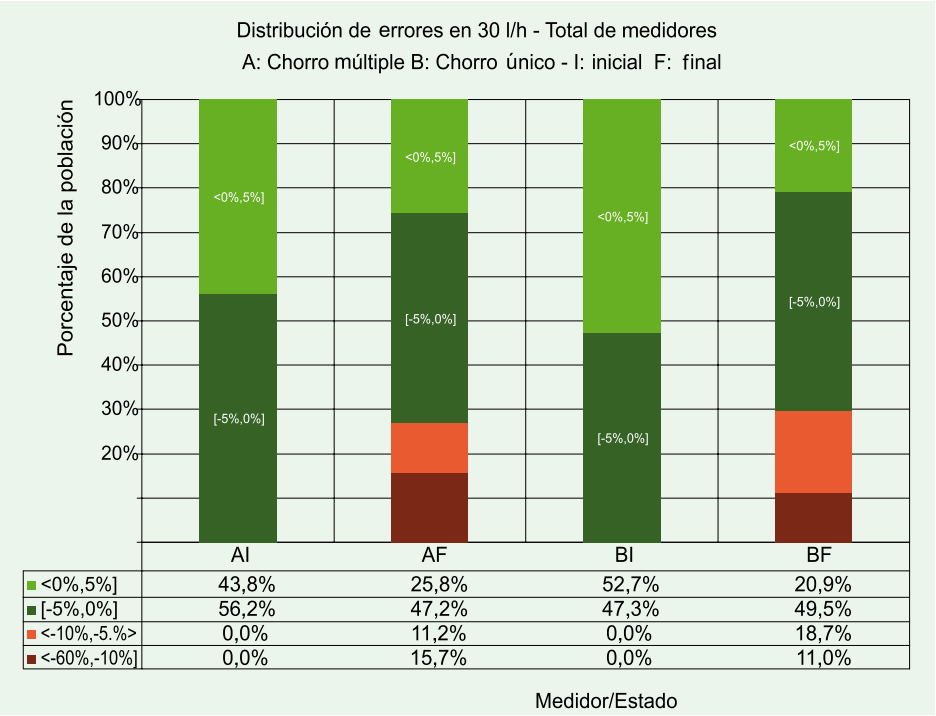
Gráfico 1.3. Distribución de errores con 10 L/h

Finalmente, aun cuando inicialmente los medidores de chorro único tenían bajo porcentaje de medidores paralizados con este caudal, en la situación final su porcentaje fue similar a los de chorro múltiple, lo que evidencia la pérdida de sus cualidades metrológicas iniciales.

Comportamiento con un caudal de 30 L/h

A diferencia del caso anterior, la norma metrológica peruana NMP-005-1 considera tolerancia para los errores con un caudal de 30 L/h. Los segmentos de error tolerables para los medidores nuevos varían de $-5\% \leq \varepsilon \leq 5\%$ y para los medidores en uso el intervalo es de $-10\% \leq \varepsilon \leq 10\%$.

Conforme se observa en el gráfico 1.4, luego de un periodo de medición ambos tipos de medidores tienden a pasar a una condición de subregistro, y también una cantidad de ellos están fuera de la norma aun con los límites permisibles para medidores usados (color rojo en el gráfico).



	AI	AF	BI	BF
<0%,5%]	43,8%	25,8%	52,7%	20,9%
[-5%,0%]	56,2%	47,2%	47,3%	49,5%
<-10%,-5.%>	0,0%	11,2%	0,0%	18,7%
<-60%,-10%]	0,0%	15,7%	0,0%	11,0%

Gráfico 1.4 Distribución de errores con 30 L/h

Existen, sin embargo, diferencias individuales en ambos tipos de medidores, las cuales se explican a continuación:

Con respecto a los medidores de chorro múltiple, del total de equipos instalados que se encontraban dentro del intervalo óptimo aplicable para medidores nuevos ($-5\% \leq \varepsilon \leq 5\%$), al final del periodo de funcionamiento 73% mantuvieron estas características, mientras que 11,2% se ubicaron dentro del intervalo aceptable para medidores en uso ($-10\% \leq \varepsilon \leq -5\%$) y 15,7% presentaron valores de error fuera de los intervalos permisibles. Asimismo, se observó en general una tendencia al subregistro en 43,8% de los medidores que inicialmente se encontraban en el intervalo positivo del porcentaje de error [0%, 5%] y que al final de las prueba se redujeron a 25,8% (18% menos que en el estado inicial).

Referente a los medidores de chorro único, del total instalado, 70,4% de los medidores mantuvieron sus características metrológicas iniciales ($-5\% \leq \varepsilon \leq 5\%$), 18,7% tuvieron errores en el intervalo aceptable para medidores en uso ($-10\% \leq \varepsilon \leq -5\%$) y 11% estuvieron fuera de los intervalos permisibles para medidores en uso. De manera similar al comportamiento de los medidores de chorro múltiple, se ratificó la tendencia al subregistro. En el gráfico se observa el comportamiento de 52,7% de medidores que inicialmente se encontraron en el intervalo positivo de error y que al final de las pruebas se redujeron a 20,9% (31,8% menos que en el estado inicial).

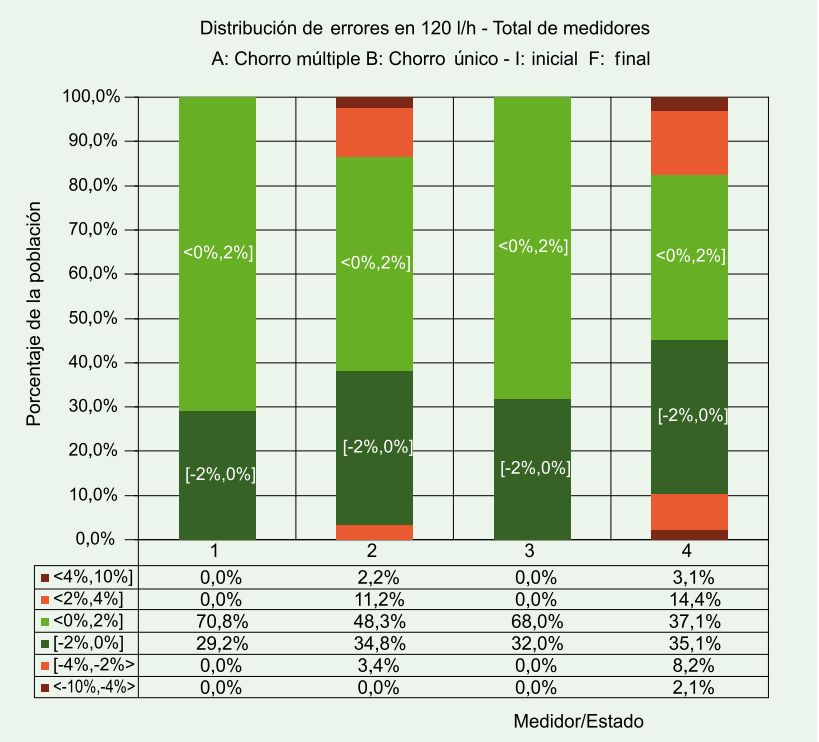
Comportamiento con un caudal de 120 L/h

Al igual que el caso anterior, la NMP determina que con este caudal característico los medidores nuevos tienen un intervalo permisible de error de -2% ≤ ε ≤ 2%; asimismo, los medidores en uso tienen un intervalo permisible de error de -4% ≤ ε ≤ 4%.

El gráfico 1.5 muestra que ambos tipos de medidores tienen errores de sobre registro y de subregistro, aunque los medidores de chorro único presentan mayor distorsión. Esto se explica de la siguiente forma:

Luego del periodo de medición, 83,1% de los medidores de chorro múltiple mantuvieron sus características metrológicas iniciales, es decir, estuvieron en el intervalo -2% ≤ ε ≤ 2%, 14,6% se ubicaron en el intervalo permisible para medidores en uso de -4% ≤ ε ≤ -2% y 2% ≤ ε ≤ 4% y 2,2% se ubicaron por encima de 4%, es decir, fuera de norma para medidores en uso.

En cuanto a los medidores de chorro único, se observó que 72,2% mantuvieron sus características metrológicas iniciales (-2% ≤ ε ≤ 2%), 22,6% se establecieron dentro del intervalo permisible para medidores en uso de -4% ≤ ε ≤ -2% y 2% ≤ ε ≤ 4%, y 5,2% estuvieron fuera de los valores permisibles para los medidores en uso.



	1	2	3	4
<4%,10%]	0,0%	2,2%	0,0%	3,1%
<2%,4%]	0,0%	11,2%	0,0%	14,4%
<0%,2%]	70,8%	48,3%	68,0%	37,1%
[-2%,0%]	29,2%	34,8%	32,0%	35,1%
[-4%,-2%>	0,0%	3,4%	0,0%	8,2%
<-10%,-4%>	0,0%	0,0%	0,0%	2,1%

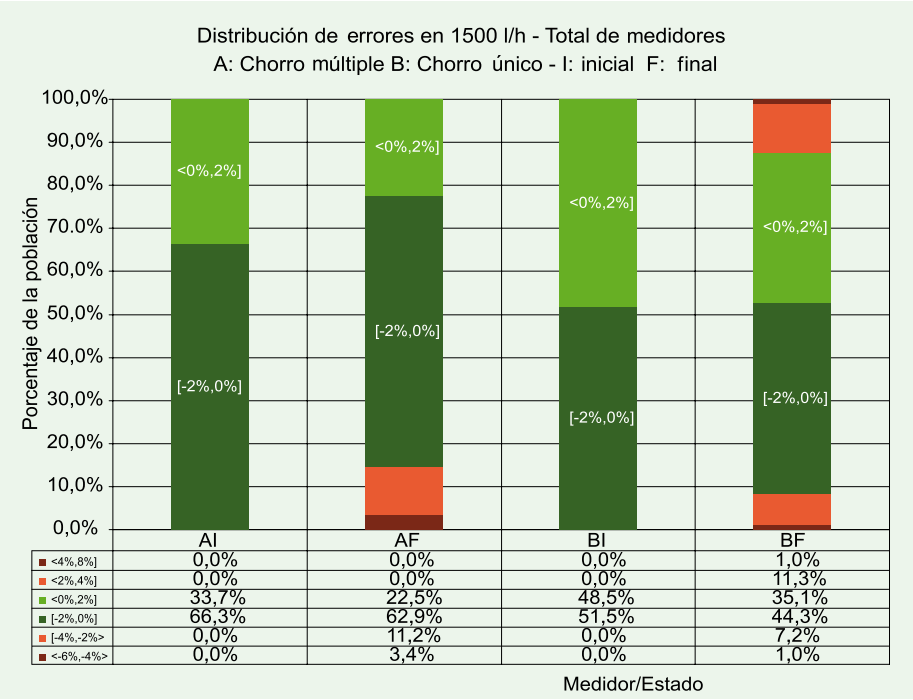
Gráfico 1.5 Distribución de errores con 120 L/h

Donde:
1: Medidor de chorro múltiple (aferición Inicial).
2: Medidor de chorro múltiple (aferición final).
3: Medidor de chorro único (aferición inicial).
4: Medidor de chorro único (aferición final).

Comportamiento con un caudal de 1.500 L/h

Al igual que para el caudal de transición, el intervalo permisible de error en condición inicial con un caudal permanente es de -2% ≤ ε ≤ 2% y para medidores en uso el intervalo se amplía a -4% ≤ ε ≤ 4%. Con base en esta condición de precisión establecida por la NMP se tiene que:

El comportamiento de ambos medidores fue completamente distinto. Se observó que los medidores de chorro múltiple tuvieron una mayor tendencia al subregistro, en cambio, los medidores de chorro único mantuvieron una dirección al sobre registro, como se observa en el gráfico 1.6.



	AI	AF	BI	BF
<4%,8%]	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%
<2%,4%]	0,0%	0,0%	0,0%	11,3%
<0%,2%]	33,7%	22,5%	48,5%	35,1%
[-2%,0%]	66,3%	62,9%	51,5%	44,3%
[-4%,-2%>	0,0%	11,2%	0,0%	7,2%
<-6%,-4%>	0,0%	3,4%	0,0%	1,0%

Gráfico 1.6 Distribución de errores con 1.500 L/h

En cuanto a los medidores de chorro múltiple, de 100% que aprobaron las pruebas con parámetros de error iniciales se mantuvieron 85,4% y 14,6% tuvieron tendencia al subregistro. Es necesario indicar que de este último grupo, 3,4% de los medidores se ubicaron fuera del límite permisible para medidores en uso (por debajo de -4%).

Con este caudal característico de prueba, los medidores de chorro único presentaron mayor dispersión, tanto así que 79,4% de los medidores mantuvieron su calidad metrológica inicial. Además, 11,3% se ubicaron en el intervalo positivo permisible para medidores en uso ($2\% \leq \varepsilon \leq 4\%$) y 7,2% presentaron errores en el intervalo negativo permisible para medidores en uso ($-4\% \leq \varepsilon \leq -2\%$). Finalmente, 2% estuvieron fuera del intervalo permisible para medidores en uso, distribuidos en 1% por encima ($\varepsilon > 10\%$) y 1% por debajo ($\varepsilon < -10\%$).

C) Tendencia en función de la continuidad del servicio con caudales característicos

Los resultados obtenidos a través de las pruebas iniciales y finales de aferición muestran que, dependiendo de la continuidad del servicio, el medidor manifiesta diferentes respuestas ante el requerimiento de funcionamiento y operación al que fue sometido. En términos generales los resultados señalan que en un servicio continuo de 24 horas ambos tipos de medidores presentan un desempeño semejante y en servicios con menos de 24 horas existen diferencias de comportamiento. Lo indicado se sustenta mediante el siguiente análisis de cada estado de continuidad.

Comportamiento con un caudal característico de 30 L/h

- **Comportamiento en un servicio continuo**
  Se instalaron 40 parejas de medidores en conexiones con servicio continuo (24 horas) y distintas condiciones de presión y se observó que ambos tipos de medidores tendían hacia el subregistro.

  Respecto al intervalo óptimo permisible de error ($-5\% \leq \varepsilon \leq 5\%$), 68,09% de los medidores de chorro múltiple y 68,75% de los medidores de chorro único se ubicaron dentro de este intervalo de error y mantuvieron sus condiciones metrológicas iniciales. En cuanto al intervalo permisible para medidores en uso ($-10\% \leq \varepsilon < -5\%$), 12,77% de los medidores de chorro múltiple y 25,0% de los medidores de chorro único se ubicaron dentro de este intervalo. Por tanto, para el intervalo tolerable con caudal mínimo ($-10\% \leq \varepsilon \leq 10\%$) 93,75% de los medidores de chorro único se mantuvieron dentro de este parámetro establecido en la norma frente a 80,86% de los medidores de chorro múltiple. Lo anterior muestra un mejor comportamiento de los medidores de chorro único para este caudal característico en condiciones de continuidad las 24 horas.

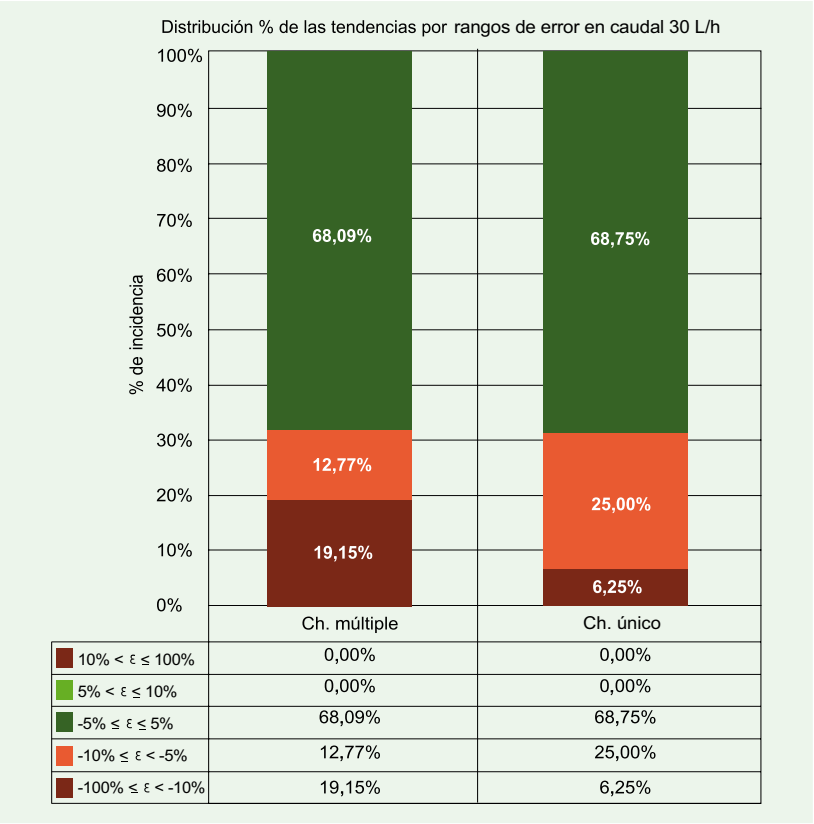
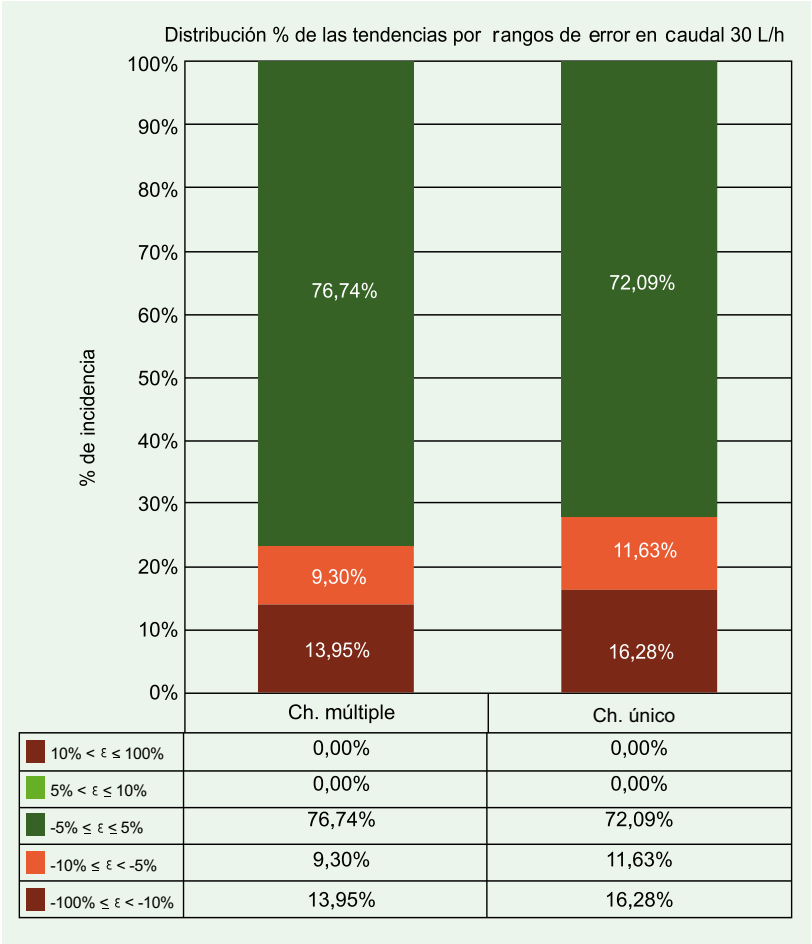


Gráfico 1.7 Distribución % de las tendencias por rangos de error en caudal de 30 L/h

- **Comportamiento en un servicio discontinuo**

  Los resultados obtenidos con un caudal de 30 L/h en un servicio discontinuo son similares para ambos tipos de medidores en función de los intervalos de error considerados en la norma.

  Dentro del intervalo óptimo permisible de error (-5% ≤ ε ≤ 5%), 76,74% de los medidores de chorro múltiple y 72,09% de los de chorro único se ubicaron dentro de este intervalo y mantuvieron sus condiciones metrológicas iniciales. En cuanto al intervalo permisible de -10% ≤ ε < -5%, 9,30% de los medidores de chorro múltiple y 11,63% de los de chorro único se ubicaron dentro de este intervalo que es válido para medidores en uso. Por tanto, para el intervalo tolerable con caudal mínimo (-10% ≤ ε ≤ 10%), 86,04% de los medidores de chorro múltiple se mantuvieron dentro de este parámetro establecido en la norma vigente frente a 83,72% de los medidores de chorro único, lo que marca una ligera tendencia a favor del medidor de chorro múltiple de mantener sus condiciones metrológicas en servicios discontinuos.



	Ch. múltiple	Ch. único
10% < ε ≤ 100%	0,00%	0,00%
5% < ε ≤ 10%	0,00%	0,00%
-5% ≤ ε ≤ 5%	76,74%	72,09%
-10% ≤ ε < -5%	9,30%	11,63%
-100% ≤ ε < -10%	13,95%	16,28%

Gráfico 1.8 Distribución % de las tendencias por rangos de error en caudal de 30 L/h

Para un caudal característico de 120 L/h

- **Comportamiento en un servicio continuo**

  Para el intervalo óptimo permisible de error (-2% ≤ ε ≤ 2%), 80,85% de los medidores de chorro múltiple y 78,00% de los de chorro único se ubicaron dentro de este intervalo de error y mantuvieron sus condiciones metrológicas iniciales.

