REVISTA MULTIDISCIPLINAR EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS

Volumen 3, Número 4
Octubre-Diciembre 2026

Edición Trimestral

CROSSREF PREFIX DOI: 10.71112

ISSN: 3061-7812, www.omniscens.com

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 4
Octubre-Diciembre 2026

Publicación trimestral
Hecho en México

La Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias acepta publicaciones de cualquier área del conocimiento, promoviendo una plataforma inclusiva para la discusión y análisis de los fundamentos epistemológicos en diversas disciplinas. La revista invita a investigadores y profesionales de campos como las ciencias naturales, sociales, humanísticas, tecnológicas y de la salud, entre otros, a contribuir con artículos originales, revisiones, estudios de caso y ensayos teóricos. Con su enfoque multidisciplinario, busca fomentar el diálogo y la reflexión sobre las metodologías, teorías y prácticas que sustentan el avance del conocimiento científico en todas las áreas.

Contacto principal: admin@omniscens.com

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación

Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido de la publicación sin previa autorización de la Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.

Copyright © 2026: Los autores

9773061781003

Cintillo legal

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias Vol. 3, Núm. 4, Octubre-Diciembre 2026, es una publicación trimestral editada por el Dr. Moises Ake Uc, C. 51 #221 x 16B , Las Brisas, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97144 , Tel. 9993556027, Web: https://www.omniscens.com, admin@omniscens.com, Editor responsable: Dr. Moises Ake Uc. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2024-121717181700-102, ISSN: 3061-7812, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsable de la última actualización de este número, Dr. Moises Ake Uc, fecha de última modificación, 1 octubre 2026.

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 4, 2026, octubre-diciembre

DOI: https://doi.org/10.71112/0wjwp320

HACIA UN MARCO METROLÓGICO INTEGRADO PARA LA GESTIÓN DE MEDIDORES DE AGUA (DN15–DN100): UNA TAXONOMÍA BASADA EN CONSTRUCTOS PARA REDUCIR PÉRDIDAS APARENTES Y MEJORAR LA EFICIENCIA OPERATIVA

TOWARD AN INTEGRATED METROLOGICAL FRAMEWORK FOR WATER METER MANAGEMENT (DN15–DN100): A CONSTRUCT-BASED TAXONOMY FOR REDUCING APPARENT LOSSES AND ENHANCING OPERATIONAL EFFICIENCY

Javier Alfonso Mendoza Betin

Colombia

DOI: https://doi.org/10.71112/0wjwp320

Hacia un marco metrológico integrado para la gestión de medidores de agua (DN15–DN100): una taxonomía basada en constructos para reducir pérdidas aparentes y mejorar la eficiencia operativa

Toward an Integrated Metrological Framework for Water Meter Management (DN15–DN100): A Construct-Based Taxonomy for Reducing Apparent Losses and Enhancing Operational Efficiency

Dr. Javier Alfonso Mendoza Betin

j.mendozabetin@gmail.com

https://orcid.org/0000-0002-8355-8581

UNINI Mexico

Colombia

RESUMEN

Este trabajo desarrolla una taxonomía integrada de constructos para la gestión de medidores de agua con diámetros entre DN15 y DN100, posicionando la medición como un componente estratégico en el desempeño de las empresas de acueducto, más allá de una función puramente operativa. La investigación propone un marco de siete constructos que incluye dimensionamiento, perfil de consumo, calibración, inspección, análisis de subcontaje/sobrecontaje, homologación y recuperación de metros cúbicos. Estos constructos se conciben como un sistema interdependiente que articula el comportamiento hidráulico, la exactitud metrológica, la evidencia de inspección y el desempeño comercial. El marco se fundamenta en literatura científica reciente y en su aplicación empírica en organismos acreditados, incluyendo un laboratorio de metrología y un organismo de inspección que operan bajo las normas ISO/IEC 17025 e ISO/IEC 17020. Los resultados demuestran que la

integración de ensayos técnicos con analítica de consumo y procesos de toma de decisiones permite a las empresas reducir pérdidas aparentes de agua, mejorar la precisión de la facturación y optimizar la gestión de activos. El estudio contribuye además al traducir errores metrológicos en valor económico recuperable, cerrando la brecha entre la evaluación técnica y el impacto financiero. Aunque la taxonomía se sustenta en literatura reciente, su desarrollo se basa en un corpus selectivo, lo que resalta la necesidad de una validación bibliométrica más amplia. En conjunto, el marco propuesto ofrece un enfoque escalable y basado en evidencia para que las empresas de acueducto mejoren la eficiencia, sostenibilidad y gobernanza del recurso hídrico.

Palabras clave: medición de agua; pérdidas aparentes; metrología; empresas de servicios públicos de agua; analítica del consumo.

ABSTRACT

This study develops an integrated taxonomy of water meter management constructs for diameters ranging from DN15 to DN100, positioning metering as a strategic component in water utility performance rather than a purely operational task. The research proposes a seven-construct framework comprising sizing, consumption profiling, calibration, inspection, under-registration/over-registration analysis, homologation, and cubic meter recovery. These constructs are conceptualized as an interdependent system that links hydraulic behavior, metrological accuracy, inspection evidence, and commercial performance. The framework is grounded in recent scientific literature and empirical application within accredited bodies, including a metrology laboratory and an inspection body operating under ISO/IEC 17025 and ISO/IEC 17020 standards. Results demonstrate that integrating technical testing with consumption analytics and decision-making processes enables utilities to reduce apparent water losses, improve billing accuracy, and optimize asset lifecycle management. The study

further contributes by translating metrological errors into recoverable economic value, bridging the gap between technical evaluation and financial impact. While the taxonomy is supported by recent literature, its development is based on a selective corpus, highlighting the need for broader bibliometric validation. Overall, the proposed framework provides a scalable and evidence-based approach for modern water utilities seeking to enhance efficiency, sustainability, and governance of water resources.

Keywords: water metering; apparent losses; metrology; water utilities; consumption analytics.

Recibido: 1 octubre 2026 | Aceptado: 12 octubre 2026 | Publicado: 16 octubre 2026

INTRODUCCIÓN

La medición del agua potable representa uno de los pilares técnicos, comerciales y estratégicos de las empresas prestadoras de servicios públicos de acueducto. Más allá de registrar consumos, los medidores constituyen instrumentos esenciales para garantizar equidad tarifaria, reducir pérdidas aparentes de agua, optimizar la sostenibilidad financiera y fortalecer la gobernanza del recurso hídrico. En un contexto marcado por crecimiento urbano, presión regulatoria, digitalización y necesidad de eficiencia operativa, la gestión del parque de medidores con diámetros entre DN15 y DN100 (1/2” y 4”) exige superar enfoques tradicionales y avanzar hacia modelos científicos basados en evidencia, trazabilidad y toma de decisiones inteligentes.

En ese marco, el presente ensayo desarrolla una taxonomía integral de constructos de pruebas sobre medidores de agua, estructurada en siete dimensiones críticas, el principal aporte de originalidad y novedad: dimensionamiento, perfil de consumo, calibración, inspección, subcontaje/sobrecontaje, homologación y recuperación de m³. Estos componentes no operan de forma aislada; conforman un sistema interdependiente donde el conocimiento hidráulico, la

metrología aplicada, la inspección técnica y la analítica comercial se retroalimentan continuamente. Dimensionar correctamente depende del perfil real de consumo; calibrar exige comprender rangos efectivos de operación; inspeccionar permite interpretar el estado funcional del equipo; y recuperar volúmenes no facturados traduce resultados técnicos en impacto económico tangible.

El caso de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. “Acuacar”, mediante su Laboratorio de Metrología y su Organismo de Inspección acreditados ante el Órgano Nacional de Acreditación en Colombia (ONAC), demuestra que los organismos técnicos pueden trascender la ejecución rutinaria de ensayos para convertirse en centros generadores de conocimiento estratégico. Desde esta perspectiva, el ensayo propone una arquitectura conceptual robusta sustentada en literatura reciente y experiencia aplicada, orientada a fortalecer la eficiencia hídrica, la equidad tarifaria y la modernización de los sistemas de acueducto. Se trata en consecuencia del primer ejercicio documentado que integra una taxonomía de 7 constructos en Latinoamérica, de ahí su novedad y originalidad científica.

DOI: https://doi.org/10.71112/0wjwp320

Figura 1

Ecosistema técnico de conocimiento y gestión de pruebas sobre medidores de agua: calibración, inspección, analítica de consumo y recuperación de eficiencia operativa



Nota: La figura sintetiza siete constructos clave en la gestión de pruebas sobre medidores con diámetros entre DN15–DN100: dimensionamiento, perfil de consumo, calibración, inspección, subcontaje/sobrecontaje, homologación y recuperación de m³. Integra metodologías, fuentes de datos y resultados orientados a eficiencia comercial, reducción de pérdidas de agua y sostenibilidad hídrica. Elaboración propia con base en literatura reciente y experiencia aplicada en Aguas de Cartagena S.A. E.S.P.

DESARROLLO

La gestión contemporánea de pruebas sobre medidores de agua ha dejado de ser una actividad limitada a la simple lectura de consumo o al reemplazo periódico de equipos. En la actualidad, constituye un campo interdisciplinario donde convergen la hidráulica, la metrología,

la analítica de datos, la inspección técnica y la eficiencia comercial. Bajo esta perspectiva, los medidores con diámetros nominales entre DN15 y DN100 representan activos estratégicos para las empresas prestadoras de servicios públicos de acueducto, en tanto permiten cuantificar el recurso distribuido, reducir pérdidas aparentes de agua y fortalecer la sostenibilidad financiera del sistema. En consecuencia, estudiar sus constructos de maneta integral, practica y funcional implica comprender una arquitectura técnica compleja donde cada decisión operativa repercute directamente en la calidad del servicio y en la recuperación de ingresos.

En ese contexto, el presente desarrollo propone una lectura integrada de siete constructos esenciales: dimensionamiento, perfil de consumo, calibración, inspección, subcontaje/sobrecontaje, homologación y recuperación de m^3. Lejos de concebirse como procesos aislados, estos componentes conforman un sistema interdependiente de conocimiento aplicado. Dimensionar correctamente exige interpretar patrones reales de demanda; calibrar requiere conocer el rango operativo efectivo; inspeccionar supone evaluar integridad física y contexto de uso; homologar demanda validar desempeño técnico en escenarios reales; y calcular recuperación de volúmenes implica traducir resultados metrológicos en impacto económico. Por lo tanto, cada constructo alimenta y fortalece a los demás dentro de una lógica sistémica de mejora continua.

El caso de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. “Acuacar”, mediante su Laboratorio de Metrología y su Organismo de Inspección acreditados por ONAC, ofrece una evidencia institucional particularmente valiosa para el mundo, Colombia y la región Caribe. Allí convergen capacidades técnicas, trazabilidad normativa, métodos aplicados y propios y experiencia empírica suficientes para demostrar que la gestión de pruebas sobre el parque de medidores puede evolucionar desde una visión operativa tradicional hacia un modelo científico de toma de decisiones. Por ello, el presente apartado desarrolla una taxonomía robusta sustentada en

literatura reciente y experiencia aplicada, mostrando que los organismos acreditados (OA) no solo ejecutan ensayos, sino que producen conocimiento estratégico para la eficiencia hídrica, la equidad tarifaria y la modernización del servicio público de acueducto.

Dimensionamiento de medidores DN15 a DN100

El dimensionamiento de medidores de agua de diámetros nominales entre DN15 (1/2”) y DN100 (4”) no puede entenderse solo como una selección hidráulica basada en caudal nominal o diámetro de tubería; hoy se interpreta como una decisión técnico-metrológica que debe armonizar el perfil real de consumo, la variación horaria, los caudales mínimos y máximos, y el riesgo de subregistro o sobrerregistro. La literatura reciente muestra que los determinantes del consumo doméstico son multicausales —factores observables, latentes y externos— y que la disponibilidad de datos de mayor granularidad, especialmente vía micromedición o medidores pequeños (entre ½” y 1”) inteligente, ha mejorado la capacidad de ajustar el dimensionamiento a patrones efectivos de uso. En ese sentido, Bao et al., (2023), Cominola et al., (2023) y Mendoza-Betin et al., (2024) proponen una estructura analítica útil para vincular variables de consumo con decisiones prácticas de gestión de la demanda, mientras que Zapata-Sierra et al., (2024) muestran que la investigación en *smart water meters* ha crecido justamente por su utilidad para caracterizar demanda, operación y eficiencia.