  Se observó también que en ambos casos hubo desviación hacia el sobre registro y subregistro, pero dentro de los límites permisibles establecidos por la norma para medidores en uso (-4% ≤ ε < 4%).

  En resumen, el comportamiento de ambos tipos de medidores fue similar con un caudal de 120 L/h.

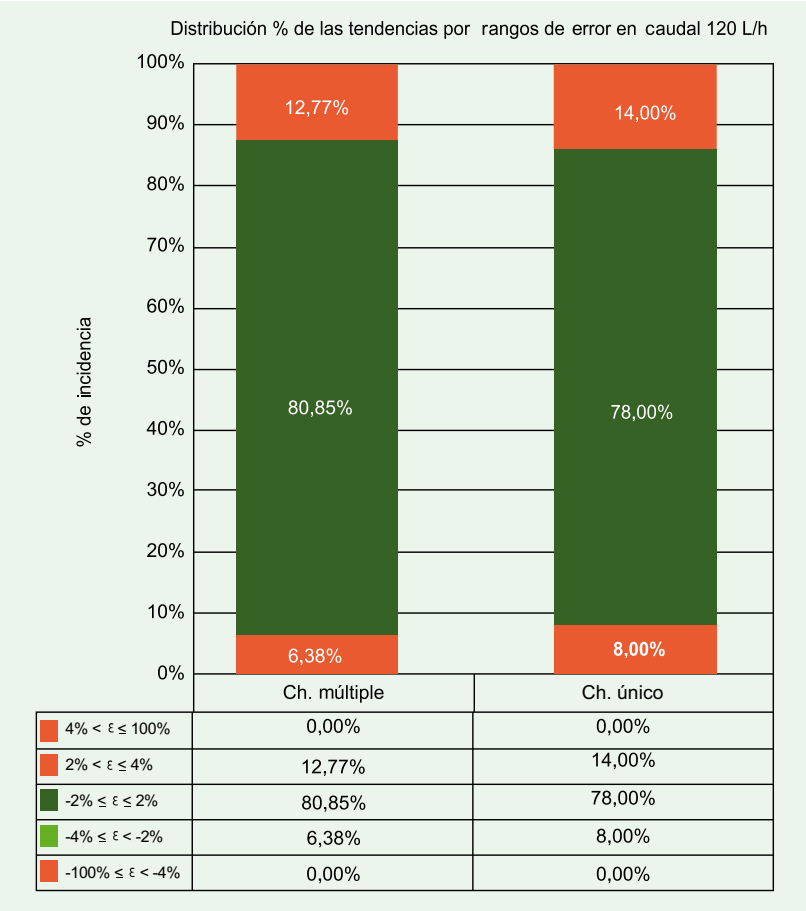


Gráfico 1.9 Distribución % de las tendencias por rangos de error en caudal de 1.200 L/h

- **Comportamiento en un servicio discontinuo**

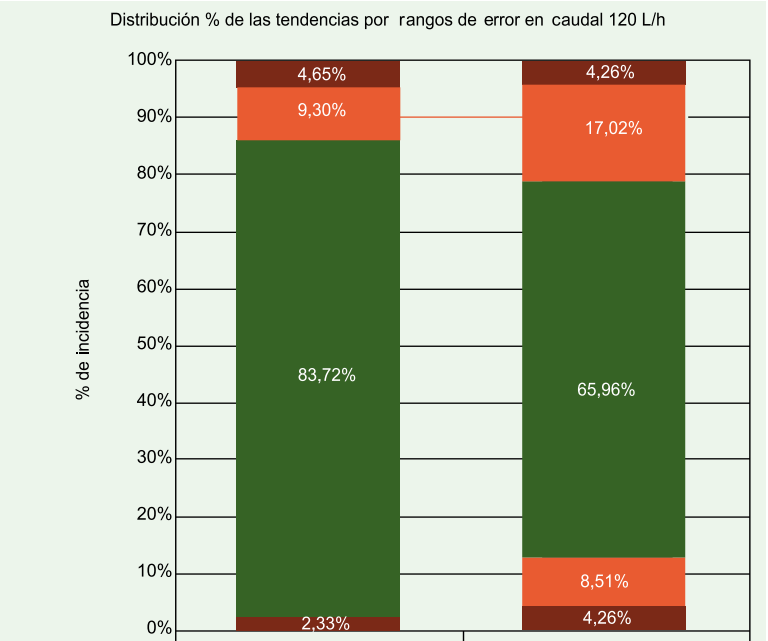
  En el grupo de medidores instalados en sectores con servicio discontinuo fue evidente el efecto de este tipo de servicio, ya que con este caudal de análisis se presentaron casos fuera de los intervalos de error permisibles establecidos para medidores en uso.

  En el gráfico se observa que 83,72% de los medidores de chorro múltiple y 65,96% de los de chorro único mantuvieron sus errores dentro de los límites óptimos permisibles de error (nuevos), por tanto, hubo mejor desempeño de los medidores de chorro múltiple con este caudal y con las condiciones de discontinuidad del servicio.

  Se evidencia también que 2,33% de los medidores de chorro múltiple se ubicaron dentro del intervalo tolerable (-4% ≤ ε ≤ -2%) y 9,30% en

el intervalo (2% ≤ ε ≤ 4%), los cuales, conjuntamente con el valor en el intervalo óptimo suman un total de 95,35%. La diferencia (4,65% de los medidores) se ubicó fuera de los límites permisibles de error y tuvo mayor tendencia al sobre registro.

Ahora bien, en el caso de los medidores de chorro único, 8,51% estuvieron dentro del intervalo -4% ≤ ε ≤ -2% y 17,02% en el intervalo 2% ≤ ε ≤ 4%, los que sumados al valor del intervalo óptimo hacen un total de 91,49%, valor alto aunque inferior al logrado por los medidores de chorro múltiple. Finalmente, 4,26% de los medidores se situaron en intervalos de error fuera de los límites permisibles, tanto en niveles de subregistro como de sobre registro.



	Ch. múltiple	Ch. único
4% < ε ≤ 100%	4,65%	4,26%
2% < ε ≤ 4%	9,30%	17,02%
-2% ≤ ε ≤ 2%	83,72%	65,96%
-4% ≤ ε < -2%	2,33%	8,51%
-100% ≤ ε < -4%	0,00%	4,26%

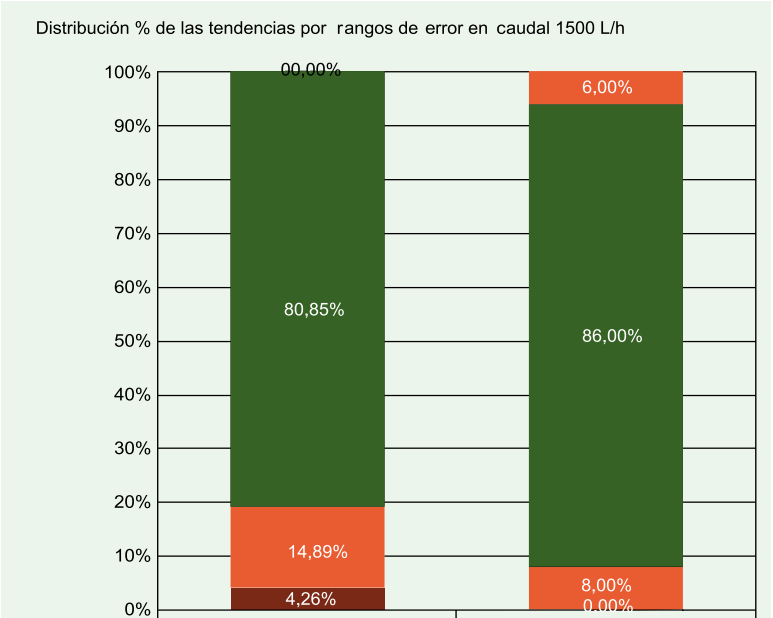
Gráfico 1.10 Distribución % de las tendencias por rangos de error en caudal 1.200 L/h

Para un caudal característico de 1.500 L/h

- **Comportamiento en un servicio continuo**
  Los resultados muestran que ambos tipos de medidores mantuvieron sus características metrológicas dentro de los límites permisibles de error (-4% ≤

ε ≤ 4%), pero dentro de estos presentaron diferentes tendencias. En el caso de los medidores de chorro múltiple, 80,85% de los medidores mantuvieron sus características iniciales (-2% ≤ ε ≤ 2%) y 14,89% estuvieron en el intervalo permisible pero con tendencia al subregistro (-4% ≤ ε ≤ -2%).

De los medidores de chorro único, 86,0% lograron mantener sus condiciones iniciales (5,15% más que los de chorro múltiple) y se observaron tendencias tanto al sobre registro (2% ≤ ε ≤ 4%) como al subregistro (-4% ≤ ε ≤ -2%) pero dentro del intervalo permisible de error para los medidores en uso. Considerando los parámetros permisibles de error para medidores usados, según lo establece la norma, 95,74% de los medidores de chorro múltiple cumplieron con lo exigido frente a 100% de los medidores de chorro único. El porcentaje faltante de los medidores de chorro múltiple (4,26%) se ubicó fuera de los intervalos permisibles de error, con tendencia al subregistro.



	Ch. múltiple	Ch. único
4% < ε ≤ 100%	0,00%	0,00%
2% < ε ≤ 4%	0,00%	6,00%
-2% ≤ ε ≤ 2%	80,85%	86,00%
-4% ≤ ε < -2%	14,89%	8,00%
-100% ≤ ε < -4%	4,26%	0,00%

Gráfico 1.11 Distribución % de las tendencias por rangos de error en caudal 1.500 L/h

- **Comportamiento en un servicio discontinuo**

Tal como sucedió con un caudal de 120 L/h en un servicio discontinuo, los medidores de chorro único evidenciaron mayores errores que cuando fueron sometidos a condiciones de continuidad plena. En los de chorro único existió desviación tanto al sobre registro como al subregistro, mientras que en los medidores de chorro múltiple solo hubo tendencia al subregistro.

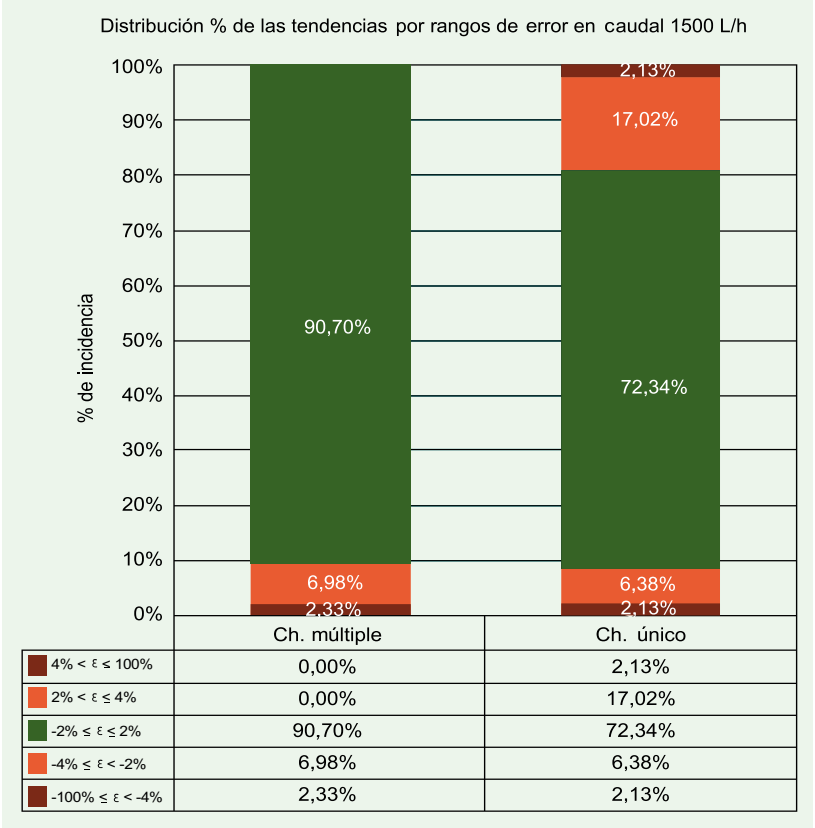


Gráfico 1.12 Distribución % de las tendencias por rangos de error en caudal 1.500 L/h

Al comparar el porcentaje de incidencia entre los medidores se observó que 90,70% de los de chorro múltiple mantuvieron sus condiciones óptimas de error frente a 72,34% de los de chorro único (18,36% menos). No obstante, si se consideran los límites permisibles que señala la norma para los medidores en uso, los de chorro múltiple fueron 97,68% versus 95,74% de los medidores de chorro único.

En los intervalos permisibles de lado negativo (-4% ≤ ε ≤ -2%) el comportamiento fue muy similar para ambos tipos de medidores según se aprecia en el gráfico respectivo. En cambio, para el intervalo positivo (2% ≤ ε ≤ 4%) se presentaron 17,02% de casos para los medidores de chorro único (dentro del límite para medidores en uso) y 2,13% para los de chorro múltiple (4% ≤ ε ≤ 100%), lo que implica que están fuera de norma.

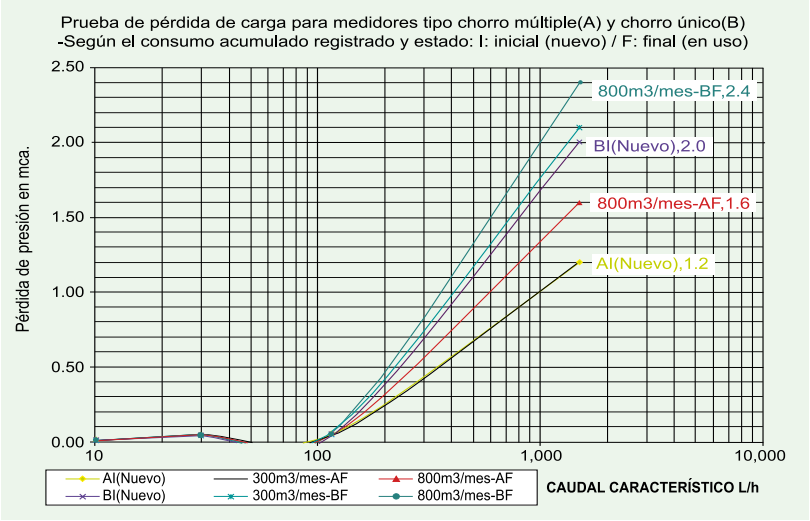
D) Análisis de la pérdida de carga

Los resultados del estudio de pérdida de carga mostraron que el medidor de chorro único tuvo mayor pérdida de carga que el de chorro múltiple, tanto en condiciones iniciales como en condiciones finales. Esto fue evidente con caudales mayores de 120 L/h, mas no así para caudales inferiores; donde la pérdida de carga fue menor de 0,1 mca resultó ser muy similar y despreciable para efectos de reducir la presión de servicio.

Para ambos tipos de medidores se eligieron muestras que habían recorrido 300 y 800 m^3 durante el periodo de prueba y se observó que a mayor registro del consumo, mayor era también la pérdida de carga.

Con 1.500 L/h, el medidor de chorro único en condición inicial presentó una pérdida de carga de 2 mca y en las muestras con lecturas de 300 m^3 y 800 m^3 las pérdidas de carga se incrementaron 2,1 y 2,4 mca, respectivamente.

De forma similar, el medidor de chorro múltiple que en condición inicial presentó una pérdida de carga de 1,2 mca, para la muestra de 300 m^3 mantuvo el valor obtenido. Sin embargo, en la muestra de 800 m^3 se incrementó a 1,6 mca. Nótese que en ambos casos el incremento de la pérdida de carga fue de 0,4 mca.



Prueba de pérdida de carga para medidores de chorro múltiple (B) y de chorro único (A) según el consumo acumulado registrado y estado: I (inicial, nuevo), F (final, en uso)

2

Desarrollo del Trabajo de Campo

A continuación se describe el trabajo de campo desarrollado y las consideraciones tenidas en cuenta, basadas en el concepto de "condiciones reales" de operación, buscando representar las exigencias técnicas y de funcionamiento, a las que está sometido comunmente el medidor de una conexión de agua potable.

2.1 Objetivo y etapas

La segunda etapa del estudio tuvo dos objetivos principales: determinar el patrón de consumo de las conexiones en las cuales fueron instalados los medidores y evaluar de forma comparativa la medición efectuada por ambos tipos de medidores.

Esta etapa del estudio tuvo tres fases. La primera consistió en identificar a los usuarios a quienes se les instalarían los medidores de prueba en sus conexiones domiciliarias, para ello se analizaron sus consumos históricos y ubicación en función de los sectores operacionales y respectivos parámetros hidráulicos. Una vez identificada todas las conexiones, en la segunda fase se instalaron los pares de medidores. En la tercera fase del estudio se obtuvo la información de los consumos registrados por los medidores mediante lecturas simultáneas e instalación de data loggers.

2.2 Materiales y equipos utilizados

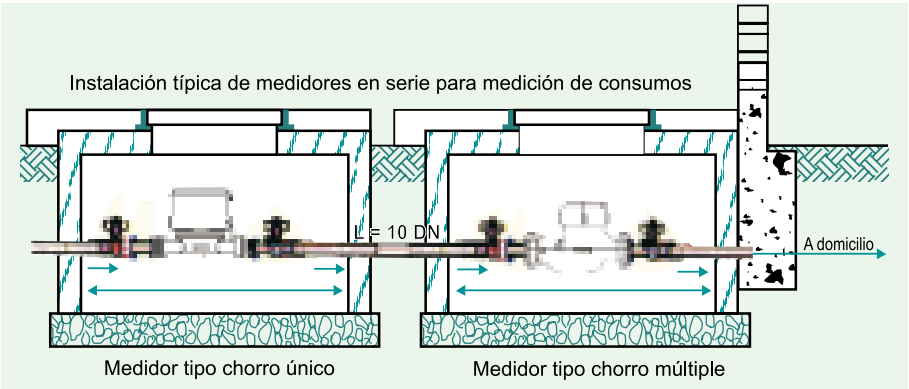
2.2.1 Materiales utilizados

Criterios de instalación, provisión e instalación de cajas de registro

a. Criterios de instalación

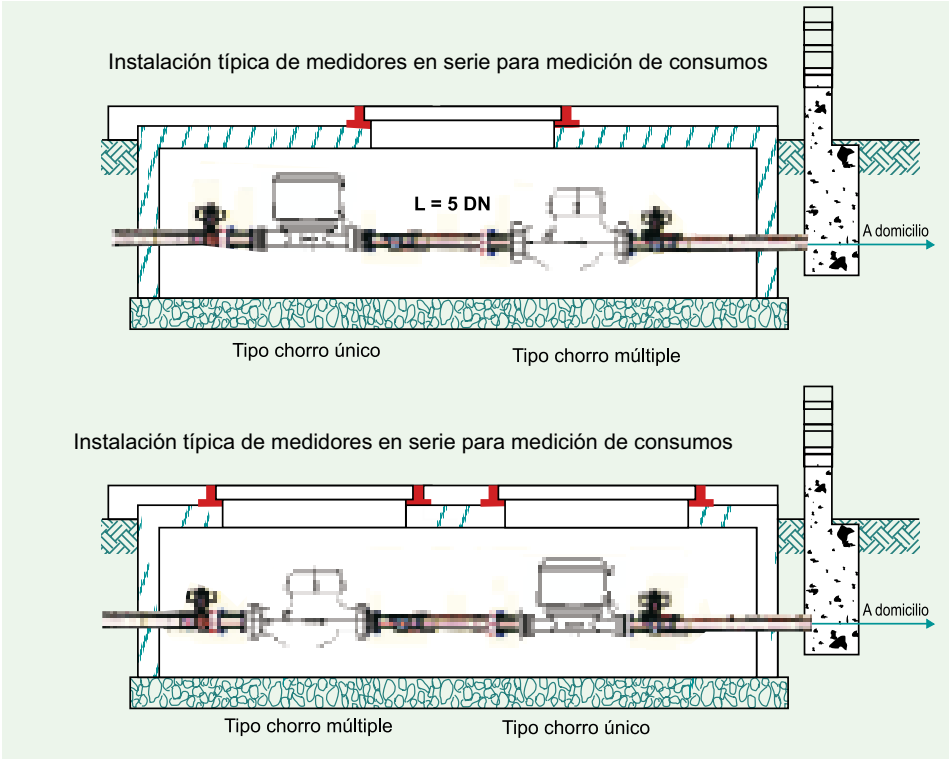
Las opciones que se adoptaron para la instalación de los medidores y sus respectivas cajas de registro fueron las siguientes:

a.1.) Dos cajas de registro, cada una con un tipo de medidor diferente.