Para el caso colombiano, Garzón-Orduña et al., (2024) aportan evidencia especialmente valiosa porque trabajaron con 1.317.584 usuarios, una muestra estratificada de 1233 suscriptores residenciales y 320 micromedidores digitales de referencia en Bogotá (Colombia), concluyendo que el ajuste entre métodos teóricos y caudales máximos medidos puede variar notablemente, lo que incide directamente en el diseño de redes internas y, por extensión, en el dimensionamiento de instrumentos de medición. Este hallazgo es clave para Aguas de Cartagena SA - Acuacar y cualquier otra empresa de acueducto porque refuerza la idea de que

el dimensionamiento de medidores con diámetros DN15–DN100 debe migrar desde tablas rígidas hacia esquemas basados en evidencia empírica de consumo y simultaneidad real. Aplicación Metodológica para la evaluación de dimensionamiento en medidores de agua DN15 a DN100

Conforme a los lineamientos expuestos por Arregui de la Cruz et al., (2007) en Gestión Integral de Contadores de Agua y la Guia Metodológica de Veolia (2025), las pruebas de dimensionamiento de medidores entre DN15 y DN100 en el Laboratorio de Metrología de Acuacar, se orientan a seleccionar el equipo más adecuado según el patrón real de consumo, garantizando exactitud, vida útil y eficiencia comercial. El dimensionamiento no depende únicamente del diámetro de la acometida o tubería, sino del análisis hidráulico de los caudales mínimos, medios, máximos y transitorios que circularán por el sistema.

El proceso inicia con la recopilación de información del usuario o instalación: tipo de consumo (residencial, comercial, industrial o institucional), número de personas o equipos abastecidos, horarios de mayor demanda, continuidad del servicio y antecedentes históricos de consumo. Con estos datos se construye una curva o perfil de demanda que permita identificar el rango normal de operación del medidor.

Posteriormente, en el laboratorio se simulan distintos caudales dentro del rango metrológico del equipo, especialmente en Q1, Q2, Q3 y sobrecarga temporal Q4, verificando que el medidor trabaje con mayor frecuencia cerca de su zona óptima de precisión y no permanezca subdimensionado o sobredimensionado. Un medidor subdimensionado operará continuamente en altos caudales, generando desgaste prematuro y pérdidas de carga de agua; uno sobredimensionado trabajará en bajos caudales, aumentando el riesgo de subregistro.

Para diámetros pequeños DN15 a DN25, el análisis se enfoca en viviendas, pequeños comercios y usuarios con consumos intermitentes. Para medidos con diámetros DN40 a DN100 (1½” – 4”), se priorizan establecimientos comerciales, conjuntos residenciales, industrias o

macrousos donde existen caudales sostenidos y picos importantes. También se evalúa la pérdida de presión introducida por el medidor, asegurando que no afecte el servicio.

Finalmente, con base en los resultados hidráulicos y metrológicos, el laboratorio recomienda el diámetro nominal y la tecnología más conveniente (volumétrico, velocidad, ultrasónico o electromagnético). Con lo cual, el dimensionamiento se convierte en una herramienta estratégica para reducir pérdidas aparentes de agua, mejorar facturación y prolongar la vida útil del parque de medidores.

Conforme a lo anterior:

El dimensionamiento correcto se logra cuando:

$$Q_{mín\,real} \geq Q_1$$

$$Q_{prom} \approx Q_2 - Q_3$$

$$Q_{máx} \leq Q_4$$

Si el consumo cae por debajo de $Q_1 \rightarrow$ subregistro (sobredimensionado).

Si el consumo se acerca constantemente a $Q_4 \rightarrow$ desgaste (subdimensionado).

Perfil de consumo DN15 a DN100

El perfil de consumo es la base del desempeño del medidor. La literatura reciente insiste en que no basta con conocer el volumen mensual; se necesita observar curvas horarias, picos instantáneos, frecuencia de eventos y, cada vez más, desagregación por uso final. Mazzoni et al., (2024) avanzan en esta línea al proponer una clasificación automatizada mejorada de usos finales en datos domésticos, lo que permite distinguir mejores patrones de demanda y, por tanto, refinar la selección de medidores y la interpretación de su desempeño. De forma complementaria, Ramos Bueno et al., (2024), para Ciudad de México, que el análisis espacial-panel ayuda a explicar cómo el consumo urbano cambia territorialmente y cómo la cobertura de micromedición condiciona la lectura de esos patrones.

Desde una perspectiva más amplia, Arregui et al., (2020), Benavides-Muñoz et al., (2024) subrayan que los perfiles de demanda están siendo alterados por fenómenos globales como crecimiento poblacional, cambio climático y pandemias, y que esos cambios repercuten sobre la funcionalidad de las redes y la gestión del suministro. Para un laboratorio y un organismo de inspección, esto significa que el perfil de consumo no es solo una variable de operación comercial, sino una variable metrológica crítica para definir rangos de ensayo, escenarios de verificación y criterios de aptitud tecnológica del medidor.

Metodología para la determinación del perfil de consumo en medidores de agua DN15 a DN100

Conforme a los lineamientos desarrollados por Arregui de la Cruz et al., (2007) en Gestión Integral de Contadores de Agua, las pruebas de perfil de consumo de medidores entre DN15 y DN100 en el Laboratorio de Metrología de Acuacar, se orientan a conocer cómo circula realmente el agua a través de los medidores durante distintos tipos de uso. El objetivo es relacionar los patrones de demanda con el desempeño metrológico del equipo, facilitando decisiones de dimensionamiento, selección tecnológica, reposición y control de pérdidas aparentes de agua.

El proceso inicia con la recopilación de información histórica del usuario o grupo de usuarios: consumos mensuales, horarios de mayor utilización, estacionalidad, tipo de actividad y variaciones operativas. Con estos datos se clasifican perfiles típicos: residencial, comercial, institucional, industrial o macromedición. Para diámetros pequeños DN15 a DN25 predominan consumos intermitentes con caudales bajos y medianos; en DN40 a DN100 suelen presentarse demandas sostenidas, mayores picos instantáneos y variaciones operativas más amplias.

Posteriormente, en el laboratorio se reproducen condiciones hidráulicas similares a las observadas en campo mediante bancos de ensayo programables. Se generan secuencias de caudal que representan periodos de consumo mínimo, promedio, punta y transitorios. Los

medidores son sometidos a ciclos que combinan arranques, paradas, variaciones rápidas de caudal y tiempos prolongados de operación estable. Durante cada etapa se registra el volumen indicado, tiempo de respuesta, sensibilidad a bajos caudales y estabilidad de lectura.

La metodología también contempla construir curvas de frecuencia de caudales, identificando cuánto tiempo opera el medidor cerca de Q1, Q2, Q3 o en condiciones cercanas a sobrecarga. Esto permite establecer si el medidor seleccionado trabaja dentro de su zona óptima o si existe sobredimensionamiento o subdimensionamiento.

Finalmente, los resultados se integran con el error de medición y la vida útil esperada del equipo. Si el perfil muestra predominio de bajos caudales, pueden recomendarse tecnologías o clases metrológicas y tipos de medidores más sensibles; si existen picos elevados, se evalúan diámetros superiores o medidores de mayor capacidad. Con lo cual, las pruebas de perfil de consumo convierten la información hidráulica en decisiones estratégicas para mejorar exactitud, facturación y sostenibilidad del parque de medidores.

En deferencia a lo anterior:

- Si el perfil muestra alta frecuencia en caudales cercanos a $Q_1 \rightarrow$ riesgo de subregistro.
- Si el perfil se concentra en $Q_2 - Q_3 \rightarrow$ zona óptima de medición.
- Si hay picos frecuentes cercanos a $Q_4 \rightarrow$ riesgo de desgaste o subdimensionamiento.

Calibración de medidores pequeños DN15 a DN25 y macros DN40 a DN100

La calibración sigue siendo el mecanismo central para garantizar trazabilidad, comparabilidad y confiabilidad de resultados, pero la literatura reciente muestra una transición desde una visión puramente instrumental hacia una visión sistémica, donde la calibración se articula con analítica de datos, digitalización y monitoreo continuo. Soares Ascenção et al., (2023) revisan aplicaciones de smart water management y muestran que la sensorización, la telemetría y el análisis de datos están reconfigurando la manera de supervisar el comportamiento hidráulico y metrológico de los sistemas de agua. A su vez, Zapata-Sierra et

al., (2024) señalan que los *smart meters* ya no se estudian solo como equipos de lectura, sino como fuentes de información para gestión de pérdidas de agua, consumo, mantenimiento y desempeño.

Para Aguas de Cartagena SA, esta literatura respalda una tesis fuerte: la calibración en medidores con diámetros nominales DN15–DN25 y DN40–DN100 no debe limitarse a confirmar errores en bancos, sino integrarse con análisis del patrón de uso, criticidad del cliente, comportamiento por rangos de caudal y decisiones de reposición o inspección. En otras palabras, la calibración pasa de ser un fin en sí mismo a convertirse en un insumo para la gestión integral del parque de medición, especialmente cuando se trabaja bajo esquemas acreditados y con decisiones asociadas a pérdidas aparentes de agua y recuperación de ingreso.

Metodología para la Calibración de medidores de agua DN15-DN25

En el Laboratorio de Metrología de Aguas de Cartagena S.A. la calibración de medidores pequeños de agua potable fría, entre 1/2" y 1" (DN15 a DN25), se realiza bajo un proceso técnico controlado que busca determinar el error relativo de medición y garantizar trazabilidad metrológica conforme a la norma NTC-ISO 4064 y al sistema de gestión acreditado: ISO/IEC 17025. El procedimiento inicia con la selección de los medidores según prioridades operativas, atención presencial de clientes, antigüedad de ingreso o requerimientos externos. Posteriormente, los equipos son montados en los bancos de calibración, verificando alineación, hermeticidad y ausencia de fugas en el circuito hidráulico.

Antes del ensayo se efectúan operaciones previas como purga de aire, estabilización del sistema y verificación del caudal requerido. Los medidores se ensayan normalmente en tres puntos de operación: caudal mínimo (Q1), caudal de transición (Q2) y caudal permanente o nominal (Q3). Dependiendo de si el medidor es nuevo o usado, pueden realizarse una o varias

repeticiones (máximo 3) por cada punto para asegurar confiabilidad estadística de los resultados.

El banco utiliza caudalímetros electromagnéticos de referencia, recipientes volumétricos metálicos calibrados (RVM), sensores de presión, temperatura, PLC y software especializado. Durante cada prueba se controla que el caudal permanezca estable y que variables como temperatura del agua, presión, humedad y condiciones ambientales estén dentro de tolerancias permitidas. El volumen registrado por el medidor bajo prueba se compara con el volumen patrón del RVM.

Al finalizar cada corrida se toman lecturas finales del medidor y del recipiente patrón. Luego el software calcula automáticamente el error relativo mediante la diferencia entre el volumen indicado por el medidor y el volumen real transferido. También estima la incertidumbre de medición y verifica si el resultado cumple los errores máximos permisibles establecidos por norma para medidores nuevos o en servicio; usados.