Nota: La posición de ubicación de los medidores es indistinta.

a.2.) Una caja de registro que contiene a la pareja de medidores en serie.
La caja debe ser lo suficientemente grande para contener ambos medidores y mantener la distancia mínima recomendada en las normas técnicas.



b. Provisión de cajas de registro y accesorios

b.1.) Las cajas de registro fueron de dos tipos:

- Cajas de concreto simple normalizado (CSN); según las condiciones de campo se utilizaron entre una o dos cajas.
- Cajas construidas en el campo con ladrillos y losas de concreto armado para instalaciones con una sola caja de registro y dos medidores.

b.2.) Las tapas de la caja de registro fueron de dos tipos:

- Tapas de termoplástico provistas de seguro imantado.
- Tapas de plancha de fierro galvanizado provistas de seguro con chapa.
- En ambos casos, el seguro fue considerado para evitar el hurto de los medidores preequipados y los data loggers que se instalarían cuando se efectuasen las evaluaciones de consumo.

b.3.) Los accesorios para la instalación de los medidores fueron de PVC.

c. Instalación de cajas de registro, medidores y accesorios

- Las cajas de registro se instalaron de acuerdo con las recomendaciones técnicas establecidas por la normativa y las condiciones técnicas de los fabricantes.
- En conexiones provistas de medidor, los medidores de prueba y las cajas de registro se instalaron de forma independiente.
- En conexiones no provistas de medidor, se utilizó la caja de registro para la instalación de uno de los medidores de prueba.

- En todos los casos se utilizaron los accesorios apropiados para la instalación de los medidores.
- Se tuvo cuidado en la posición de la instalación del medidor. Todos los medidores fueron instalados en posición horizontal, tanto respecto a su eje central como a su eje longitudinal.

2.2.2 Equipos utilizados

Equipos de medición y registro

a. **Medidores de velocidad.** Los medidores utilizados fueron los de chorro múltiple y los de chorro único, ambos de clase metrológica B, provistos de emisores de pulso (1 litro/pulso y 10 litros/pulso) conectados a equipos registradores de datos para contabilizar el volumen de agua durante periodos determinados.

Las especificaciones técnicas de los medidores fueron las siguientes:

Especificaciones técnicas	Unid.	Medidor de chorro múltiple	Medidor de chorro único
Diámetro nominal (DN)	mm	15 mm – 1/2"	
Caudal máximo/sobrecarga	L/h	3.000 (±2%)	
Caudal nominal/permanente	L/h	1.500 (±2%)	
Caudal de transición	L/h	120 (±2%)	
Caudal mínimo	L/h	30 (±5%)	
Tipo de lectura		Recta	
Alcance del indicador	m^3	99.999 / 9.999	
Volumen de registro mínimo	m^3	0,0001	
Tipo de transmisión		Magnética	
Tipo de regulación		Externa	Externa / Interna
Preequipamiento (pulsador)		SI	
Presión máxima de servicio	bar	16	
Diámetro externo de la rosca		G ¾ B	
Longitud total (±2 mm)	mm	190 / 165	115 / 110

b. **Data logger y cables emisores de pulso.** Se utilizaron registradores de datos provistos de cables emisores de pulsos, los cuales fueron acoplados al medidor para la recolección del consumo de agua que registra éste último. Se utilizaron dos tipos de data loggers:

- Módulo totalizador de pulso para caudal y volumen de tres canales provisto de tarjeta data logger, marca Zenner, modelo IZM 972.
- Data logger de dos canales para recolección de información de caudal y presión, marca Radcom, modelo Log Log flash.

2.3 Condiciones hidrodinámicas y de consumo

2.3.1 Variables operacionales

a. Presión del servicio

La selección y ubicación de las conexiones domiciliarias se realizó en función de los siguientes intervalos de presión:

Ítem	Intervalo de presión
1	Intervalo de presión: $P < 10$ mca
2	Intervalo de presión: $10 \leq P < 20$ mca
3	Intervalo de presión: $20 \leq P < 40$ mca
4	Intervalo de presión: $P \geq 40$ mca

b. Continuidad del servicio

Los estados de continuidad considerados en el estudio se presentan el recuadro siguiente. El objetivo fue establecer su influencia en la metrología del medidor.

Ítem	Intervalo de continuidad
1	Intervalo de continuidad < 24 horas
2	Continuidad durante 24 horas

2.3.2 Variables comerciales

Intervalo de consumo

Se determinaron cinco grupos de consumo en función del volumen de agua que registra el medidor por mes. El objetivo fue evaluar el comportamiento metrológico en distintos estados de continuidad y presión para cada uno de estos grupos, así como determinar el consumo horario, diario y mensual.

Los grupos de consumo fueron los siguientes:

Ítem	Intervalo de consumos m^3/mes
1	$0 < Q \leq 10$
2	$10 < Q \leq 20$
3	$20 < Q \leq 40$
4	$40 < Q \leq 90$
5	$Q > 90$

2.4 Interpretación de resultados

2.4.1 Consideraciones iniciales

La distribución de las conexiones en función de las variables operacionales de presión y continuidad resultó de la siguiente forma:

Número de conexiones según la continuidad y la presión

Presión / Continuidad	Continuidad < 24 horas	Continuidad = 24 horas	%
Intervalo de presión: $P < 10$ mca	12	0	13,64%
Intervalo de presión: $10 \leq P < 20$ mca	14	32	52,27%
Intervalo de presión: $20 \leq P < 40$ mca	12	10	25,00%
Intervalo de presión: $P \geq 40$ mca	2	6	9,09%

Los medidores se instalaron en sectores que tenían presiones entre 20 y 40 mca, en conexiones con presiones menores de 10 mca y también en conexiones que tenían más de 50 mca, con la finalidad de conocer el comportamiento de los medidores bajo diversas condiciones de presión.

Luego de más de 120 días de evaluación de los medidores en el campo en los cinco grupos de consumo mensual establecidos se obtuvo la siguiente distribución de conexiones.

Ítem	Intervalo de consumo m^3/mes	Cantidad de usuarios	Porcentaje de distribución
1	0 < Q ≤ 10	9	10,23%
2	10 < Q ≤ 20	30	34,09%
3	20 < Q ≤ 40	24	27,27%
4	40 < Q ≤ 90	13	14,77%
5	Q > 90	12	13,64%

2.4.2 Interpretación de resultados

A) Por grupos de consumo

- **Intervalo de 0 a 10 m^3/mes**

De las conexiones que fueron parte del estudio, 10,23% correspondieron a este intervalo de consumo. Respecto al tiempo, 40,4% de los medidores registraron consumos menores de 200 litros/día, mientras que 52,4% de los medidores registraron consumos entre 200 y 500 litros/día. Asimismo, 7,2% registraron consumos mayores de 500 hasta 1.600 L/día. Esto evidencia que en este segmento de la muestra, los medidores trabajan predominantemente con caudales bajos.

No se evidenció un mejor rendimiento de uno u otro tipo de medidor instalado en la conexión domiciliaria. El gráfico 2.2 muestra que la diferencia de consumo entre un tipo de medidor y el otro es próximo a cero (la diferencia tiende al eje de las X=0).

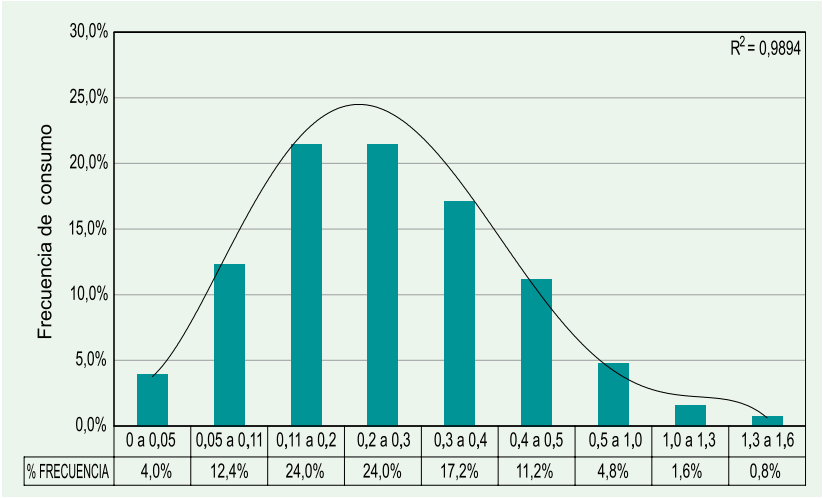


Gráfico 2.1. Histograma de frecuencias – distribución normal

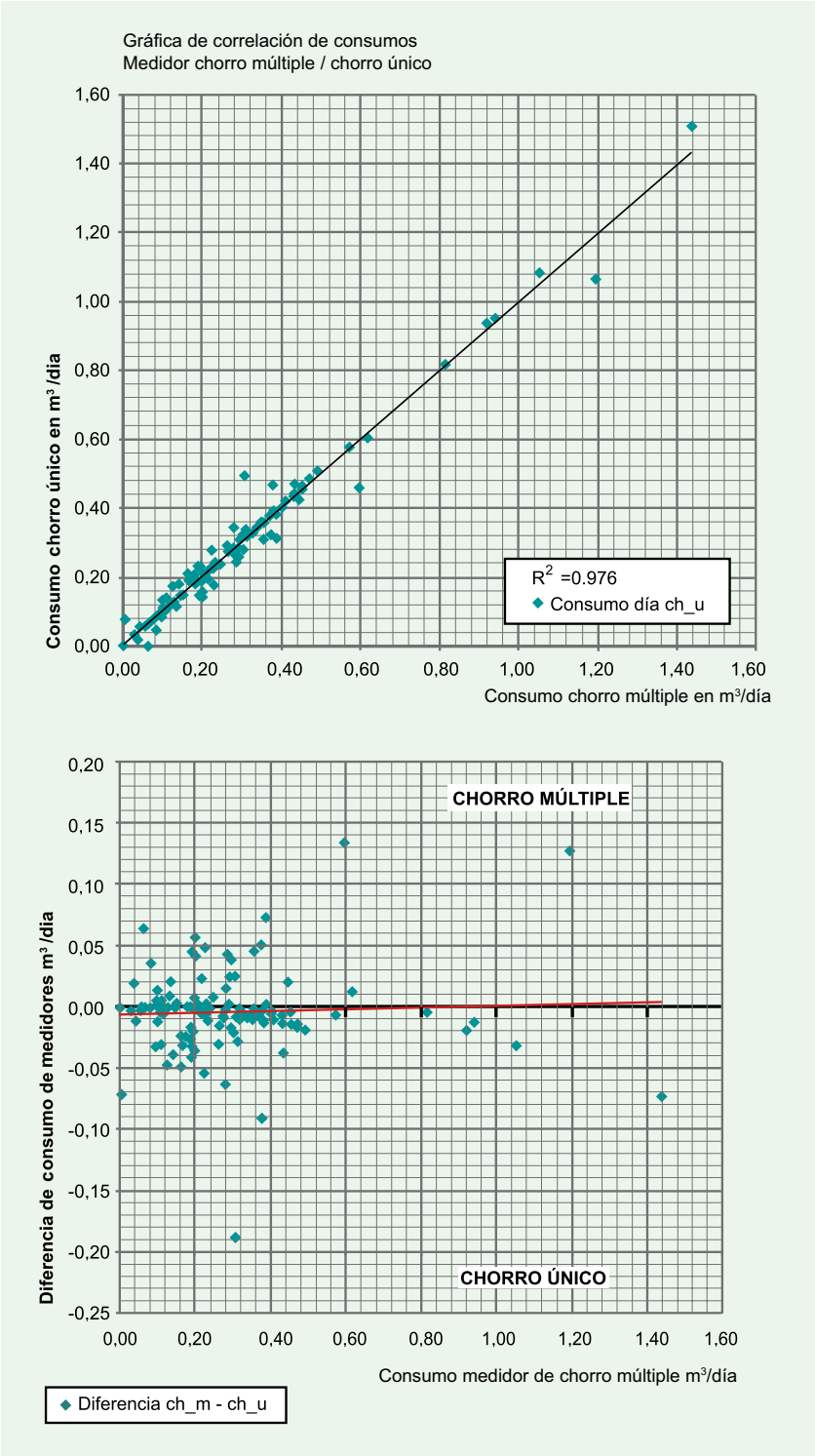


Gráfico 2.2. Tendencia de la diferencia del consumo – intervalo de 0 a 10 m³/mes

- Intervalo de 10 a 20 m^3/mes

  Las conexiones que registraron consumos entre 10 a 20 m^3 representan 34,09% de la cantidad total de la muestra. A diferencia del anterior intervalo, solo 6,3% del tiempo los medidores registraron en promedio un consumo menor de 200 L/día. En el intervalo de consumo de 200 a 500 L/día la incidencia del registro alcanzó 38,1%, mientras que 55,6% registraron consumos por encima de 500 hasta 5.000 L/día. Asimismo, se aprecian registros de 1,0 a 5,0 m^3/día durante 5,2% del tiempo, lo cual indicaría que al menos en un día del mes, el medidor trabajó de forma intensiva.

  En cuanto a los registros comparativos de consumo entre uno y otro medidor, el gráfico 2.4 evidencia que los medidores de tipo chorro múltiple registran un volumen mayor de agua que el de chorro múltiple, lo cual se comparó luego con los errores iniciales y finales para corroborar esta tendencia.

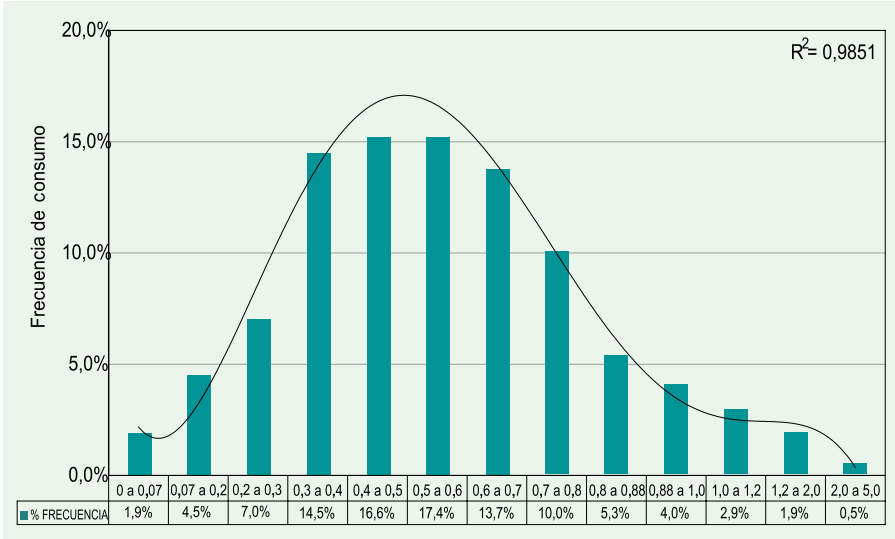


Gráfico 2.3. Histograma de frecuencias – distribución normal

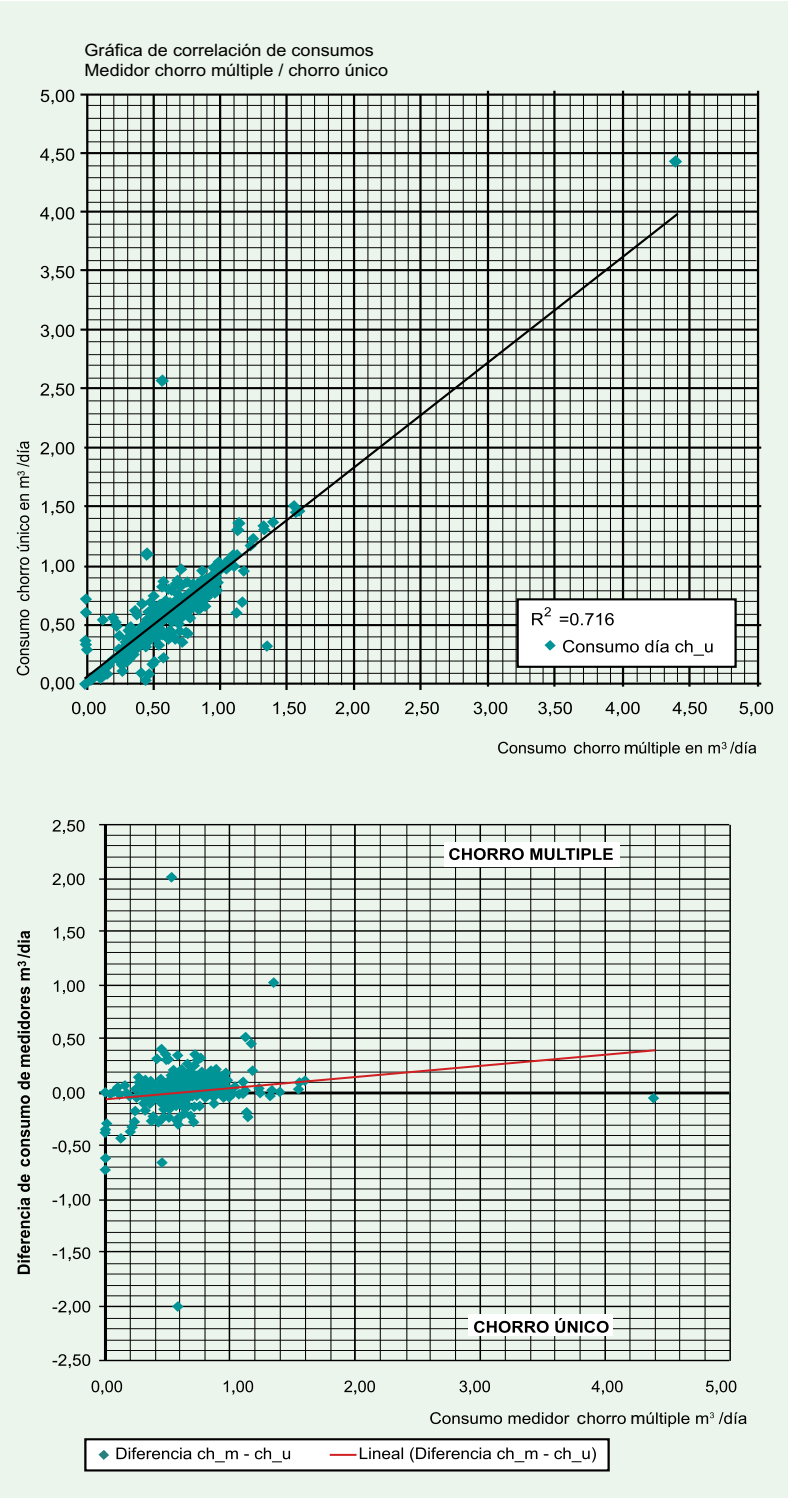


Gráfico 2.4. Tendencia sobre la diferencia de consumo – intervalo 10 a 20 m³/mes

Para este intervalo de consumo se hicieron evaluaciones del consumo horario con registradores de caudal y volumen. Los resultados mostraron que aproximadamente 50% del tiempo los usuarios no utilizaban el agua de la red de distribución o que el medidor no fue capaz de registrar consumos en el intervalo de 0 a 10 L/h (caudales inferiores al caudal de arranque) y 10,4% del tiempo el medidor trabajó en el intervalo del caudal de arranque (10 L/h) hasta 30 L/h pero fue en este intervalo donde el medidor no se ajustó a un margen de error. El intervalo con mayor incidencia fue el de 30 a 120 L/h con 17,1% del tiempo y los medidores registraron el caudal con un error de precisión de ±5%. También se observó que en promedio 3,8% del tiempo los medidores registraron caudales mayores de 120 hasta 750 L/h y excepcionalmente llegaron a registrar 1.500 L/h (error de precisión de ±2%). Esta tendencia de trabajar la mayor parte del tiempo en el campo inferior de medición (<120 L/h) sugiere que los medidores más adecuados para medir este intervalo de consumo deben ser aquellos que tengan márgenes de precisión normados (±5%) al menos desde 10 a 20 L/h. (Véase el gráfico 2.7).