Finalmente, se desmontan los equipos, se lavan internamente con agua potable de la red y se genera el certificado de calibración. Si algún medidor excede tolerancias o presenta anomalías físicas, es declarado no conforme o enviado a reproceso técnico o en su defecto, sí tiene incidencias físicas al organismo de inspección para que sea inspeccionado. En deferencia a lo expuesto, Mendoza Betin et al., (2026) exponen un estudio cuantitativo de pérdidas aparentes de agua en el periodo 2011 – 2025 en Colombia y Mendoza Betin (2026) en el trabajo sobre los efectos de ia en una empresa de servicios públicos como herramienta de soporte para poder optimizar el proceso en mención.

Método para la Calibración de medidores de agua DN50

En el Laboratorio de Metrología de Aguas de Cartagena S.A., la calibración de medidores DN50 (2”) y DN100 (4”) se realiza mediante un procedimiento especializado para macromedidores de agua potable, orientado a determinar los errores de indicación en los

caudales normativos Q3, Q2 y Q1, garantizando trazabilidad y cumplimiento técnico conforme a la NTC-ISO 4064. El proceso puede ejecutarse de dos maneras: por comparación directa usando un banco de pruebas con medidor patrón de referencia (Coriolis de 3” y de ½”) en todos los caudales, o mediante una metodología híbrida, donde Q3 se evalúa con los medidores patrón y Q2-Q1 mediante recipientes volumétricos calibrados.

La calibración inicia con la selección del medidor y la definición de la metodología de ensayo. Luego se instala el equipo en el banco de pruebas y se inspecciona su condición física. Si presenta fugas, roscas deformadas, lectura ilegible o daños mecánicos, se retira del proceso y se transfiere al organismo de inspección. Una vez apto, se determinan los intervalos de caudal según el valor Q3 y la relación metrológica R (Q3/Q1). Para un DN50, normalmente se establecen rangos entre 90 % y 100 % de Q3, entre Q2 y 110 % de Q2, y entre Q1 y 110 % de Q1. En el caso de los DN100 se realizan las pruebas en los bancos de micromedición, sin embargo; este diámetro no hace parte del alcance al que está aspirando acreditarse con ONAC en 2027.

Antes del ensayo del DN50, se verifican condiciones previas esenciales: hermeticidad del sistema hidráulico, ausencia de aire en la línea, presión de entrada dentro del límite admisible, presión mínima de salida de 30 kPa y temperatura del agua compatible con la clase térmica del medidor. Posteriormente se ajusta el caudal usando como referencia los medidores patrón, procurando un valor intermedio del rango permitido.

La prueba se ejecuta bajo el método “parada–inicio–terminación”. Se registran lecturas iniciales del medidor bajo prueba y de los medidores patrón cuando no existe flujo; luego se abre la válvula aguas abajo, se estabiliza el caudal y se monitorean continuamente presión, temperatura y caudal. Al alcanzar el volumen o tiempo mínimo requerido, se cierra la válvula y se toman lecturas finales. Cada punto de prueba se repite mínimo tres veces.

Finalmente, el software calcula automáticamente el error relativo, estima la incertidumbre de medida y compara los resultados con los errores máximos permitidos por la norma. Con base en ello se emite el certificado de calibración y, cuando aplica, la declaración de conformidad del medidor DN50.

Inspección de medidores pequeños DN15 a DN25 y macros DN40 a DN100

La inspección técnica de medidores de agua ha ganado relevancia porque permite evaluar condiciones de instalación, integridad física, trazabilidad de identificación, indicios de manipulación, compatibilidad de uso y coherencia entre el estado del equipo y su contexto operativo. Aunque buena parte de la literatura reciente se concentra en medición inteligente, esa misma literatura muestra que la digitalización no sustituye la inspección: la vuelve más estratégica. Soares Ascenção et al., (2023) destacan que los sistemas inteligentes sirven para localizar anomalías y apoyar la toma de decisiones, pero requieren procedimientos complementarios de verificación en campo y validación técnica en el laboratorio u organismo de inspección. Del mismo modo, el panorama científico descrito por Zapata-Sierra et al., (2024) confirma que el valor de la medición inteligente aumenta cuando se conecta con mantenimiento, detección de fugas, confiabilidad y control operativo.

En el caso de Aguas de Cartagena SA, esto es particularmente útil para defender el papel del organismo de inspección acreditado: la inspección aporta evidencia distinta a la de la calibración, porque observa el medidor como parte de un sistema real de uso, instalación y riesgo. Desde esta lógica, la inspección de medidores con diámetros DN15–DN25 y DN40–DN100 puede justificarse teórica y empíricamente como una función de aseguramiento técnico-operacional que complementa la exactitud metrológica y fortalece el control de pérdidas aparentes.

Metodología para la Inspección de medidores de agua DN15-DN25

En el Organismo de Inspección de Aguas de Cartagena S.A., los medidores pequeños entre 1/2" y 1" (DN15, DN20 y DN25) son inspeccionados mediante un procedimiento técnico estructurado orientado a verificar su estado físico, funcional y de conformidad, con base en la Guía Técnica Colombiana GTC 217:2011 y bajo los lineamientos de la acreditación ISO/IEC 17020 otorgada por ONAC. El objetivo principal es identificar fallos visibles o internos que puedan afectar el correcto funcionamiento del medidor en servicio.

El proceso inicia cuando los medidores ingresan al Organismo y son entregados al inspector junto con la cadena de custodia correspondiente. Antes de comenzar, el personal verifica condiciones de seguridad y disponibilidad de herramientas: guantes, iluminación, cámaras fotográficas, terminales de trabajo, software y equipos de apertura especializados. Luego, cada medidor es registrado en el sistema SGME mediante el formato digital de trabajo. Posteriormente se realiza la inspección externa. En esta fase se revisan componentes como tapa del registrador, carcasa, cúpula, anillo de sujeción, roscas, unidad registradora, cuerpo del medidor y legibilidad del serial. Se buscan anomalías tales como roturas, fisuras, perforaciones, corrosión, deformaciones, piezas faltantes, manipulación o montaje incorrecto. Si el medidor presenta incidencias visibles, puede pasar a inspección interna.