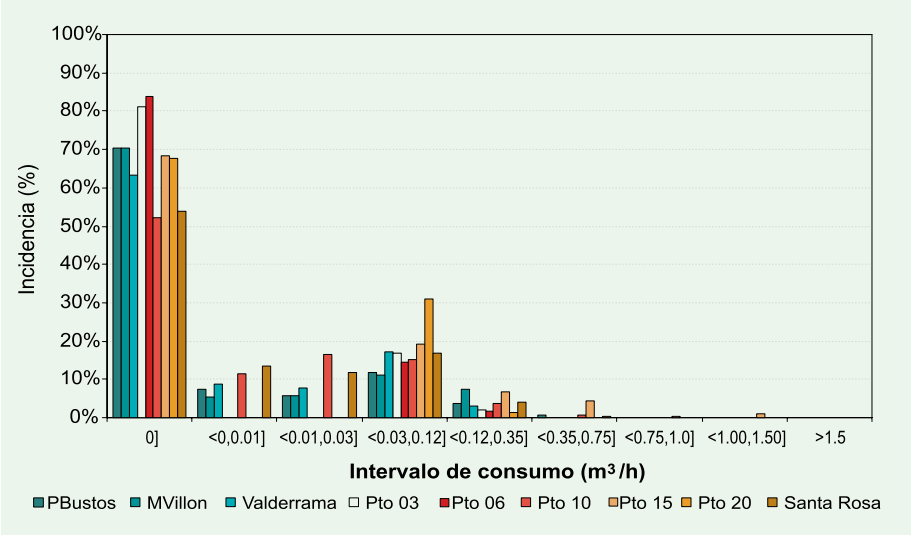


Gráfico 2.5 Patrón de consumo en el intervalo de 10 a 20 m³/mes

- Intervalo de 20 a 40 m³/mes

  A diferencia del grupo anterior, solo 3% del tiempo se registraron consumos menores de 200 L/d y 7,6% entre 200 a 500 L/d, lo cual indica la tendencia del perfil de consumo de este grupo, que se concentra mayormente entre 500 a 1.400 L/día con 73,2% del tiempo de registro. También se evidenció que los medidores de este grupo de consumo registraron caudales entre 1.400 hasta 5.000 L/día en 16,2% del tiempo, lo que marca una clara tendencia al registro de caudales altos.

  Al comparar los registros de consumo entre ambos tipos de medidores –que representaron 27,27% del total–, se observó que los medidores de chorro

múltiple registraron un consumo mayor, aunque ello no implica necesariamente un mejor comportamiento. Esto se contrastó con los resultados obtenidos en el aspecto metrológico.

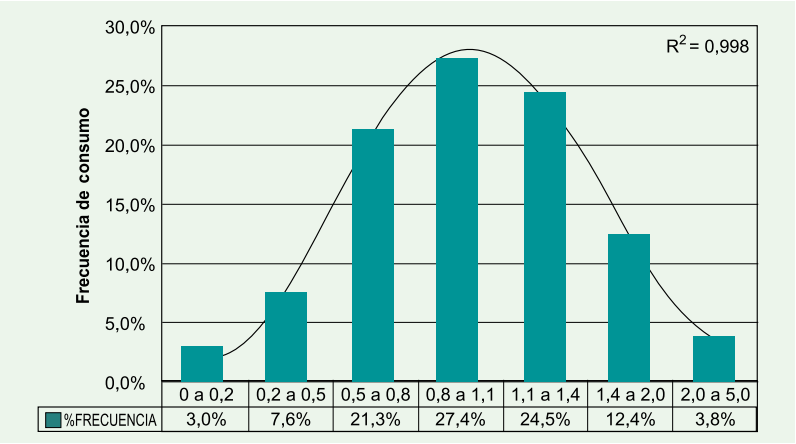


Gráfico 2.6. Histograma de frecuencias – distribución normal

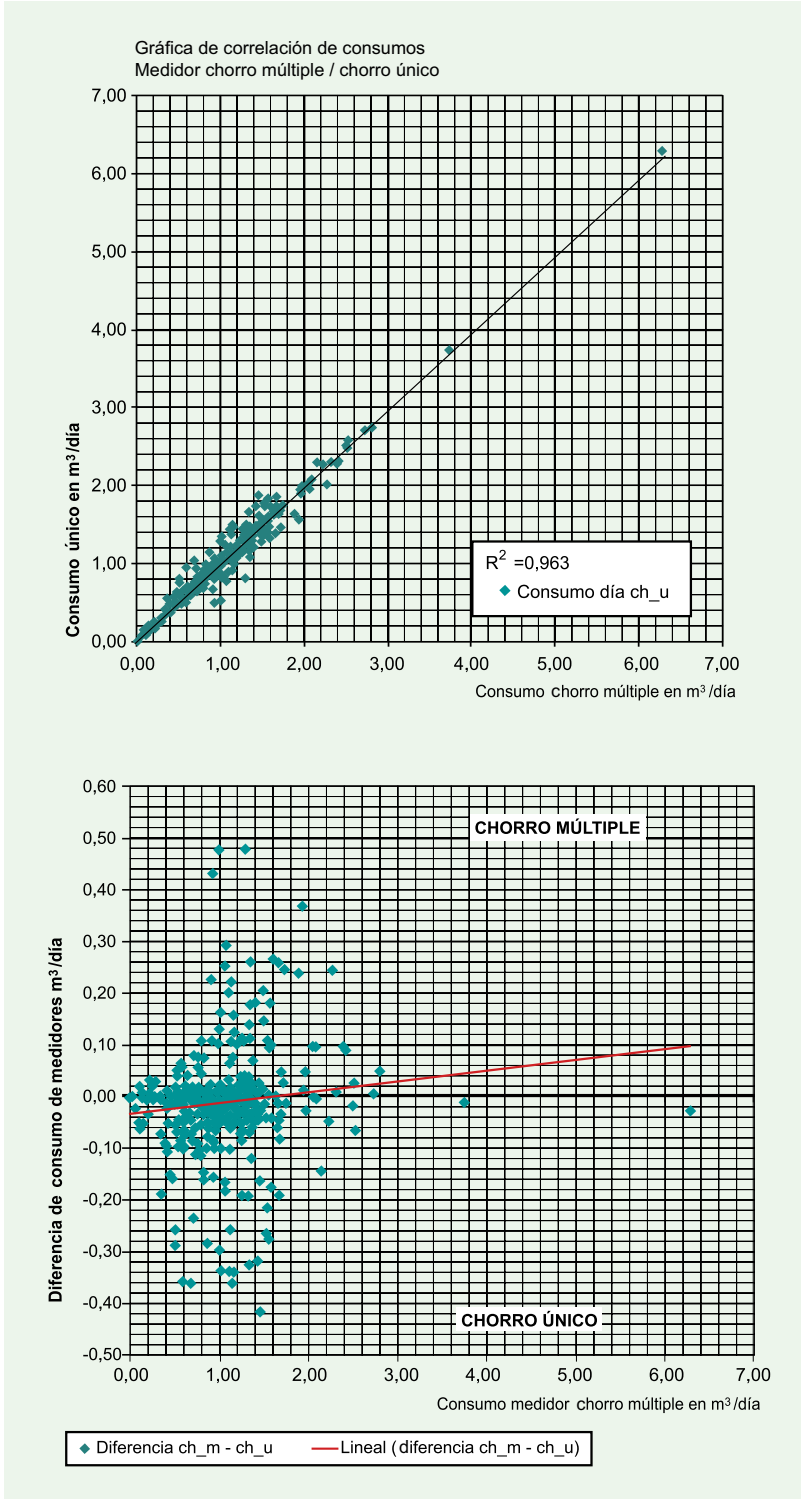


Gráfico 2.7. Tendencia de la diferencia del consumo – Intervalo de 20 a 40 m³/mes

Los resultados de la evaluación de consumos horarios mostraron que, al igual que en el intervalo anterior, aproximadamente 50% del tiempo los usuarios no utilizaban el agua de la red de distribución o que el medidor no fue capaz de registrar consumos en el intervalo de 0 a 10 L/h (caudales inferiores al caudal de arranque). Para el intervalo de 10 a 30 L/h, en promedio 13,1% del tiempo los medidores fueron capaces de registrar esos caudales pero fue en este intervalo donde el medidor no se ajustó a un margen de error. El intervalo con mayor incidencia fue de 30 a 120 L/h (error de precisión ±5%) con 20,1% del tiempo en promedio. También se observó que 11,4% del tiempo los medidores registraron caudales entre 120 a 350 L/h y 4,2% registraron caudales de 350 a 750 L/h. Finalmente, en periodos cortos y puntuales los medidores operaron hasta 1.500 L/h (0,5%).

Por tanto, en este intervalo los consumos horarios fueron mayores entre 0 a 750 L/h y fueron mínimos entre 750 a 1.500 L/h, lo cual indica que el medidor que se ha empleado para el estudio ha trabajado 50% de su capacidad nominal.

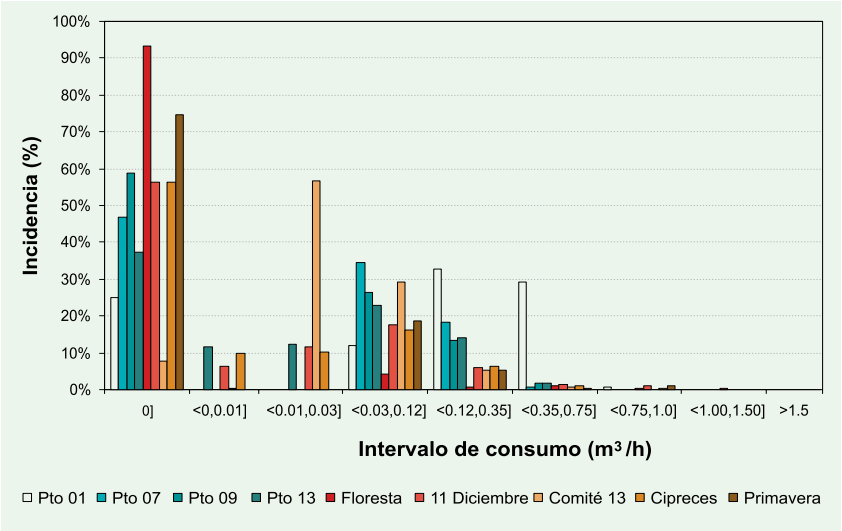


Gráfico 2.8. Patrón del consumo en el intervalo de 10 a 20 m³/mes

- Intervalo de 40 a 90 m3/mes

  La mayor incidencia en este grupo se encontró en el intervalo de 1.500 a 3000 L/d con 58,9% del tiempo en funcionamiento. Los intervalos menores de 500 L/d fueron mínimos (2,2%), pero sucedió todo lo contrario en intervalos altos, ya que se presentaron consumos entre 3,0 y 11,0 m³/día, con 22,6% del tiempo en funcionamiento. Estos registros de consumo superiores de 3,0 m³/d deben tomarse en cuenta para los programas de mantenimiento preventivo y correctivo.

En cuanto al consumo comparativo entre los dos tipos de medidores, los de chorro múltiple registraron una cantidad ligeramente mayor, lo cual se puede observar en el gráfico de tendencia de la diferencia del consumo. Las conexiones que estuvieron dentro de este intervalo representaron 14,77% del total de medidores.

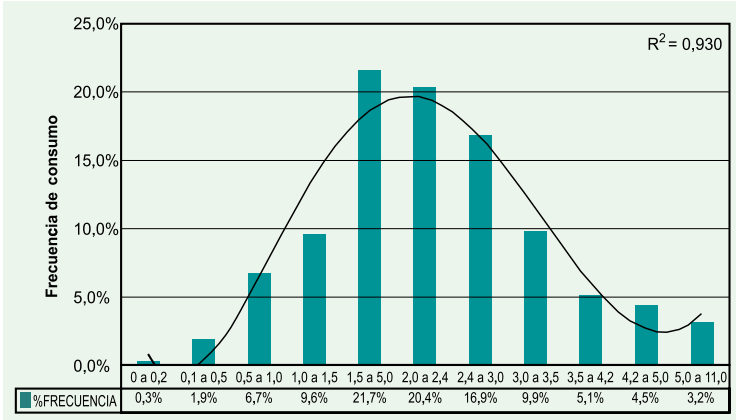


Gráfico 2.9. Histograma de frecuencias – distribución normal

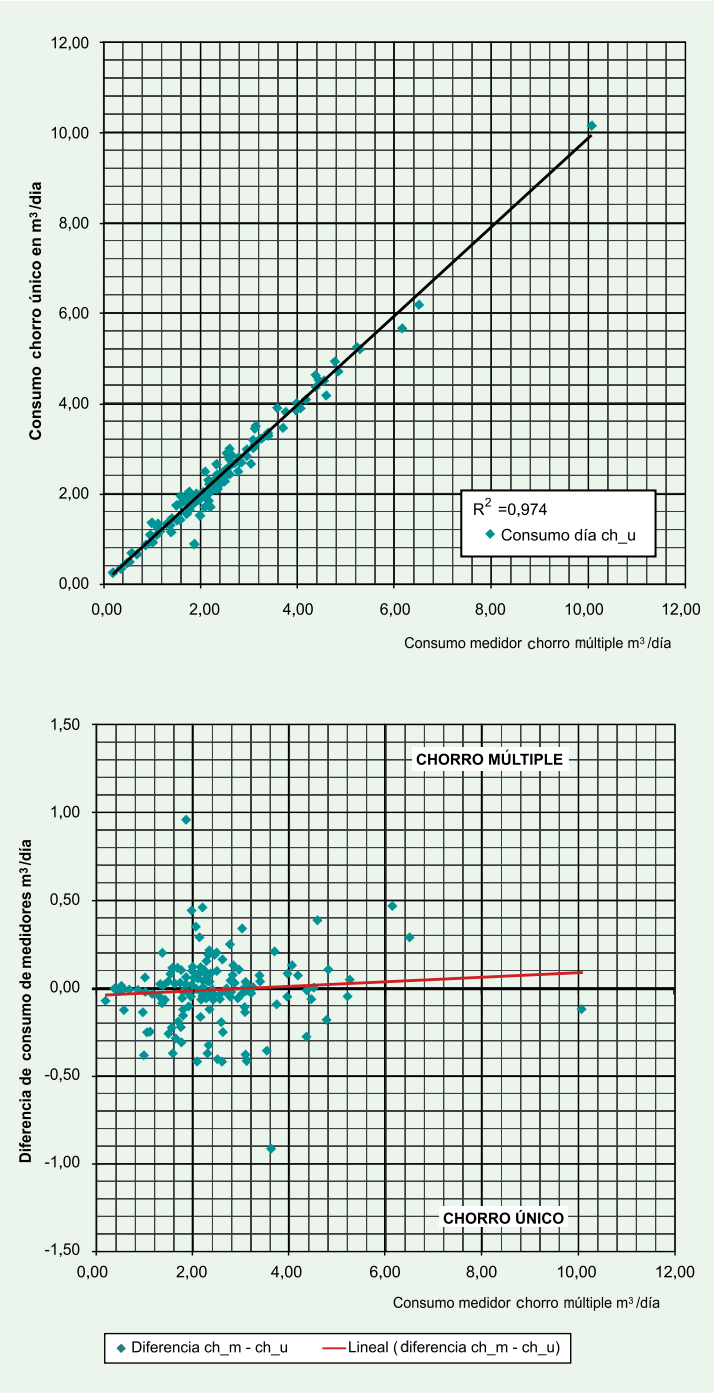


Gráfico 2.10. Tendencia de la diferencia del consumo – intervalo de 40 a 90 m³/mes

El comportamiento de los consumos horarios fueron similares al intervalo anterior, con la variación de que hubo mayor incidencia en el intervalo de 750 a 1.500 L/h (2,8%), lo cual exige seleccionar un medidor que además de ser preciso con caudales menores de 750 L/h, tenga la capacidad suficiente de soportar caudales de esa intensidad de flujo.

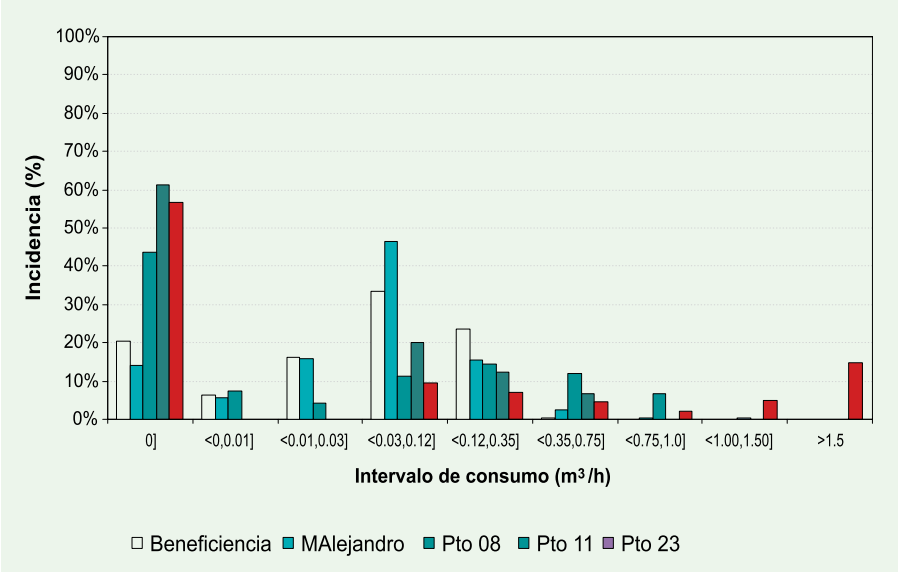


Gráfico 2.11. Patrón del consumo en el intervalo de 10 a 20 m^3/mes

- Intervalo de 90 m^3 a más

  Con la finalidad de analizar los efectos que puede ocasionar el registro de consumos mayores de 90 m^3/mes en los medidores se instalaron medidores en este tipo de conexiones, en una muestra de 14,61% del total. Los medidores registraron consumos entre 3,0 a 6,0 m^3/d durante 78,5% del tiempo y 19,5% registraron consumos mayores de 6,0 m^3/día, lo cual confirma la intensidad de trabajo al cual es sometido el medidor. Los caudales bajos fueron prácticamente nulos (2% para consumos menores de 500 L/d).

  Se evidenció mayor consumo del medidor de chorro único frente al de chorro múltiple, lo cual podría estar directamente relacionado con las tendencias que se presentaron en las pruebas de aferición de medidores.

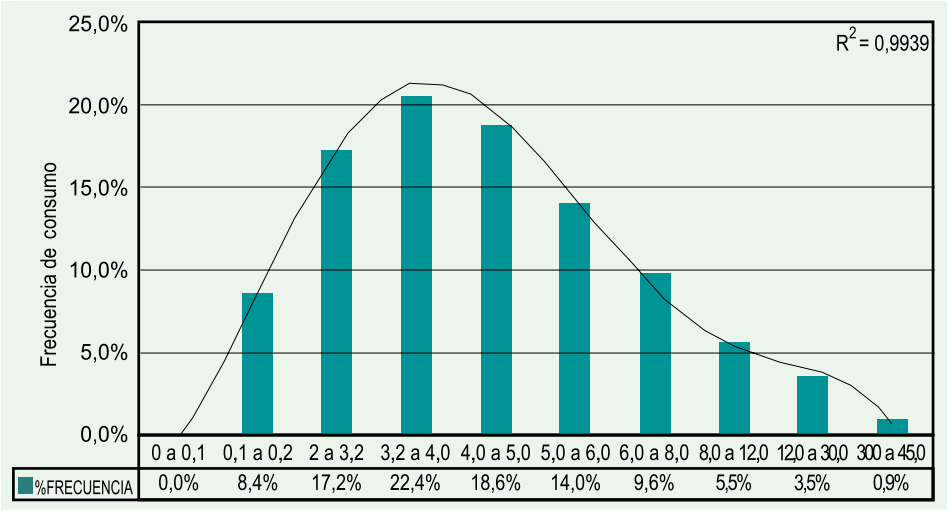


Gráfico 2.12. Histograma de frecuencias – distribución normal

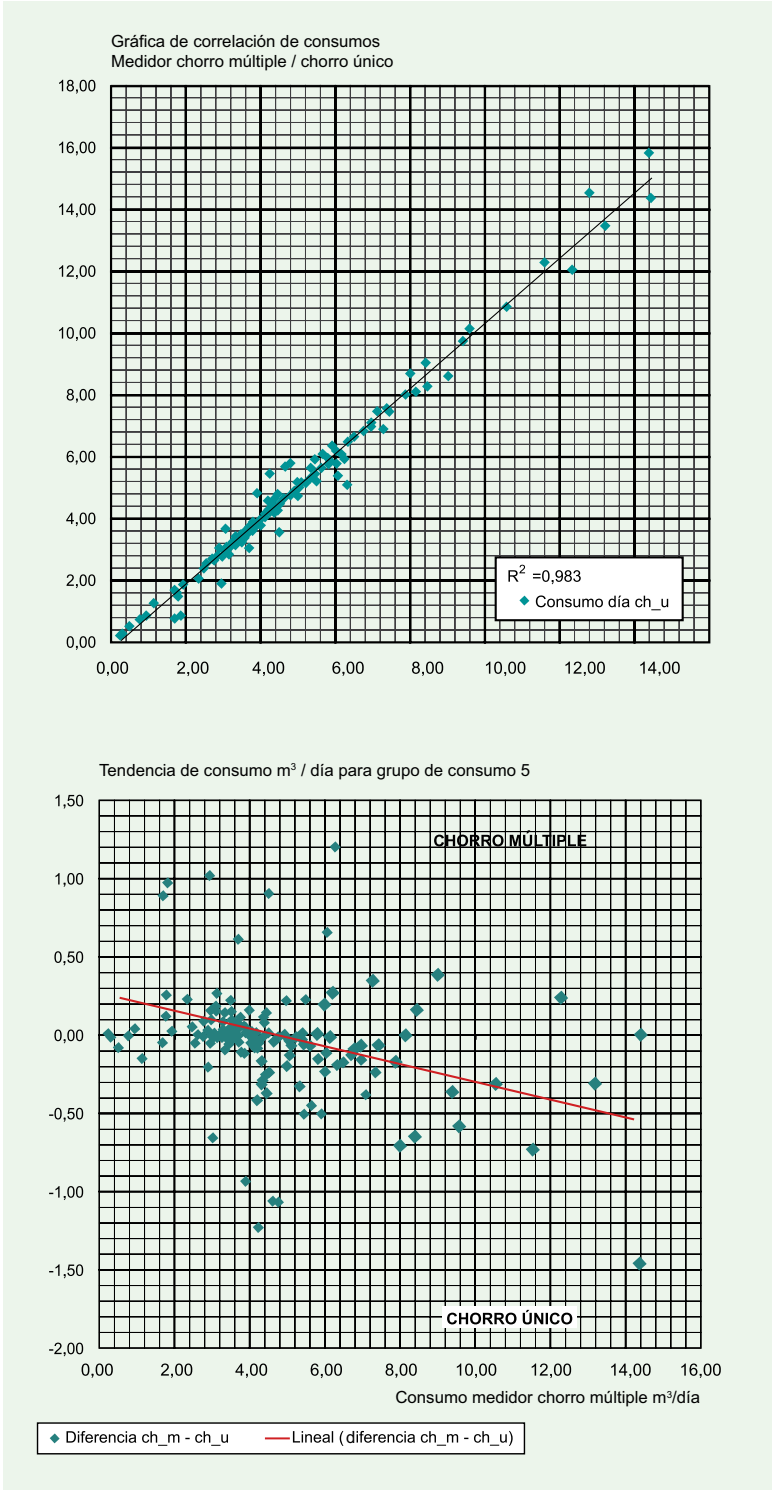


Gráfico 2.13. Tendencia de la diferencia del consumo – intervalo 90 m^3/mes a más

En este intervalo, 9,1% del tiempo los medidores trabajaron con caudales menores de 30 L/h. En el margen de precisión de ±5% (30 a 120 L/h) los medidores tuvieron una incidencia de 33,1%, lo cual indica que aproximadamente 42,2% de los medidores trabajaron con caudales bajos. En el siguiente margen de precisión normado (±2%), los medidores trabajaron 31,6% del tiempo, dentro del cual 2,6% correspondieron a caudales entre 750 a 1.500 L/h. Esto sugiere seleccionar un medidor que tenga precisión normada con caudales bajos entre 10 a 20 L/h y que tenga la capacidad suficiente para soportar caudales hasta 1.500 L/h e inclusive mayores.

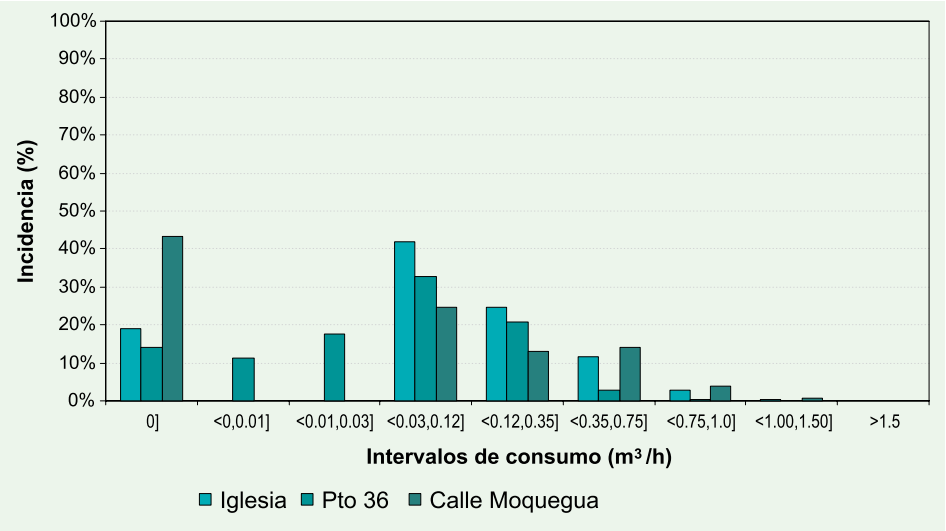


Gráfico 2.14. Patrón de consumo en el intervalo de 10 a 20 m³/mes

B) Interpretación de resultados por parámetros operacionales

Nivel de continuidad del servicio

- **Medidores en sectores con servicio continuo (24 horas)**
  De la muestra, 52,81% de los medidores fueron ubicados en conexiones que contaban con servicio las 24 horas del día. Los registros de consumo mostraron que el medidor de chorro único contabilizó mayor cantidad de agua, pero esta diferencia no sería un condicionante para elegir entre uno u otro medidor (véase el gráfico 2.15). Para ello se contrastó la información con la obtenida en las evaluaciones metrológicas.

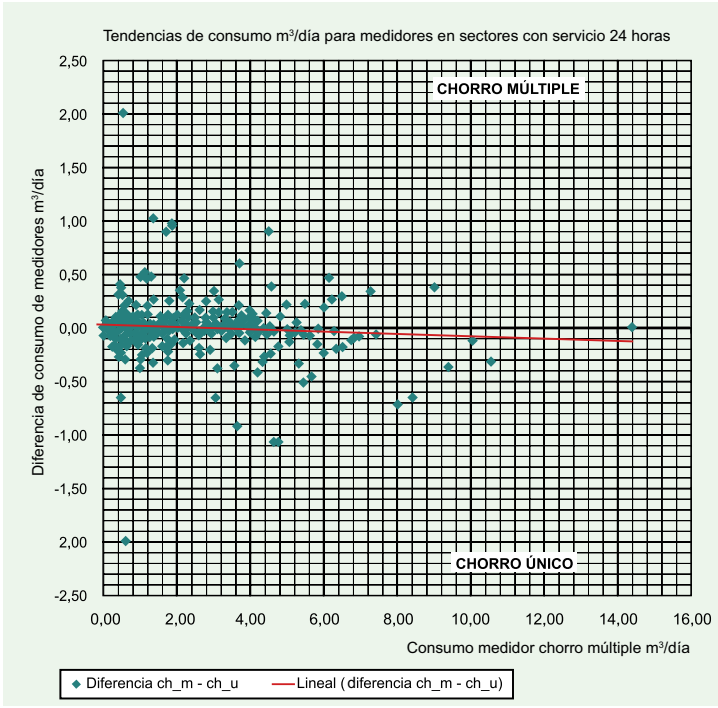


Gráfico 2.15. Tendencia de la diferencia del consumo

- **Medidores en sectores con servicio discontinuo (<24 horas)**

De la muestra total, 47,19% fueron conexiones que pertenecen a sectores operacionales con continuidad menor de 24 horas (servicio discontinuo). Bajo este régimen de trabajo y con caudales altos, ambos medidores tuvieron un rendimiento diferente y salió favorecido el medidor de chorro único (véase el gráfico 2.16).

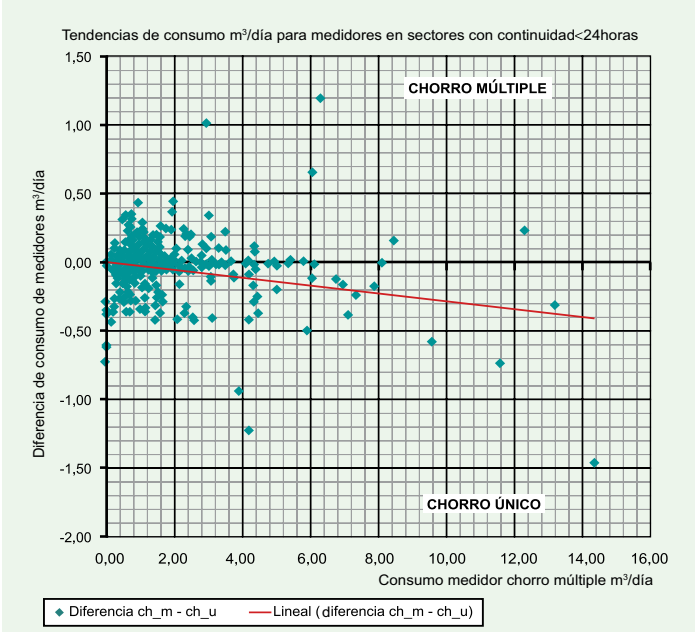


Gráfico 2.16. Tendencia de la diferencia del consumo

Conclusiones

Los resultados del laboratorio (pruebas de aferición inicial y final) y los obtenidos durante el proceso de medición comparativa y simultánea del agua (trabajo de campo) para los dos tipos de medidores mostraron que en los distintos intervalos de consumo y estados de continuidad se presentaron tendencias y características particulares estrechamente relacionadas, las cuales demuestran que es importante que los medidores mantengan sus características metrológicas el mayor tiempo posible. En caso contrario, la eficiencia de la medición se ve seriamente afectada.

a) La metodología aplicada para la evaluación de medidores combinó el trabajo en el laboratorio (aferición inicial y final) con registros en campo que permitieron conocer el patrón de consumo horario y diario de los usuarios. Adicionalmente, la instalación de medidores de diferente tipo colocados en serie permitió comparar la desviación entre ellos, y con la aferición final, se corroboraron los medidores cuyos registros en el campo tendieron al sobre registro o al subregistro. Esta metodología representa un criterio técnico para la evaluación y posterior selección de medidores.

b) La instalación de medidores preequipados y de transductores de presión permitió conocer los registros horarios y diarios de los usuarios, con lo cual es posible calcular el número de medidores que se requieren según los patrones de consumo. También permitió profundizar la determinación de los coeficientes de variación diaria y horaria en la localidad, lo que es necesario para el diseño de reservorios y redes de distribución.

c) Se observó que un importante porcentaje de los medidores presentó errores fuera de los límites permisibles, pese a haber estado sometidos a condiciones normales de operación por corto periodo (tres a cinco meses). Esto indica que se deben tomar acciones en el proceso de adquisición de medidores así como en las políticas de mantenimiento. Por ello se recomienda:

- Asignar una calificación al otorgamiento de garantías por parte del proveedor del producto en el proceso de licitación o adquisición de medidores.
- Considerar la prueba de desgaste acelerado del medidor ofertado como condición técnica mínima en el proceso de adquisición de medidores.
- Considerar la prueba de desgaste acelerado de medidor (a una muestra) como condición para aprobar un lote en el proceso de entrega de los medidores a la EPS.
- Considerar en el proceso de adquisición que el postor presente garantías para el cambio de todo medidor que presente errores fuera de los límites permisibles de la normativa vigente en el tiempo óptimo de operación ofrecido por el fabricante, sin que ello signifique un costo adicional para la EPS. Para ello, la EPS debe instalar los medidores de acuerdo con las especificaciones técnicas indicadas por el proveedor.
- La EPS debe introducir procesos de evaluación del parque de medidores con frecuencia de 8 a 12 meses en su política de gestión de la medición a fin de tomar acciones preventivas o correctivas en el mantenimiento de medidores. Para tal efecto, la EPS debe mantener el banco de medidores con las certificaciones respectivas y contar con taller de medidores y personal capacitado.

d) El caudal de arranque, (valorado por las EPS en procesos de adquisición para la selección de medidores) perdió en corto tiempo esta característica y esta pérdida de sensibilidad fue mayor en los medidores de chorro único que en los medidores de chorro múltiple, (véase la tabla 1). Por ello, los resultados sugieren que no sería relevante considerar el caudal de arranque como factor de calificación en los procesos de selección y adquisición de medidores.

e) El caudal de arranque para medidores de chorro único que operaron en condiciones de continuidad de 24 horas aumentaron su caudal de arranque de 10,6 a 13,1 L/h, mientras que los medidores de tipo chorro múltiple tuvieron un caudal de arranque menos sensible (12,1 L/h) pero se desplazaron igualmente a 13,1 L/h en la aferición final. En sistemas con servicio discontinuo, el medidor tipo chorro único presentó un incremento de 10,8 a 13,9 L/h frente al de chorro múltiple que pasó de 12,5 a 14,2 L/h.

f) Con caudales característicos se observó que los medidores operados en sistemas continuos permanecieron en el intervalo óptimo y que los desplazamientos hacia los otros intervalos fueron similares para ambos tipos de medidores. No obstante, en condiciones de discontinuidad, el medidor de chorro único tuvo mayor desviación con respecto al medidor de chorro múltiple, lo que fue evidente en los caudales de transición y permanente.

   Por ello, el uso de medidores de chorro múltiple sugiere tener mejor comportamiento en servicios discontinuos, mientras que en los servicios continuos de 24 horas el comportamiento de ambos tipos fue muy similar.

g) Con respecto al intervalo de consumo de 0 a 10 m^3/mes y en ambas condiciones de continuidad, la medición de ambos medidores fue muy similar, ya que al observar la gráfica respectiva no hay una tendencia a favor de uno de ellos. En este intervalo de consumo predominan consumos entre 100 a 500 L/día, de lo cual se deduce que los caudales instantáneos de funcionamiento del medidor se encuentran mayormente en el intervalo inferior de medición y hasta no más de 0,5 de su capacidad nominal (QN 1,5 m^3/h). Por tanto, se sugiere estudiar el comportamiento con medidores QN 0,75 m^3/h para evaluar si la precisión mejora en este intervalo de medición.

h) En el intervalo de consumo de 10 a 20 m^3/mes y para ambas condiciones de operación (continuidad de 24 h y con discontinuidad), los resultados indicaron un comportamiento ligeramente mejor del medidor de chorro múltiple, pero ello no define la preferencia hacia este tipo de medidor. Asimismo, se observó que en este intervalo los consumos diarios son menores de 1.500 L/d y con la evaluación horaria se notó el predominio del caudal mínimo (30 L/h) y del caudal de transición (120 L/h), lo que sugiere que el comportamiento del medidor se encuentra mayoritariamente en el intervalo inferior de medición hasta 0,5 de la capacidad nominal y es aun mayor en los medidores que trabajaron en el intervalo de consumo anterior. Por tanto, se sugiere estudiar el comportamiento con medidores QN 0,75 m^3/h para evaluar si la precisión mejora en este intervalo de medición.

i) En el intervalo de consumo de 20 a 40 m^3/mes la tendencia indica que los medidores de chorro múltiple registraron mayor cantidad de agua que los de chorro único, por lo que se deduce que existe un mejor rendimiento de los primeros. En este intervalo los medidores registraron mayormente consumos diarios por encima de 500 L/d e inclusive consumos de hasta 3.000 L/d pero en menor proporción (3,9% del tiempo), y se lograron registrar caudales horarios (instantáneos) de hasta 1.500 L/h. Ellos significa que los medidores que registraron consumos de agua en este intervalo trabajaron tanto en el intervalo inferior de medición (0 a 120 L/h en 33,2%) como en el intervalo medio y superior hasta 1.500 L/h. Es importante que los medidores preserven la precisión en el intervalo inferior de medición y que tengan la capacidad de soportar caudales altos a la vez que mantienen su precisión en el intervalo permisible de error durante el periodo de vida útil previsto.

En términos de presión, para caudales superiores de 750 L/h los medidores de chorro único tienen mayor pérdida de carga que los de chorro múltiple. Por ello, para el intervalo de consumo analizado se considera que:

- En sistemas discontinuos los medidores de chorro múltiple tuvieron mejor comportamiento.
- En sistemas continuos, con presiones menores de 10 mca, los medidores de chorro múltiple tuvieron mejor comportamiento.
- En sistemas continuos, con presiones mayores de 10 mca, los medidores de chorro único tuvieron mejor comportamiento.

j) Para el intervalo de 40 a 90 m^3/mes y en ambas condiciones de continuidad, la tendencia en el consumo m^3/día no definió un mejor comportamiento hacia uno u otro medidor. Para este intervalo alto de consumo, con medidores DN15 – QN1.5, se observó que los registros de volumen de agua por día llegaron hasta 5.000 L/d y con el análisis del consumo horario se observó que llegaron hasta su capacidad nominal de 1.500 L/h. Por tanto, su selección dependerá principalmente del comportamiento en función de la precisión en los diferentes intervalos de medición. Por ejemplo, se debe considerar la precisión cuando los medidores trabajen entre 30 y 120 L/h porque 24,2% trabajan en esta intensidad. Asimismo, para el intervalo superior de medición (mayor de 120 L/h) es importante mantener sus características metrológicas porque trabajarán mayormente con estos caudales.

k) Finalmente, en el intervalo de consumo mayor de 90 m^3/mes, la tendencia muestra que los medidores de chorro único registraron mayor cantidad de agua. Asimismo, en este grupo de consumo, tanto los consumos diarios como los horarios tienen una distribución similar al del intervalo de 40 a 90 m^3/mes, pero son más intensos en función del tiempo de operación o funcionamiento. En efecto, en este caso operaron entre 3.000 a 5.000 L/d 91,6% del tiempo, no obstante que respecto al consumo horario 33% del tiempo operaron entre 30 a 120 L/h y 31% entre 120 a 1.000 L/h. De lo indicado, la selección de medidores para este intervalo de consumo dependerá de la precisión que mantengan en todos los campos de medición, sobre todo en el intervalo superior de medición, así como también de su estabilidad en condiciones de continuidad o discontinuidad.

l) En el cuadro siguiente se presenta el resumen de los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología descrita.

No obstante, se recomienda continuar con estudios similares en mayor número de ciudades y condiciones hidrodinámicas, ampliando, si es posible, el periodo de análisis, que permita establecer y consolidar criterios suficientes para las diversas regiones del país, en materia de dimensionamiento y selección de medidores.

Resultados del estudio aplicado en 5 ciudades del Perú, con medidores de velocidad

Intervalo de consumo	Funcionamiento del Medidor					Consideraciones metrológicas	
	Presión de servicio (mca)	**Discontinuidad de servicio**		**Continuidad 24 horas**		MEDIDOR DN 15	
		CHU	CHM	CHU	CHM	QN 0.75	QN 1.5
Intervalo de consumo 1 (0 a 10 m^3 /mes)	< 10 mca	Similar		Similar		✓ ↑	✓
	> 10 mca	Similar		Similar		✓ ↑	✓
Intervalo de consumo 2 (10 a 20 m^3 /mes)	< 10 mca		Mejor	Similar		✓ ↑	✓
	> 10 mca		Mejor	Similar		✓ ↑	✓
Intervalo de consumo 3 (20 a 40 m^3 /mes)	< 10 mca		Mejor		Mejor		✓ ↑
	> 10 mca		Mejor	Mejor			✓ ↑
Intervalo de consumo 4 (40 a 90 m^3 /mes)	< 10 mca		Mejor		Mejor		✓ ↑
	> 10 mca		Mejor	Mejor			✓ ↑
Intervalo de consumo 5 (90 m^3 /mes a más)	< 10 mca		Mejor		Mejor		✓ (*)
	> 10 mca		Mejor	Mejor			✓ (*)

Notas aclaratorias a la simbología utilizada

↑	Altamente recomendable para las condiciones que se presentan.
★	Para intervalos de consumo 3, 4 y 5 y presion de servicio menor a 10 mca es posible que en determinados momentos del dia, el usuario que demande consumos mayores a 750 L/h perciba que la presion de servicio o la cantidad de agua disminuye.
(*)	Es posible utilizar medidores DN15 - QN1.5 para este rango de consumo. Se recomienda hacer registros de presión y consumos horarios con data loggers para confirmar el diámetro y capacidad o decidir por el medidor inmediato superior.

Anexos

Anexo 1:	Ejemplo de Utilización de Resultados
Anexo 2:	Factores de Análisis
Anexo 3:	Procedimiento en el Laboratorio
Anexo 4:	Procedimiento en el Campo
Anexo 5:	Formatos - Formulario para la Aferición de Medidores en el Laboratorio - Acta de Instalación de Medidores en Serie
Anexo 6:	Fotografías

Anexo 1. Ejemplo de utilización de resultados(*)

La EPS Agüita Clara S.A. cuenta con financiamiento para reponer e instalar nuevos medidores en diversos sectores de su ámbito de prestación del servicio, los cuales tienen características de servicio y de consumo diferentes. Sus funcionarios buscan establecer el tipo de medidor que sea más adecuado para estas condiciones, las cuales son similares a las de las EPS que participaron en el presente estudio. Por consiguiente, deciden utilizar los resultados del mismo.

Para ello, elaboraron el siguiente cuadro resumen con las características y requerimientos de cada sector. La última columna de la derecha corresponde al medidor seleccionado en función de las condiciones hidrodinámicas y de consumo.