La inspección interna se ejecuta cuando existen señales previas que lo justifiquen. No siempre implica desensamble total. Allí se evalúan elementos hidráulicos y mecánicos como pistón, turbina, piñones, eje, filtro, válvula antirretorno, rampa ensamblada y sistema de transmisión. En medidores electrónicos o ultrasónicos también se revisan menús, alarmas, comunicación y transmisión de datos. Todas las evidencias se documentan fotográficamente mediante la APP AcuaOIN enlazada con la aplicación informatica SGME.

Finalizada la revisión, el inspector clasifica los hallazgos y el sistema genera automáticamente el informe de inspección. El medidor se declara **CONFORME** cuando no

presenta fallos que afecten su funcionamiento y **NO CONFORME** cuando al menos una incidencia compromete su operación. Cada informe queda trazable mediante número único aprobado dentro del sistema institucional.

Método de Inspección de medidores de agua DN40, DN50 y DN100

En el Organismo de Inspección de Aguas de Cartagena S.A., los medidores DN40 (1½”), DN50 (2”) y DN100 (4”) se inspeccionan mediante un procedimiento técnico especializado para macromedidores y tecnologías modernas, orientado a verificar el estado físico, mecánico, electrónico y funcional de los equipos. El proceso aplica a medidores ultrasónicos, electromagnéticos y mecánicos tipo Woltman, bajo lineamientos compatibles con ISO/IEC 17020 y criterios técnicos de la GTC 217 e ISO 4064.

La inspección inicia con una revisión externa, donde se examinan carcasa, bridas, conexiones, pintura, placa de identificación, flecha de sentido de flujo, tapa protectora del registro, cúpula, pantalla y estado general del equipo. Se busca detectar fisuras, golpes, corrosión, deformaciones, humedad, pérdida de transparencia, piezas sueltas o señales de manipulación. En medidores electrónicos también se inspeccionan puertos ópticos, conectores, baterías externas, antenas y cajas de conexión.

Posteriormente puede ejecutarse la revisión interna, siempre bajo autorización y condiciones seguras. En medidores tipo Woltman se inspeccionan la hélice o rotor, eje central, cojinetes, estabilizadores, difusores, tren de engranajes, acoplamiento magnético y registro mecánico o electrónico. Se verifica que la hélice gire libremente, que no existan incrustaciones, corrosión profunda, desgaste excesivo ni desalineaciones. También se revisan empaques, juntas y tapas de cámara para descartar filtraciones o deterioro estructural.

En medidores ultrasónicos o electromagnéticos DN40, DN50 o DN100, además de la revisión física se realiza inspección de sistemas cuando se dispone de hardware y software del fabricante. El inspector accede a menús internos mediante imán, teclado, IRDA, HHU, NFC o

gateway, revisando alarmas, caudal, volumen acumulado, firmware, historial de errores, batería y transmisión de datos remota. Si el equipo no comunica adecuadamente o presenta datos inconsistentes, se registra anomalía.

Finalmente, todos los hallazgos se documentan con fotografías y registros trazables. El medidor se declara CONFORME cuando conserva integridad estructural y funcional, y NO CONFORME cuando cualquier defecto compromete su desempeño hidráulico, metrológico o de comunicación. El resultado se consolida en el informe oficial del Organismo de Inspección. Estas pruebas están en proceso de acreditación con ONAC.

Pruebas de homologación de medidores de agua DN15 a DN100

Las pruebas de homologación o evaluación de tipo se sustentan en la necesidad de demostrar que un medidor es apto antes de su adopción masiva o de su uso regulado en las empresas de acueducto. Aunque varios artículos recientes no usan siempre la palabra “homologación”, sí aportan bases conceptuales esenciales: reproducibilidad del desempeño, respuesta frente a distintos patrones de demanda, capacidad de medición en condiciones de operación reales y adaptación a ecosistemas digitales. La revisión de Zapata-Sierra et al., (2024) y la de Soares Ascenção et al., (2023) muestran que las tecnologías actuales se evalúan no solo por su exactitud nominal, también por su integración con lectura remota, analítica, alertas y gestión avanzada. Esa evidencia es útil para sostener que la homologación moderna de medidores con diámetros DN15–DN100 debe incluir criterios funcionales, metrológicos y de interoperabilidad.

Además, los trabajos sobre caudales máximos y perfiles de consumo en Colombia permiten reforzar que homologar un medidor sin contrastarlo con escenarios reales de uso puede conducir a decisiones incompletas. En ese sentido, el estudio de Garzón-Orduña et al., (2024) es relevante porque evidencia desajustes entre métodos de cálculo y comportamiento

medido, lo que respalda la necesidad de ensayos y homologaciones que representen mejor los contextos locales de operación.

Metodología para la ejecución de pruebas empíricas de homologación de medidores de agua

En el Laboratorio de Metrología y el Organismo de Inspección de Aguas de Cartagena S.A., las pruebas de homologación para medidores de agua de diámetros entre DN15 y DN100 se desarrollan como un proceso integral destinado a validar la precisión, funcionalidad, robustez y resistencia operativa de los equipos antes de su incorporación al servicio o compra de los mismos. Estas evaluaciones abarcan ensayos metrológicos y de vulnerabilidad, ejecutados bajo condiciones controladas y con referencia a la norma NTC-ISO 4064.

Las pruebas metrológicas inician con la determinación inicial del error de medición en posición horizontal, donde el medidor se ensaya en diferentes puntos de caudal según su relación metrológica R (Q3/Q1), comparando su lectura con patrones trazables. Luego se realizan pruebas en posición vertical, tanto con flujo ascendente como descendente, con el fin de verificar si la orientación modifica el error de indicación. Posteriormente se ejecuta el ensayo de flujo inverso, donde se confirma que el medidor responda adecuadamente ante inversión accidental del sentido del agua.

También se evalúa el caudal de arranque dinámico y estático, mediante el paso de pequeños volúmenes de agua desde reposo o desde Q1, determinando la sensibilidad del instrumento para registrar consumos bajos. De igual forma, se desarrolla la determinación inicial del error intrínseco, ensayando cerca de catorce caudales representativos de perfiles reales de consumo. Finalmente, en esta etapa se realizan ensayos de durabilidad por flujo continuo y sobrecarga, simulando uso prolongado.