Sector	Presión del servicio [mca]	Horas de servicio	Intervalo de consumo [m³/mes]	N.° de usuarios	Reposición / instalación	Tipo de medidor seleccionado
A	8	13	0 a 10	870	Reposición	QN 0.75 Ch. único o Ch. múltiple
B	21	18	Más de 90	2,000	Instalación	QN 1.5 Ch. múltiple
C	15	24	0 a 10	1,230	Instalación	QN 0.75 Ch. único
	7	12	21 a 40	655	Reposición	QN 1.5 Ch. múltiple
D	9	24	41 a 90	2,960	Reposición	QN 1.5 Ch. único
	22	24		3,780	Instalación	QN 1.5 Ch. múltiple
E	10	16	11 a 20	530	Reposición	QN 1.5 Ch. múltiple
F	12	15		1,115	Instalación	QN 1.5 Ch. único

En conclusión, la EPS Agüita Clara debe adquirir las siguientes cantidades y tipos de medidores:

1. Medidor QN 0.75 de chorro único: 2.100 unidades (870 + 1.230)
2. Medidor QN 1.5 de chorro único: 4.075 unidades (2.960 + 1.115)
3. Medidor QN 1.5 de chorro múltiple: 6.965 unidades (2.000 + 655 + 3.780 + 530)

   Total: 13.140 unidades

En caso de que no existan o no se pueda acceder fácilmente en el mercado a medidores QN 0.75 se les reemplaza por los QN 1.5 y se suman estas cantidades a los ya previstos para los otros sectores, y se preserva el tipo de medidor (chorro único o chorro múltiple) según corresponda.

(*) Se agradece el apoyo de nuestro colega Agustín Alonso.

Anexo 2. Factores de análisis

		FA 1: Resultados de las pruebas finales de precisión					
		Continuidad = 24 horas/día			Continuidad < 24 horas/día		
		Qmín 30 L/h	Qt 120 L/h	Qp 1.500 L/h	Qmín 30 L/h	Qt 120 L/h	Qp 1.500 l/h
Aplicable a todos los grupos	Chorro único	Óptimo: 68,75% de medidores conservan el error inicial.	Óptimo: 78,00% de medidores conservan el error inicial.	Óptimo: 86,00% de medidores conservan el error inicial.	Óptimo: 72,09% de medidores conservan el error inicial.	Óptimo: 65,96% de medidores conservan el error inicial.	Óptimo: 72,34% de medidores conservan el error inicial.
		Tolerable: Subregistro: 25,00% Sobre registro: 0,00%	Tolerable: Subregistro: 8,00% Sobre registro: 14,00%	Tolerable: Subregistro: 8,00% Sobre registro: 6,00%	Tolerable: Subregistro: 11,63% Sobre registro: 0,00%	Tolerable: Subregistro: 8,51% Sobre registro: 17,02%	Tolerable: Subregistro: 6,38% Sobre registro: 17,02%
		Fuera de norma: Subregistro: 6,25% Sobre registro: 0,00%	Fuera de la norma: Subregistro: 0,00% Sobre registro: 0,00%	Fuera de la norma: Subregistro: 0,00% Sobre registro: 0,00%	Fuera de la norma: Subregistro: 16,28% Sobre registro: 0,00%	Fuera de la norma: Subregistro: 4.26% Sobre registro: 4,26%	Fuera de la norma: Subregistro: 2,13% Sobre registro: 2,13%
	Chorro múltiple	Óptimo: 68,09% de los medidores conservan el error inicial.	Óptimo:80,90% de los medidores conservan el error inicial.	Óptimo: 80,85% de los medidores conservan el error inicial.	Óptimo: 76,74% de los medidores conservan el error inicial.	Óptimo: 83,72% de los medidores conservan el error inicial.	Óptimo: 90,70% de los medidores conservan el error inicial.
		Tolerable: Subregistro: 12,77% Sobre registro: 0,00%	Tolerable: Subregistro: 6,40% Sobre registro: 12,80%	Tolerable: Subregistro: 14,89% Sobre registro: 0,00%	Tolerable: Subregistro: 9.30% Sobre registro: 0,00%	Tolerable: Subregistro: 2.33% Sobre registro: 9,30%	Tolerable: Subregistro: 6,98% Sobre registro: 0.00%
		Fuera de la norma: Subregistro: 19,15% Sobre registro: 0,00%	Fuera de la norma: Subregistro: 0,00% Sobre registro: 0,00%	Fuera de la norma: Subregistro: 4,26% Sobre registro: 0,00%	Fuera de la norma: Subregistro: 13,95% Sobre registro: 0,00%	Fuera de la norma: Subregistro: 0,00% Sobre registro: 4,65%	Fuera de la norma: Subregistro: 2,33% Sobre registro: 0,00%

Tipo de medidor	FA 2: Comportamiento en caudal de arranque y 10 L/h			
	Caudal de arranque L/h (promedio)		Para los medidores que arrancaron con 10 L/h	
	=24 horas/día	< 24 horas/día	=24 horas/día	<24 horas/día
Chorro único	Línea de base: Q_a inicial prom: 10,6 a 10,8 L/h		Línea de base: Medidores paralizados: 25%	Línea de base: Medidores paralizados: 13,95%
	Qa final: 13,1 L/h	Qa final: 13,9 L/h	Final: Medidores paralizados: 81,25%	Final: Medidores paralizados: 74,42%
	Incremento de 23,6% respecto de la línea de base	Incremento de 28,7% respecto de la línea de base	Se incrementó en 56%, el número de medidores paralizados con este caudal	Se incrementó en 60,47% el número de medidores paralizados con este caudal
Chorro múltiple	Línea de base: Q_a inicial prom: 12,1 a 12,5 L/h		Línea de base: Medidores paralizados: 67,5%	Línea de base: Medidores paralizados: 85,0%
	Qa final: 13,1 L/h	Qa final: 14,2 L/h	Final: Medidores paralizados: 80%	Final: Medidores paralizados: 82,50%
	Incremento de 8,3% respecto de la línea de base	Incremento de 13,6% respecto de la línea de base	Se incrementó en 12,5% el número de medidores paralizados con este caudal	Bajó en 2,5% el número de medidores paralizados con este caudal

Tipo de medidor	Grupo de consumo (m^3/mes)	FACTORES DE ANÁLISIS COMUNES A LOS DOS TIPOS DE MEDIDOR		
		FA 3: Consumo diario (litros/día)	FA 4: Consumo horario (obtenido con Data Logger)	
Medidores de chorro múltiple y chorro único	**INTERVALO 1 <10m^3/mes**	Predominan consumos bajos - medio: < 200 L/día: 40,4% del tiempo. < 500 L/día: 52,4% del tiempo. < 1500 L/día: 7,2% del tiempo. Ambos tipos de medidores registran volúmenes similares. Gráficamente se obtiene una recta 1/1 de pendiente.	No se registraron datos, posiblemente por una alta incidencia de consumos horarios bajos no capaces de ser registrados por los medidores.	
	INTERVALO 2 Entre 10 y 20 m^3/mes	Predominan los consumos medios: < 200 L/día: 6,4% del tiempo. < 500 L/día: 38,1% del tiempo. < 1500 L/día: 55,0% del tiempo. Los registros obtenidos indican que el medidor de tipo chorro múltiple registra mayor volumen que el chorro único.	**El usuario hace uso del servicio 32,1% del tiempo**	
			< 30 L/h: 10,4% del tiempo. < 120 L/h: 17,1% del tiempo. < 350 L/h: 3,8 % del tiempo. < 750 L/h: 0,6% del tiempo	Posiblemente el medidor no obtuvo registros a caudales más bajos y patron de consumos focalizados. 27,5% del tiempo trabaja con menos de 120 l/h.
	INTERVALO 3 Entre 20 y 40 m^3/mes	Predominan los consumos medios: < 200 L/día: 5,8% del tiempo. < 500 L/día: 4,8% del tiempo. < 1500 L/día: 86,0 % del tiempo. < 3000 L/día: 3,9% del tiempo. Los registros obtenidos de medidores indican que el medidor de tipo chorro múltiple registra mayor volumen que el chorro único.	**El usuario hace uso del servicio 49,3% del tiempo**	
			< 30l L/h: 13,1% del tiempo. < 120 L/h: 20,1% del tiempo. < 350 L/h: 11,4% del tiempo. < 750 L/h: 4,2% del tiempo. < 1500 L/h: 0,5% del tiempo.	Patrón de consumo no está focalizado. 33,2% trabaja con menos de 120 L/h y 15,6% con menos de 750 L/h.
	INTERVALO 4 Entre 40 y 90 m^3/mes	Predominan consumos medios - altos: < 200 L/día: 1,1% del tiempo. < 500 L/día: 1,1% del tiempo. < 1500 L/día: 19% del tiempo. < 3000 L/día: 56,7% del tiempo. < 5000 L/día: 22,6% del tiempo. Los registros obtenidos de ambos medidores indican que el medidor de tipo chorro único registra mayor volumen que el chorro múltiple.	**El usuario hace uso del servicio 60,8% del tiempo**	
			< 30 L/h: 11,1% del tiempo. < 120 L/h: 24,2% del tiempo. < 350 L/h: 14,6% del tiempo. < 750 L/h: 5,2% del tiempo. < 1500 L/h: 2,8% del tiempo.	Patrón de consumo atomizado. 35,2% trabaja con menos de 120 L/h y 15,8% con menos de 750 L/h, se evidencian consumos altos (1500 L/h) en un 2,8% del tiempo.
	INTERVALO 5 Mayor a 90 m^3/mes	Fundamentalmente consumos altos: < 3000 L/día: 8,4% del tiempo. < 5000 L/día: 91,6% del tiempo. Los registros obtenidos de ambos medidores indican que el medidor de tipo chorro único registra mayor volumen que el chorro múltiple.	**El usuario hace uso del servicio 73,9% del tiempo**	
			< 30 L/h: 9,1% del tiempo. < 120 L/h: 33,1% del tiempo. < 350 L/h: 19,4% del tiempo. < 750 L/h: 9,6% del tiempo. < 1500 L/h: 2,6% del tiempo	Patrón de conusmo atomizado. 42,2% del tiempo trabaja con menos de 120 L/h y 26% con menos de 750 L/h, se evidencian demandas de consumo alto en 2,6% del tiempo.

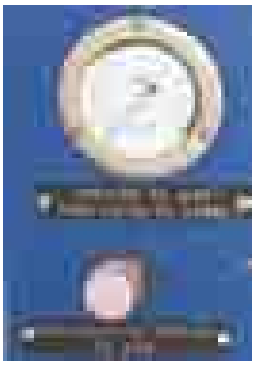
Anexo 3. Procedimiento en el laboratorio

Determinación de la curva de error mediante la contrastación en el banco de medidores

Para la determinación de la curva de error se describe el procedimiento desde la operación del banco de pruebas hasta el momento del cálculo respectivo para la obtención o determinación de la curva de error del medidor.

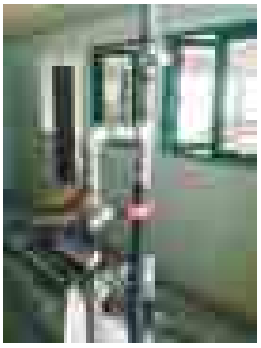
1. **Instalación de medidores en la bancada del banco de medidores**
   Los medidores que serán verificados en la prueba de aferición inicial deben ser instalados cuidando la indicación de flujo del medidor, la cual es la misma que se encuentra inscrita en la carcaza del medidor.

2. **Encendido de la compresora de aire**
   Luego de la preparación de los medidores e instalación en la bancada de medidores se hace el encendido de la compresora de aire para que funcione el pistón de ajuste. El objetivo del pistón es mantener una presión de aire determinada en el sistema para evitar la presencia de fugas de agua entre los medidores y los acoples.

   La compresora de aire debe mantenerse encendida desde el momento inicial hasta el instante en el cual se concluyen las pruebas. La presión de la compresora de aire se controlará con el manómetro y el regulador de compresión de aire ubicados en el tablero principal del banco de medidores.

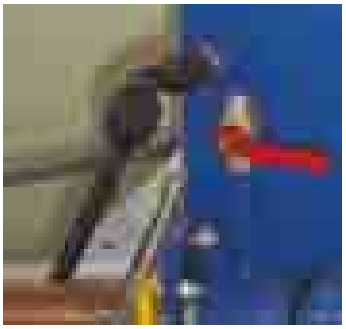
3. **Puesta en marcha de las instalaciones sanitarias del banco de banco de medidores / prueba hidrostática de operación**
   En principio se verifica que tanto el tanque cisterna como el tanque elevado se encuentren abastecidos de agua para la operación de las pruebas. Luego de la verificación se abre la llave de control de impulsión de ingreso al sistema y se cierra la llave de control del montante del tanque elevado, para evitar que cuando se encienda la bomba de impulsión el agua ingrese al tanque elevado por la tubería de descarga y provoque el rebalse.

   Antes del encendido de la bomba de impulsión, las llaves esféricas que controlan la operación de los rotámetros deben quedar completamente cerradas, así como también la válvula de purga del sistema. Una vez encendida la bomba de impulsión, se abre la válvula esférica de la bancada de medidores y se verifica que no existan fugas de agua en el sistema de agua. En caso de que existan fugas de agua, estas deberán ser solucionadas hasta que el sistema esté completamente hermético.

4. Prueba de purga de aire y agua del sistema

Una vez que se haya efectuado la prueba hidrostática y verificado que no existan fugas de agua en el sistema, se procede al encendido de la bomba de impulsión y apertura de la válvula de purga de agua y aire ubicada antes del primer rotámetro. Se debe eliminar por esta válvula toda el agua y aire que sean necesarios, hasta verificar que el flujo de agua es permanente y sin presencia de aire.

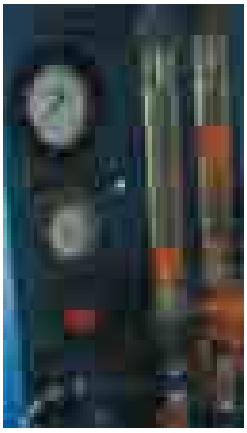


Seguidamente se abren las válvulas de regulación de flujo de los rotámetros y luego las válvulas de cierre y apertura de los mismos. La operación de las válvulas de cierre y apertura (llaves esféricas) debe ser lo suficientemente lenta para evitar que el aire atrapado en las montantes de cada rotámetro dañe a los mismos.

La descarga de agua se hace hacia los tanques volumétricos; en una primera etapa se cierra la válvula de descarga para llenar de agua los tanques de calibración. Una vez llenados, se abren las válvulas de descarga. Estas válvulas deben quedar completamente abiertas para continuar con el proceso de purga.

Para la prueba de purga, la apertura de válvulas de rotámetros debe ser 100% para hacer la máxima descarga de agua y de esta forma eliminar todo el aire que esté contenido en el sistema. El operador determinará el tiempo que dure la prueba de purga de agua y aire y deberá cerciorarse de que el sistema haya quedado completamente sin burbujas de aire. Para ello, debe cerrar y abrir de manera intermitente las válvulas esféricas.

Terminada la prueba de purga, con la utilización del sistema de impulsión se hace lo propio para el sistema de descarga de agua con el tanque elevado. Por lo que se debe verificar que el sistema esté exento de aire tanto con la utilización del sistema de impulsión como con el sistema de descarga del tanque elevado.



5.Calibración de rotámetros para las pruebas metrológicas

La calibración de los rotámetros consiste en ubicar la parte superior del flotador del rotámetro en el caudal característico que corresponda a la designación del medidor a aferir o contrastar, la misma que se encuentra debidamente marcada en el rotámetro en el momento de la certificación efectuada por el INDECOPI. La calibración de los rotámetros se efectúa de forma independiente con el ajuste de la válvula de regulación. Para cada caudal característico de ensayo se debe de utilizar una determinada instalación sanitaria que es componente del banco de medidores, lo cual se indica en la siguiente tabla:

Tabla de operación de instalación sanitaria en función del caudal de prueba

Ítem	Caudal de prueba	Instalación sanitaria en operación
01	Caudal mínimo	Tanque elevado
02	Caudal de transición	Tanque elevado
03	Caudal permanente	Bomba de impulsión / tanque cisterna

Los caudales con los cuales se debe hacer la calibración de los rotámetros están en función de los caudales de ensayo para los medidores con clase metrológica B, y son los siguientes:

Tabla de caudales según la designación del medidor

Designación del medidor DN	Caudal mínimo (Qmín.) L/h	Caudal de transición (Qt) L/h	Caudal permanente (Qp) L/h
DN15	30 L/h	120 L/h	1.500 L/h
DN20	50 L/h	200 L/h	2.500 L/h
DN25	70 L/h	280 L/h	3.500 L/h

La calibración de cada rotámetro se regula con el uso de las válvulas de regulación. Una vez obtenido el valor deseado, se cierra la válvula de cierre/apertura e inmediatamente se procede a abrir nuevamente la válvula y observar si el caudal calibrado anteriormente ha quedado en la posición inicial deseada. Generalmente esto no sucede, por tanto, esta calibración se repite hasta conseguir que por lo menos en tres aperturas sucesivas el flotador del rotámetro alcance la medida deseada para cada rotámetro.

Terminado el proceso de calibración para los tres rotámetros, se entiende que el sistema está exento de aire y que se encuentra preparado para iniciar las pruebas metrológicas, por tanto, está completamente prohibido abrir la válvula de purga de agua, regular las válvulas, desmontar el pistón, etc. En caso de que se realice una operación adicional no contemplada, se tendrá que iniciar nuevamente la etapa de purga de agua.

6. Prueba de aferición o calibración

La prueba de aferición o calibración se compone de varios pasos que permiten obtener el valor del error porcentual para cada caudal característico en función de su designación nominal.

Antes de la prueba se debe tomar en cuenta la información siguiente:

Tabla de caudales y volúmenes de ensayo

Flujo	Volumen mínimo del ensayo en litros (l)
Mínimo	10
Transitorio	10
Permanente	100

Tabla de errores para caudales característicos

Intervalo de caudal	Error máximo permisible % en aferición inicial
Zona inferior de medición desde Qmín hasta Qt exclusive	± 5%
Zona superior de medición desde Qt inclusive hasta Qs inclusive.	± 2%

Los pasos de las pruebas de aferición son:

a. Cierre la válvula de descarga del tanque volumétrico. Para proceder al cierre de la válvula que controla la descarga de agua del tanque se debe verificar que el meñisco de agua del tanque se encuentre en cero y que no exista salida de agua por la tubería de descarga.

b. Abra la válvula (de cierre/apertura) del rotámetro para iniciar el ensayo. Según el caudal con el que se efectúa la aferición o contrastación se realiza el encendido de la bomba de impulsión o se realiza la apertura de la válvula del montante del tanque elevado. Para ello, verifique la tabla indicada en el ítem 6.3.5. Primeramente efectúe el ensayo para el caudal nominal, luego para el caudal de transición y finalmente para el caudal mínimo.

i. Ensayo para el caudal permanente Qp: (prueba con bomba de impulsión)
- Se coloca el tubo de descarga sobre el tanque volumétrico de 100 litros.
- Lectura inicial del medidor Li. Se registra la lectura inicial del medidor en litros, lo cual es posible hacer con los respectivos indicadores en litros del medidor. Su aproximación es hasta el centésimo de litro. Este valor se registra en el formato D.1. de los anexos.
- Una vez encendida la bomba de impulsión se abre la válvula del rotámetro según el caudal de ensayo. La parte superior del flotador del rotámetro debe alcanzar el valor de caudal característico según la designación del medidor (verifique la tabla de caudales según la designación del medidor).
- Iniciada la prueba, registre los valores de temperatura y presión en los equipos respectivos que se encuentran instalados en el tablero principal.
- Cuando el volumen llega a 100 litros en la escala del tanque volumétrico, cierre la válvula de cierre y apertura del rotámetro de un solo golpe, con lo cual se da por terminado el paso de agua por el sistema. Inmediatamente apague la bomba de impulsión.

- Lectura final del medidor Lf. Se registra la lectura final del medidor en litros, lo cual es posible hacer con los respectivos indicadores en litros del medidor. Su aproximación es hasta el centésimo de litro. Este valor se registra en el formato correspondiente.
- Registro del volumen de agua patrón Vp. Este volumen es el agua contenida en el tanque volumétrico. Se hace la lectura después de la lectura final del medidor debido a que es necesario que el agua contenida en el tanque se estabilice y se haga la lectura del volumen con el agua completamente en reposo. La lectura se realiza en donde indique el meñisco de agua y puede tener una aproximación hasta el centésimo de litro.
- Inmediatamente se procede a la descarga de agua del tanque volumétrico hacia la poza de recolección de aguas, la misma que descarga el agua hacia el tanque cisterna (sistema de recirculación).

ii. Ensayo para el caudal de transición Qt y caudal mínimo Qmín: (prueba con tanque elevado)

- Se coloca el tubo de descarga sobre el tanque volumétrico de 10 litros.
- Lectura inicial del medidor Li. Se registra la lectura inicial del medidor en litros, lo cual es posible hacer con los respectivos indicadores en litros del medidor. Su aproximación es hasta el centésimo de litro.
- Se abre la válvula de cierre y apertura del rotámetro según el caudal de ensayo. La parte superior del flotador del rotámetro debe alcanzar el valor de caudal característico según la designación del medidor (verifique la tabla de caudales según la designación del medidor).
- Iniciada la prueba, registre los valores de temperatura y presión que indican los equipos respectivos que se encuentran instalados en el tablero principal. Esta información se anota en el formato D.1. del anexo.
- Cuando el volumen llega a los 10 litros en la escala del tanque volumétrico se cierra la válvula de cierre y apertura del rotámetro de un solo golpe, con lo cual se da por terminado el paso de agua por el sistema.
- Lectura final del medidor Lf. Se registra la lectura final del medidor en litros, lo cual es posible hacer con los respectivos indicadores en litros del medidor. Su aproximación es hasta el centésimo de litro. Este valor se registra en el formato correspondiente.
- Registro del volumen de agua patrón Vp. Este volumen es el agua contenida en el tanque volumétrico. Se hace la lectura después de la lectura final del medidor debido a que es necesario que el agua contenida en el tanque se estabilice y se haga la lectura del volumen con el agua completamente en reposo. La lectura se realiza en donde indique el meñisco de agua y puede tener una aproximación hasta el centésimo de litro.
- Inmediatamente se procede a la descarga de agua del tanque volumétrico hacia la poza de recolección de aguas, la misma que descarga el agua hacia el tanque cisterna (sistema de recirculación).

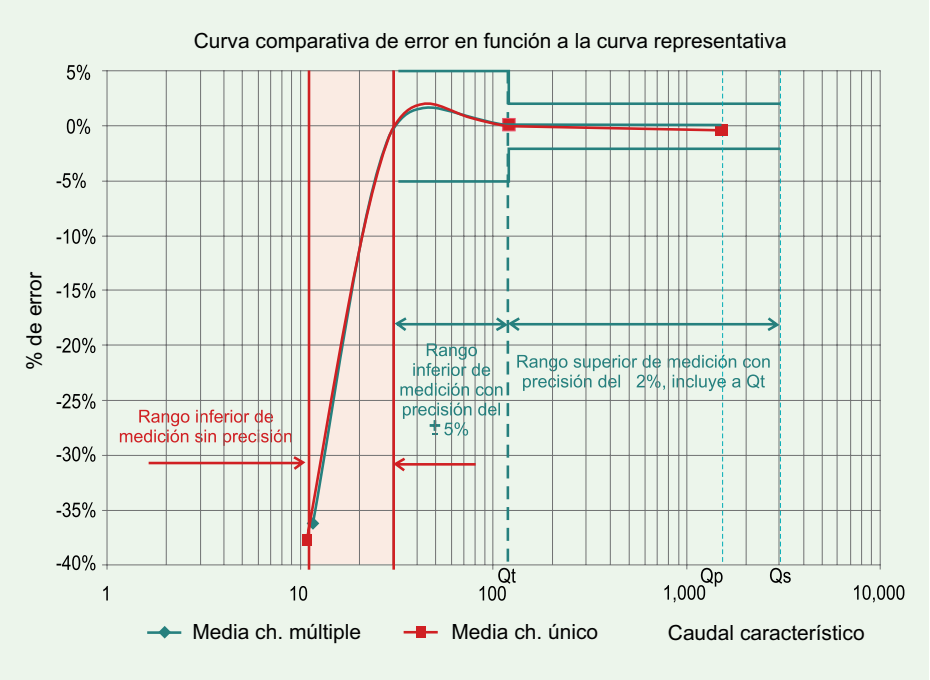
c. Cálculo del porcentaje de error (%). Con los registros de la lectura inicial, lectura final y el volumen de prueba con cada caudal característico en los formatos correspondientes, según el tipo de ensayo (aferición o contrastación), se procede al cálculo del porcentaje de error con la siguiente fórmula.

$$\%Error = \frac{(Lf - Li) - Vp}{Vp} \times 100\%$$

Donde:

Lf : Lectura final del medidor en prueba
Li : Lectura inicial del medidor en prueba
Vp : Volumen de aferición.

Los porcentajes de errores permisibles están indicados en la tabla de errores para los caudales característicos, lo cual está en función de la norma metrológica peruana NMP-005-1. Estos se representan en el siguiente esquema.



d. Determinación del caudal de arranque. Esta etapa es opcional, ya que el caudal de arranque no está considerado como un caudal para ser evaluado según la normativa vigente, pero su obtención es indispensable para el presente estudio. El caudal de arranque es aquel con el cual el medidor evaluado inicia su proceso de registro y este se puede notar cuando el indicador de flujo inicia su funcionamiento. Para realizar la prueba de caudal de arranque no será suficiente aproximar una lectura en el rotámetro, sino que deberá hacerse un aforo en el tanque volumétrico y registrar

el tiempo transcurrido. Con estos datos se podrá determinar el valor real del caudal de arranque de la siguiente forma:

$$Q_A = V/t$$

Donde:

Q_A : Caudal de arranque

V : Volumen registrado en el tanque volumétrico

t : tiempo de llenado del tanque volumétrico

Luego de ello se utiliza la fórmula para el cálculo del porcentaje de error y se obtiene el error para el caudal de arranque.

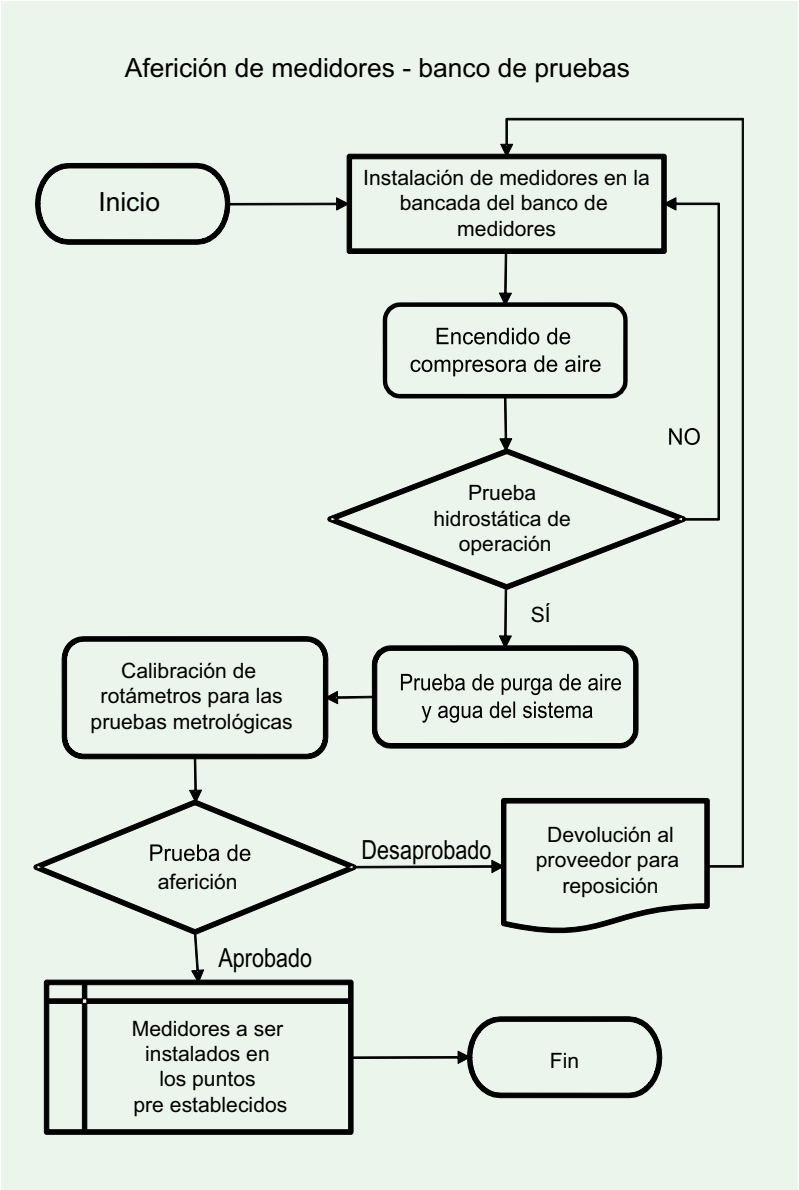
7. Criterios de operatividad del medidor aferido o contrastado

Porcentaje de error en la aferición inicial (medidores nuevos)

Caudal mínimo	Qmín	±	5%
Caudal de transición:	± 2%		
Caudal permanente Qp :	± 2%		

El resultado de los medidores que se encuentren dentro del intervalo de error establecido por la NMP-005-1 es considerado como operativo o aprobado; en caso contrario, el resultado del medidor es inoperativo o desaprobado.

El siguiente flujograma resume el procedimiento para la determinación de la curva de error.


Aferición de medidores - banco de pruebas
Inicio
Instalación de medidores en la bancada del banco de medidores
Encendido de compresora de aire
NO
Prueba hidrostática de operación
SÍ
Calibración de rotámetros para las pruebas metrológicas
Prueba de purga de aire y agua del sistema
Prueba de aferición
Desaprobado
Devolución al proveedor para reposición
Aprobado
Medidores a ser instalados en los puntos pre establecidos
Fin

Anexo 4. Procedimiento en el campo

Procedimiento para el trabajo de campo

Para la ejecución del trabajo de campo se adquirieron medidores preequipados, a los cuales se les realizó una aferición inicial antes de su colocación en las conexiones respectivas, para así efectuar el procedimiento descrito a continuación:

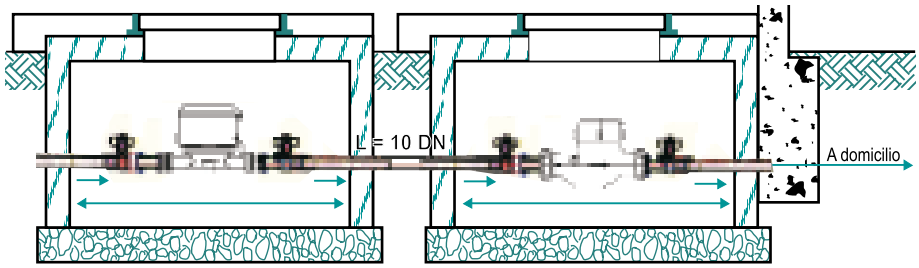
1. Selección de los sectores para la instalación de los medidores

   Como primer paso se seleccionaron los sectores y usuarios en donde se instalarían los medidores a ser evaluados, para lo cual se establecieron una serie de criterios en función de variables operacionales (presión y continuidad) y comerciales (rangos de consumo), los cuales se describen en el punto 3 del Título II del presente documento.

2. Instalación de los medidores

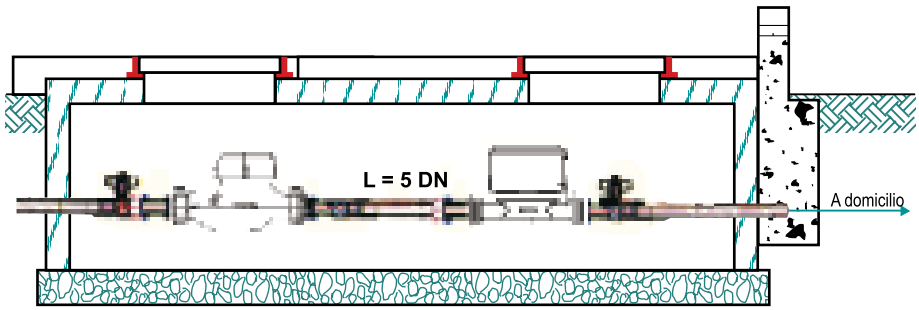
   Una vez determinados los sectores y los usuarios se procede a la instalación, la cual se realiza en serie, de acuerdo con dos esquemas, en función de las posibilidades y siempre respetando las distancias mínimas y condiciones de instalación requeridas.

a.1) 2 cajas de registro con un medidor en cada una de ellas.



Medidor tipo chorro único Medidor tipo chorro múltiple

a.2) Una caja de registro que contiene a la pareja de medidores en serie.



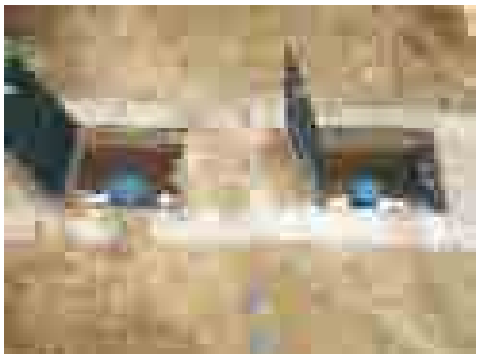
Tipo chorro múltiple Tipo chorro único

Nota: La ubicación de los medidores, en ambos casos, es indistinta.

En cualquiera de los casos se deben prever las condiciones de seguridad, en particular con el marco y tapa; es recomendable que estos sean de acero galvanizado y con un mecanismo de cierre seguro.

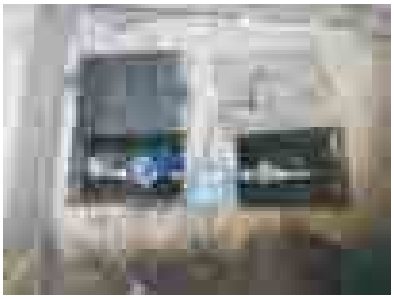
Una vez hecha la instalación, se registra en la planilla del anexo D.2 para su identificación y seguimiento.

Instalación de cajas de registro



Utilización de tapas tipo termoplásticas, previstas de seguro para evitar el hurto de los medidores y equipos

3. Registro de datos



En las instalaciones ya acondicionadas se instalan los data loggers, los cuales permanecen durante una determinada cantidad de días (se recomienda como mínimo una semana) y registran los consumos horarios máximos y mínimos, que reconoce cada tipo de medidor. Pasado el periodo de registro de datos, se retira el data logger, pero se dejan los micromedidores, que quedan funcionando para una nueva verificación de datos, de acuerdo con lo que se explica en el punto 4. Cada 15 días se debe hacer una inspección ocular de la instalación y una verificación rápida de funcionamiento (que el micromedidor registre y no esté "parado").

4. Repetición del registro de datos

Luego de haber completado una ronda de seguimiento y de registro de datos, de acuerdo con lo establecido en el punto anterior, se repite esta actividad para evaluar el nivel de registro de los micromedidores luego de haber funcionado durante tres o cinco meses, de igual manera como se realizó la primera vez, es decir, con los data loggers durante un determinado periodo de tiempo en cada una de las conexiones.

De esta manera se dispondrá de mayor información sobre los patrones de consumo, además de las conclusiones que resulten de integrar los registros de la primera y segunda toma de datos.

5. Proceso de descarga de información de los data loggers

Luego de cada ronda de seguimiento y de registro de datos, de acuerdo con lo establecido en los puntos 3 y 4, se debe descargar la información guardada en la memoria de cada data logger con el fin de realizar los diversos análisis y determinación de las conclusiones correspondientes.

Con estos datos se determinan los patrones de consumos horarios y diarios, el tiempo de funcionamiento y el nivel de exigencia de los medidores, entre otros.

6. Retiro de medidores y aferición final

Se retiran los medidores y se mantiene la identificación de los mismos asociada a cada conexión y la codificación asignada a medidor en las planillas respectivas. Los medidores se depositan en el taller de micromedición.

Los medidores son contrastados en el banco de pruebas para determinar el nivel de subregistro o sobre registro que afecta a los mismos luego de haber funcionado durante tres o cinco meses.

Prueba de aferición de medidores

Laboratorio de Medidores EPS. Chavín S.A.

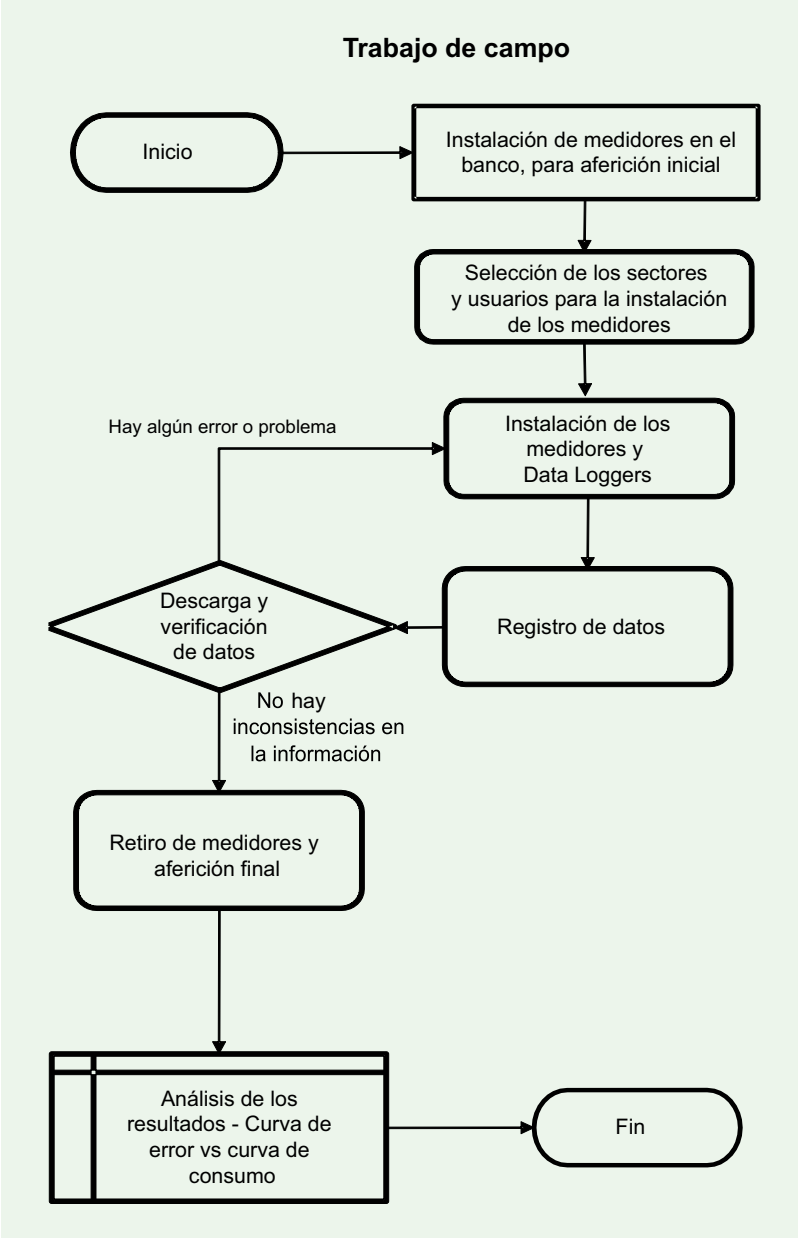
Laboratorio de Medidores EPS. Selva Central

7. Análisis de los resultados – curva de error versus curva de consumo

Con base en los datos y registros obtenidos se calculan y determinan las curvas de error y curvas de consumo.

Estas curvas se comparan entre sí y se determina el error ponderado.

Una vez que se cuenta con las curvas de error, curvas de consumo, errores ponderados, evaluaciones visuales del estado de los micromedidores, novedades que hayan existido (si se paró el medidor, si existieron demasiadas pérdidas de agua, etc.) y cualquier otro dato obtenido de las evaluaciones respectivas, en forma objetiva (aspecto económico, de funcionamiento y de mantenimiento) se determina cuál es el medidor que respondió mejor en cada condición del servicio.