En los ensayos de vulnerabilidad, el medidor se somete a presión hidrostática de hasta 16 bar para comprobar integridad estructural. Luego se verifica la pérdida de presión,

asegurando que no exceda los límites aceptables de su clase. Adicionalmente, se evalúa el comportamiento frente a sólidos en suspensión, midiendo cómo partículas presentes en el agua alteran los errores de indicación.

Para medidores electrónicos o inteligentes también se realizan pruebas ante campos magnéticos, analizando posibles alteraciones en lectura o transmisión. Finalmente, el Organismo de Inspección ejecuta ensayos físicos de manipulación del registrador, desacople o acceso interno, valorando la resistencia del medidor frente a fraude o intervención no autorizada. Con los resultados se determina la aptitud técnica del modelo homologado y se brinda conformidad a la compra de los mismos.

Subcontaje y sobrecontaje de medidores DN15 a DN100

La literatura reciente sobre consumo y medición refuerza la idea de que el subcontaje y el sobrecontaje no deben verse solo como desviaciones aisladas del error, sino como fenómenos asociados a la interacción entre tecnología del medidor, rango de caudal, continuidad del suministro, condiciones hidráulicas y patrones de uso. Los estudios de demanda y perfiles ayudan a explicar por qué un mismo medidor puede comportarse de manera distinta según el contexto de servicio. En paralelo, Niknam et al., (2022), Benavides-Muñoz et al., (2024) incluyen explícitamente el tema del *water meter error* dentro del análisis de escenarios de demanda, conectándolo con la operación del sistema.

Un hallazgo especialmente útil para el presente estado del arte, es el trabajo de Tamari & Arroyo-Correa (2026) quienes reportan evidencia de que medidores mecánicos pueden sobrerregistrar consumo en presencia de aire en tuberías, mientras que la literatura sobre determinantes y perfiles de consumo recuerda que el subregistro también puede emerger cuando los caudales reales de uso se apartan del rango donde el medidor tiene mejor desempeño. De modo que, el subcontaje y el sobrecontaje deben ser teorizados como riesgos

técnico-económicos que afectan equidad tarifaria, eficiencia comercial y control de pérdidas aparentes de agua.

Metodología para la evaluación de Subcontaje y Sobrecontaje en medidores de agua DN15 a DN100

Conforme a la metodología propuesta por Arregui de la Cruz et al., (1998), las pruebas de subcontaje y sobrecontaje de medidores de agua entre DN15 y DN100 en el Laboratorio de Metrología de Acuacar se realizan como parte de la evaluación técnica del parque de contadores, orientada a cuantificar desviaciones sistemáticas de medición y su impacto económico sobre la empresa y los usuarios. El objetivo principal es determinar si los medidores registran por debajo del volumen real consumido (subcontaje) o por encima de este (sobrecontaje).

El proceso inicia con la selección de una muestra representativa del parque de medidores, segmentada por diámetro nominal, tecnología, antigüedad, fabricante, zona de servicio y comportamiento comercial. Esta estratificación permite que los resultados obtenidos sean extrapolables al conjunto total de medidores instalados. Para DN15 a DN25 se priorizan medidores residenciales; para DN40 a DN100 se incluyen comerciales, institucionales e industriales.

Posteriormente, los medidores son sometidos a ensayos en banco de calibración bajo diferentes puntos de caudal representativos del uso real, normalmente bajos, medios y altos. Se compara el volumen indicado por el medidor con el volumen patrón trazable suministrado por el sistema de referencia del laboratorio. Si el medidor registra menos que el volumen patrón, se clasifica con tendencia al subcontaje; si registra más, con tendencia al sobrecontaje.

La metodología recomienda ponderar los errores según los perfiles reales de consumo, ya que no todos los caudales tienen la misma frecuencia de uso. (e.g., errores en bajos caudales pueden representar grandes pérdidas acumuladas en usuarios residenciales,

mientras que pequeñas desviaciones en altos caudales pueden tener fuerte impacto en macromedición o clientes industriales).

Luego se calculan promedios ponderados por grupo y se estima el error global del parque de medidores. Esto permite priorizar reemplazos, recalibraciones o cambios tecnológicos. En el laboratorio, estos resultados sirven para diseñar programas de reposición inteligente, disminuir pérdidas aparentes de agua, mejorar la equidad tarifaria y optimizar la facturación. De modo que, la evaluación de subcontaje y sobrecontaje deja de ser una prueba aislada y se convierte en una herramienta estratégica de gestión comercial y metrológica.

En síntesis, la evaluación puede expresarse así:

Subcontaje:

$$V_{indicado} < V_{patrón}$$

Sobrecontaje:

$$V_{indicado} > V_{patrón}$$

Cálculo de recuperación de m³ con base en ensayos de medidores de agua DN15 a DN100

El cálculo de recuperación de m³ puede fundamentarse teóricamente como una traducción operativa del desempeño metrológico a impacto comercial. La literatura reciente no siempre formula ese cálculo con ese nombre, pero sí ofrece el soporte conceptual necesario: cuando un estudio demuestra diferencias entre caudales teóricos y reales, entre patrones observados y estimados, o entre incrementos de demanda medidos y explicados, está abriendo el camino para convertir error o desviación en volumen recuperable (de Sousa et al.,2024). En Colombia, Ortiz et al., (2022) mostraron que en Bogotá el consumo asociado a población migrante podía explicar entre 4,8 % y 6,1 % de la demanda total de la ciudad, lo que ilustra

cómo los cambios en la demanda pueden cuantificarse hidráulicamente y traducirse en volumen.

Aplicado al estado del arte, esto permite sostener que la recuperación de m³ no debe calcularse como una simple resta contable, sino como una estimación técnico-metrológica basada en ensayos, errores ponderados, perfiles de consumo y criticidad del medidor por diámetro y tecnología. En otras palabras, los ensayos de calibración, inspección y homologación generan evidencia para estimar cuánto volumen dejó de registrarse o se registró en exceso, y por tanto cuánto valor puede recuperarse, corregirse o evitarse. Esta articulación entre metrología, hidráulica y gestión comercial es justamente la que le da densidad académica al trabajo de los OA.