Trabajo de campo
Inicio
Instalación de medidores en el banco, para aferición inicial
Selección de los sectores y usuarios para la instalación de los medidores
Hay algún error o problema
Instalación de los medidores y Data Loggers
Descarga y verificación de datos
Registro de datos
No hay inconsistencias en la información
Retiro de medidores y aferición final
Análisis de los resultados - Curva de error vs curva de consumo
Fin

Anexo 5. Formatos
Formulario para la aferición de medidores en el laboratorio

LOGO

EPS

EPS. _____ Fecha: Serie:

Objetivo de la prueba	
Recepción	
Post Reparación	
Evaluación	
Aferición inicial	
Aprobación	

Nro. de orden	Marca/ número	Lectura/ año de fab.	Caudal ensayo Error permisible Tiempo (S) Volumen (l) Caudal prueba (l/h) Presión in/out (psi) Temperatura Lectura final / Lectura inicial	% error	Caudal ensayo Error permisible Tiempo (S) Volumen (l) Caudal prueba (l/h) Presión in/out (psi) Temperatura Lectura final / Lectura inicial	% error	Caudal ensayo Error permisible Tiempo (S) Volumen (l) Caudal prueba (l/h) Presión in/out (psi) Temperatura Lectura final / Lectura inicial	% error	Caudal de arranque l/h Tipo de medidor	Situación del medidor (A) Aprobado (D) Desaprobado (P) Paralizado (E) Empañado (LR) Luneta rota (PR) Precinto roto (O) Oro (especif)
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

Resumen de resultados de la prueba		
Descripción	Cantidad	%
Medidores aprobados		
Medidores desaprobados		
Total de medidores		

Personal responsable/conformidad de prueba	
Nombre del operador	
V°B° Laboratorio de medidores	
V°B° Área comercial	
V°B° Área operacional	

Notas:

Acta de instalación de medidores en serie

LOGO **EPS**	Fecha: Hora: Nº. serie:

I. Información del usuario		
Nombre:		Sector operacional:
Dirección:		Sector comercial:
Código catastral:	Nro. inscripción:	Localidad:

II. Información del primer medidor			Notas de campo:
Número:	Diámetro (mm.):	Lectura (M^3)	
Marca:	Tipo:		
Clase metrológica:	Modelo:		

III. Información del segundo medidor			Notas de campo:
Número:	Diámetro (mm.):	Lectura (M^3)	
Marca:	Tipo:		
Clase metrológica:	Modelo:		

IV. Reporte visual del medidor	Medidor I	Medidor II
Puntero del medidor girando	☐ SÍ ☐ NO	☐ SÍ ☐ NO
Medidor con precinto de seguridad	☐ SÍ ☐ NO	☐ SÍ ☐ NO
Visor con posibilidad de lectura	☐ SÍ ☐ NO	☐ SÍ ☐ NO
Medidor con tapa de protección	☐ SÍ ☐ NO	☐ SÍ ☐ NO

V. Reporte visual del filtro del medidor	Medidor I	Medidor II
El medidor tiene filtro	☐ SÍ ☐ NO	☐ SÍ ☐ NO
El filtro está en buen estado	☐ SÍ ☐ NO	☐ SÍ ☐ NO
Existen sólidos retenidos en el filtro	☐ SÍ ☐ NO	☐ SÍ ☐ NO

VI. Reporte visual: estado de la caja de registro		
La tapa está en buen estado	☐ SÍ ☐ NO	☐ SÍ ☐ NO
Material de la tapa		
La caja está en buen estado	☐ SÍ ☐ NO	☐ SÍ ☐ NO
Material de la caja de registro		
Posición del medidor en caja de registro		
Inclinación del medidor		

VII. Observaciones:

_____

_____

Firma del usuario	Firma de la EPS
Nombre:	Nombre:
DNI:	DNI:

LOGO **EPS**	Fecha inst. med.:
	Hora inst. med.:
	N°. serie ficha:

I. Información del usuario		
Nombre:		Sector operacional:
Dirección:		Sector comercial:
Código catastral:	N°. inscripción:	Localidad:

II. Información del primer medidor			
Número:	Diámetro (mm.):	Lectura inicial (M^3)	Tipo de señal de conexión
Marca:	Tipo:		Reed ☐ Opto ☐
Clase metrológica:	Modelo:		Tasa de impulso ☐

III. Información del segundo medidor			
Número:	Diámetro (mm.):	Lectura inicial (M^3)	Tipo de señal de conexión
Marca:	Tipo:		Reed ☐ Opto ☐
Clase metrológica:	Modelo:		Tasa de impulso ☐

IV. Información del Data Logger instalado (en caso de ser compatibles)		
Nº. de serie:	Fecha de instalación:	Hora:
Marca:	Fecha de retiro:	Hora:

V. Información del segundo Data Logger instalado (en caso de no ser compatibles)		
Nº. de serie:	Fecha de instalación:	Hora:
Marca:	Fecha de retiro:	Hora:

VI. Cuadro de evaluación y seguimiento		Medidor I		Medidor I	
Día y fecha de lectura	Hora de lectura	Vol. acum. m^3	Caudal inst. l/h	Vol. acum. m^3	Caudal inst. l/h
Día 1:					
Día 2:					
Día 3:					
Día 4:					
Día 5:					
Día 6:					
Día 7:					

VII. Observaciones:

Anexo 6. Fotografías

Tipos de medidores utilizados en el estudio

1. Medidores de tipo chorro único

2. Medidores de tipo chorro múltiple

Trabajos de laboratorio

Prueba de aferición de medidores

Laboratorio de medidores, EPS. Chavín S.A.

Laboratorio de medidores, EPS. Selva Central

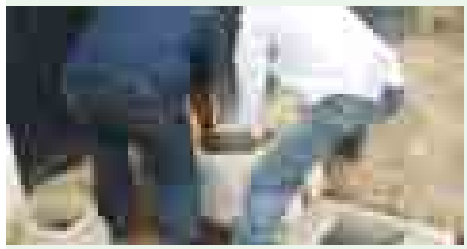
Laboratorio de medidores, EPS. Moyobamba SRL

Laboratorio de medidores, EPS. Moquegua S.A.

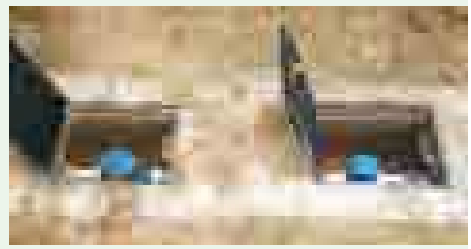
Pruebas de pérdida de carga

Trabajos de campo

Proceso de construcción para la instalación de medidores en serie

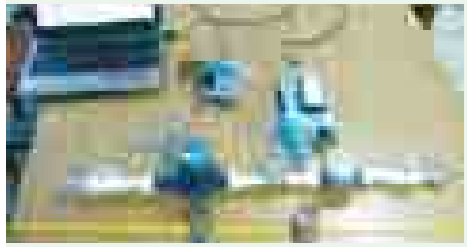
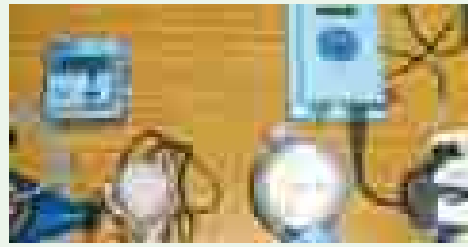


Instalación de cajas de registro

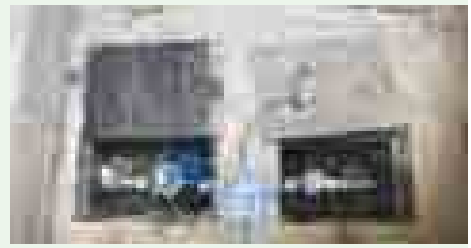


Utilización de tapas tipo termoplásticas provistas de seguro para evitar el hurto de los medidores y equipos

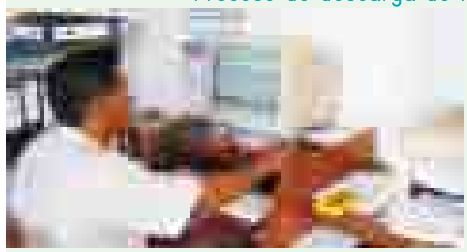
Equipamiento utilizado en los trabajos de campo

Instalación de medidores y Data Loggers en conexiones domiciliarias



Proceso de descarga de información de los Data Loggers



Glosario

Cámara de medición:	Parte interna del medidor en contacto con el fluido y que aloja el dispositivo medidor. Este término se utiliza para medidores de velocidad y volumétricos.
Campo de medición:	Intervalo comprendido entre el caudal mínimo y el caudal de sobrecarga. Este término se utiliza para medidores de velocidad.
Campo inferior de medición:	Intervalo comprendido entre el caudal mínimo (inclusive) y el caudal de transición (exclusive), en el cual el error máximo tolerado es igual a ± 5%. Este término se utiliza para medidores de velocidad.
Caudal:	Cantidad de líquido (volumen) que fluye en un conducto por unidad de tiempo.
Caudal de sobrecarga (Qs):	Máximo caudal, expresado en metros cúbicos por hora, con el cual puede funcionar el medidor sin averías durante periodos limitados y sin que exceda los límites máximos de error y el valor máximo admisible de la pérdida de carga. Su valor es el doble del caudal permanente o nominal. Este término se utiliza para medidores de velocidad.
Caudal de transición (Qt):	Caudal expresado en litros por hora, en el cual el error máximo permitido sufre una discontinuidad en la curva característica de errores. Este término se utiliza para medidores de velocidad.
Caudal de un medidor:	Cociente entre el volumen de fluido que atraviesa el medidor (elemento primario) y el tiempo de paso de este volumen.
Caudal máximo (Qmax):	Mayor caudal con el cual todo medidor puede operar satisfactoriamente dentro de los límites de errores máximos admisibles.
Caudal mínimo (Qmin):	(Definición para medidores de velocidad) Caudal a partir del cual todo medidor debe respetar el error máximo tolerado. Para medidores de Q_n hasta 15 m^3/h se expresa en litros por hora. Para medidores q_n igual o mayor que 15 m^3/h (tipo Woltmann) se expresa en metros cúbicos por hora.
	(Definición utilizada para los demás medidores). Menor caudal con el cual el instrumento debe funcionar en condiciones normales de la unidad, como carga reducida

	en la partida o parada, dentro de los límites de errores máximos admisibles.
Caudal nominal (Qn):	Utilizado para medidores de velocidad. Caudal expresado en metros cúbicos por hora, con el que puede funcionar el medidor en condiciones normales de funcionamiento continuo e intermitente, sin que exceda los límites máximos de error ni el valor admisible de pérdida de carga. Corresponde a la designación N del medidor. Para los demás medidores es el caudal usado para designar una característica del medidor. Su valor se define de acuerdo con el tipo de medidor.
Curva de calibración:	Representación gráfica de una prueba de calibración para dispositivos de medición. Esta curva permite observar el comportamiento de la variable sometida a prueba (caudal en L/h para medidores) en función de un patrón. La curva obtenida se expresa usualmente en variaciones porcentuales.
Data logger:	Transductor de presión o de caudal; aparato compacto, portátil, alimentado por baterías de largo tiempo de duración que almacena las informaciones suministradas por los macromedidores. Puede ser programado para almacenar las lecturas en intervalos de tiempo pequeños; convierte las señales en unidades de frecuencia que a su vez son transformadas en caudal, en nivel o en presión, a través de la curva de calibración del medidor.
Error porcentual:	Error relativo expresado en porcentaje.
Error relativo:	Cociente del error de medición, o absoluto, por el valor verdadero convencional de la magnitud medida.
Intervalo de caudal:	Intervalo definido entre los caudales máximo y mínimo.
Medidor de chorro múltiple:	Medidor de velocidad, en el cual la turbina gira impulsada por varios chorros simétricos del fluido.
Medidor de chorro único:	Medidor de velocidad, en el cual la turbina gira impulsada por un único chorro del fluido.
Pérdida de carga:	Pérdida de presión generada por la inserción, en el conducto, de una restricción al flujo normal.
Precisión:	Grado de variación entre el valor indicado por el instrumento de medición y el valor real de la variable

	medida. Se expresa normalmente en porcentaje de la amplitud del intervalo o porcentaje del máximo valor.
Rotámetro:	Medidor de flujo de área variable compuesto de un flotador que se desplaza en un tubo cónico.

Bibliografía

GTZ/PROAGUA.	Procedimiento de evaluación de medidores de campo. Programa de Medidas de Rápido Impacto. Documento interno. Lima; 2008.
Norma metrológica peruana NMP 005-01	1996. Medición de flujo de agua en conductos cerrados. Lima; 2008.
Medidores para agua potable fría. Parte 1	Especificaciones. Lima.
Norma metrológica peruana NMP 005-01	1996. Medición de flujo de agua en conductos cerrados. Lima.

VMCS - DNS

En el país, el sector saneamiento está integrado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), ente rector del Estado en los asuntos referentes a los servicios de saneamiento, a través del Viceministerio de Construcción y Saneamiento (VMCS) y de la Dirección Nacional de Saneamiento (DNS).

El VMCS es el órgano encargado de formular y adoptar las políticas sectoriales generales en materia de saneamiento de conformidad con las directivas establecidas por el Ministro. Por su parte, la DNS es el órgano de línea encargado de proponer los lineamientos de política, planes, programas y normas concernientes a los servicios de saneamiento básico.

Asimismo, existen otras entidades e instituciones del sistema que cumplen funciones relacionadas con el sector, tales como el Ministerio de Economía y Finanzas, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento – SUNASS, DIGESA, gobiernos regionales y locales, organizaciones comunales, EPS y agencias de cooperación internacional.

OBJETIVO GENERAL

Contribuir a ampliar la cobertura y mejorar la calidad y sostenibilidad de los servicios de agua potable, alcantarillado, tratamiento de aguas servidas y disposición de excretas en concordancia.

En este contexto, el MVCS, como ente rector de la política de saneamiento, se ha propuesto garantizar la ampliación de la cobertura, la sostenibilidad de los sistemas y el mejoramiento de la calidad de los servicios de saneamiento mediante la búsqueda de la eficiencia económica, empresarial y el cuidado del medio ambiente y la salud de las personas. Para cumplir con el objetivo general se han considerado los siguientes objetivos específicos:

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Modernizar la gestión del sector saneamiento.
2. Incrementar la sostenibilidad de los servicios.
3. Mejorar la calidad de los servicios.
4. Lograr la viabilidad financiera de los prestadores de servicio.
5. Incrementar el acceso a los servicios.

LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS

- Perfeccionar el marco legal e institucional del sector.
- Fortalecer capacidades de los prestadores hacia una descentralización efectiva.
- Aprovechar capacidades internas del sector (DNS-PARSSA-PRONASAR y otros) para desarrollar capacidades locales e implementar la descentralización.
- Mejorar la gestión de las empresas prestadoras de servicios, entre otros, mediante el uso de contratos de explotación en todas ellas.
- Canalizar los recursos para inversiones a través del Fondo de Inversión Social en Saneamiento – INVERSAN.
- Promover la participación del sector privado en la gestión y realización de inversiones en el sector.

GTZ/PROAGUA

Convenio entre el gobierno de la República Federal de Alemania y la República del Perú sobre la cooperación técnica.	Acuerdos políticos sobre el apoyo de la cooperación técnica alemana.
Entidad de cooperación técnica: GTZ	Prestación de asistencia técnica, asesoramiento y capacitación
Entidad de cooperación financiera: KFW	Financiamiento de inversiones en infraestructura de agua y saneamiento
Contraparte: VMCS-DNS	Coordinación general de los programas apoyados por KFW y GTZ
Ejecutores: 12 empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS)	Responsables de la implementación de proyectos individuales
Duración de la fase actual: 2008-2011	

OBJETIVO DE GTZ / PROAGUA

La capacidad de los actores sectoriales de emplear eficientemente sus recursos para el desarrollo sostenible de los servicios de agua potable y saneamiento ha mejorado.

METAS SECTORIALES QUE APOYA GTZ / PROAGUA

1. Aumentar la cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento.
2. Mejorar la calidad de los servicios de agua potable y saneamiento.
3. Aumentar la eficiencia de la prestación de los servicios.

COMPONENTES

1. Mejoramiento del marco normativo en el sector
   - Mejoramiento de la gobernanza y gobernabilidad en los servicios de agua y saneamiento.
   - Impulso para la creación de incentivos económicos para el saneamiento sostenible.

2. Fortalecimiento de capacidades para el subsector saneamiento – SFC
   - Fortalecimiento de las estructuras de capacitación del sector.
   - Incremento de la demanda atendida de capacitación, asistencia técnica y desarrollo tecnológico.
   - Mejoramiento de las capacidades de gestión y conocimientos técnicos de los recursos humanos del sector de agua y saneamiento.

3. Programa de medidas de rápido impacto – PMRI
   - Mejoramiento de la calidad del servicio de agua potable.
   - Optimización de la gestión comercial
   - Fortalecimiento de la gobernabilidad y sostenibilidad de los servicios

KfW-Entwicklungsbank

PERFIL Y OBJETIVOS

Comprometido con el objetivo principal de la Cooperación Alemana al Desarrollo de mejorar de forma sostenible la situación económica y social de la población pobre en los países en desarrollo, el KfW Entwicklungsbank (banco de desarrollo KfW) financia proyectos mediante préstamos con tasas de interés favorables y aportes no reembolsables y asesora a sus contrapartes en todos los asuntos vinculados a la ejecución de los proyectos. El KfW Entwicklungsbank financia inversiones, reformas estructurales y servicios de asesoramiento en los países en desarrollo. Para ello trabaja en nombre y por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) y, en este contexto, coopera por regla general con las instituciones estatales de los países beneficiarios.

De esta manera, a través de la cooperación financiera , el KfW Entwicklungsbank contribuye a la reducción de la pobreza, al aseguramiento de la paz a nivel mundial, al fomento de la democracia, a la protección del medio ambiente y a una globalización más justa.

ÁREAS DE INTERVENCIÓN EN PERÚ

Con el objetivo de maximizar el beneficio desde el punto de vista de la política de desarrollo para los países beneficiarios y la eficacia de los fondos disponibles, el KfW Entwicklungsbank se concentra en el desarrollo de 3 áreas prioritarias en las cuales tiene muchos años de experiencia y conocimientos especialmente profundos:

- Agua potable y alcantarillado
- Desarrollo rural sostenible y medio ambiente
- Democracia, sociedad civil y administración pública

ÁREA ESPECÍFICA: AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EN EL PERÚ

Desde 1991 el gobierno alemán ha asignado mas de 115 millones de dólares para cofinanciar, con las respectivas contrapartes estatales, infraestructura de agua potable y alcantarillado en las ciudades de Arequipa, Trujillo, Chiclayo, Pisco, Cajamarca, Ayacucho, Huancavelica, Puno y Tumbes. Es por ello que actualmente más de 3 millones de peruanos tienen acceso a más y mejores servicios de saneamiento y en varias ciudades el tratamiento adecuado de los desagües es por primera vez una realidad, contribuyendo de esta manera al mejoramiento de su salud y la calidad de su medio ambiente.

Aumentar la sostenibilidad de las inversiones realizadas es una preocupación especial de la cooperación financiera. Por ello comparte con sus socios peruanos la visión de implementar la cooperación futura en el marco de programas que promuevan la implementación de proyectos integrales, eficiencia en la prestación de los servicios, su viabilidad financiera y equidad en la asignación de los recursos de inversión. Evidentemente los Programas de Participación del Sector Privado (PSP) y el PMRI están en la línea de esta visión.

InWEnt

OBJETIVO GENERAL

InWEnt – Internationale Weiterbildung und Entwicklung GmbH (Capacitación y Desarrollo Internacional) es una sociedad especializada en el desarrollo de recursos humanos a través de capacitación y diálogo a nivel internacional que forma parte de la Cooperación Alemana al Desarrollo. Los programas y proyectos están destinados a cuadros técnicos, ejecutivos y directivos del sector privado, la política, la administración y la sociedad civil del mundo entero. Con su "capacitación para el desarrollo sostenible" InWEnt contribuye al desarrollo de conceptos que combinen eficiencia económica, sostenibilidad ambiental y el desarrollo social.

ÁREA ESPECÍFICA: SECTOR AGUA Y SANEAMIENTO

En Perú, Bolivia y Ecuador, InWEnt contribuye al fortalecimiento de las capacidades de gestión, principalmente en las medianas empresas prestadoras de servicios de saneamiento. A través de la capacitación del personal directivo en el manejo de procesos de cambio y métodos modernos de gestión, se contribuye al desarrollo de estrategias empresariales orientadas hacia la sostenibilidad económica. Para la implementación exitosa de procesos de cambio, InWEnt utiliza un enfoque sistémico, el Manejo de Restricciones, que involucra a los ejecutivos de las áreas operativa, comercial y administrativa de la empresa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Motivar e impulsar procesos de cambio internos.
- Proporcionar métodos y herramientas para el análisis integral y la planificación estratégica.
- Aprovechar los recursos internos de una manera óptima.
- Promover una filosofía de calidad y eficiencia de servicio, basado en el trabajo en equipo.
- Aplicar métodos y herramientas de mejoramiento continuo.
- Introducción de un sistema moderno de manejo de proyectos.

Dentro del Programa de Medidas de Rápido Impacto (PMRI), InWEnt apoya a las EPS a través de talleres de planificación estratégica que sirven para identificar y priorizar las necesidades de inversión de las EPS que se puedan beneficiar de los créditos de la cooperación financiera.

Deutsche Gesellschaft für
Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
Prolongación Arenales 801
Lima 18, Perú
Teléfono (511) 422-9067
gtz-peru@gtz.de
www.gtz.de

Solicitudes a:
Programa de Agua Potable y
Alcantarillado (PROAGUA)
Av. Los Incas 172, Piso 5 - El Olivar
San Isidro - Lima 27
Teléfono (51-1) 222-0779 / 222-0990
lima@proagua-gtz.org.pe
www.proagua-gtz.org.pe

Coordinador de GTZ/PROAGUA:
Michael Rosenauer

Elaborado por:
Vladimir Laura
Gerardo Alania
Elier Ticona

Coordinación del estudio:
Franz Rojas

Corrección de estilo:
Marta Miyashiro

Diagramación:
Manuel Rosas

Responsable de publicaciones:
Roberto Yogui

Primera edición:
Lima, mayo de 2010

Impresión:
D & R Inversiones Gráficas S.A.C.
Av. José Gálvez 1531 - Lince

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca
Nacional del Perú N°2010 - 06088

Deutsche Gesellschaft für
Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

- Cooperación técnica alemana -

Programa de Agua Potable y Alcantarillado – PROAGUA
Av. Los Incas 172, piso 5 El Olivar,
San Isidro - Lima 27 – PERÚ.
T (51-1) 222-0779 / 222-0990
F (51-1) 222-0707
E lima@proagua-gtz.org.pe
I http://www.proagua-gtz.org.pe