Metodología para la recuperación de m3 con base en ensayos en medidores de agua DN15 a DN100

La recuperación de metros cúbicos (m³) dejados de facturar en los OA de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. —integrados por el Laboratorio de Metrología y el Organismo de Inspección— constituye un análisis técnico complementario orientado a identificar pérdidas aparentes o comerciales derivadas del deterioro físico y metrológico de los medidores de agua entre DN15 y DN100. Esta metodología articula los resultados de inspección visual, funcional y técnica con los ensayos de calibración acreditados, permitiendo cuantificar volúmenes no registrados atribuibles al subcontaje del medidor.

El proceso inicia en el Organismo de Inspección, donde los equipos retirados en campo son evaluados bajo criterios técnicos normalizados, identificando incidencias físicas visibles e internas tales como desgaste del mecanismo, rotor frenado, turbina averiada, incrustaciones, ingreso de partículas, manipulación externa, magnetización, fisuras, daño en sellos o deformaciones estructurales. Estas condiciones permiten determinar si el medidor presenta afectaciones susceptibles de alterar su desempeño hidráulico y metrológico.

Posteriormente, los medidores técnicamente viables son remitidos al Laboratorio de Metrología, donde se ejecutan ensayos de calibración bajo normas aplicables (ISO 4064 / OIML R49), evaluando el error porcentual en diferentes puntos de caudal (Q1, Q2, Q3 y Q4, o equivalentes según clase metrológica). Cuando los resultados evidencian errores negativos por debajo de los límites máximos permisibles, se confirma la existencia de subcontaje, es decir, registro inferior al volumen realmente consumido.

Con base en dichos errores y en el historial comercial del usuario, se calcula el volumen dejado de facturar mediante la siguiente relación:

$$\mathrm{m}^3_{\mathrm{recuperados}} = \mathrm{Consumo\ Facturado} \times \left(\frac{|\ \mathrm{Error\%}\ |}{100 - |\ \mathrm{Error\%}\ |}\right)$$

Donde el consumo facturado corresponde al periodo objeto de análisis y el error porcentual proviene del ensayo de calibración. Para macro-medidores entre DN40 a DN100, el análisis se complementa con perfiles de caudal, continuidad operativa y balances sectorizados. Finalmente, los resultados son consolidados como soporte técnico para decisiones comerciales, reposición de medidores, recuperación económica, priorización de cambios y mejora del parque de medición. Esta metodología integra evidencia física y evidencia metrológica, fortaleciendo la trazabilidad, objetividad y legitimidad técnica del proceso de recuperación de m³.

En síntesis, la literatura reciente y aproximada de los últimos 5 años permite defender que el trabajo sobre medidores de agua con diámetros nominales DN15 a DN100 en OA (Laboratorio de metrología y Organismo de inspección) no es una suma de pruebas aisladas, sino un sistema integrado de conocimiento: dimensionar exige conocer el perfil de consumo; calibrar exige entender el rango real de operación; inspeccionar exige leer el contexto técnico del medidor; homologar exige validar desempeño funcional y metrológico; y estimar subcontaje, sobrecontaje y recuperación de m³ demanda convertir resultados de ensayo en decisiones de gestión del parque y control de pérdidas de agua en sistemas de acueductos. La evidencia

localizada en Aguas de Cartagena SA para Colombia y el mundo apoya con fuerza los componentes de consumo, picos y análisis urbano; la evidencia específicamente centrada en el Caribe colombiano y metrología de medidores es más escasa en 2020–2026, por lo que conviene declarar ese vacío como oportunidad de investigación. Sin embargo, el aporte del ensayo es que logra presentar una clasificación mutuamente excluyente con base en los constructos y autores acotados. Con lo cual, este estudio constituye el primer ejercicio documentado en Latinoamérica que integra una taxonomía compuesta por siete constructos, aspecto que sustenta su carácter novedoso y su aporte original al desarrollo científico regional.

CONCLUSIONES

La taxonomía de constructos de pruebas sobre medidores (dimensionamiento, perfil de consumo, calibración, inspección, subcontaje/sobrecontaje, homologación y recuperación de m^3) puede justificarse epistemológicamente desde la integración de la hermenéutica contemporánea y la heurística científica. Para ello, la clasificación propuesta de los constructos asociados a medidores de agua se sustenta teóricamente en la convergencia entre la hermenéutica de Ricoeur (1981) y la heurística de Pólya (1945).

Desde Ricoeur, mediante su metodología de interpretación de textos, prácticas y significados, es posible comprender de manera estructurada el conocimiento contenido en normas técnicas, literatura científica, procesos operativos y experiencias institucionales del sector hídrico en empresas de acueducto, identificando categorías recurrentes como dimensionamiento, calibración, inspección y recuperación de volúmenes (Ricoeur, 1981).

A su vez, desde Pólya y su método heurístico de comprender el problema, diseñar un plan, ejecutarlo y revisar resultados, dichas categorías pueden reorganizarse en una arquitectura funcional orientada a resolver problemas reales de selección de medidores, errores de registro, pérdidas de agua y eficiencia operativa (Pólya, 1945).

DOI: https://doi.org/10.71112/0wjwp320

En consecuencia, esta taxonomía de la Figura 2 no constituye una simple clasificación conceptual, sino una construcción lógico-aplicada que interpreta el conocimiento técnico disponible y lo transforma en una herramienta estratégica útil para laboratorios y organismos de inspección acreditados y empresas prestadoras de servicios públicos de acueducto a nivel global, la cual fue construida con base en el corpus de la literatura aproximada de los últimos 5 años.

Figura 2

Arquitectura científica de los constructos de pruebas sobre medidores de agua: Paradigmas, Autores emergentes y Metodologías aplicadas (Últimos 5 Años)



PARADIGMAS, AUTORES MÁS REPRESENTATIVOS (ÚLTIMOS 5 AÑOS) Y METODOLOGÍAS EN LOS CONSTRUCTOS DE MEDIDORES

CONSTRUCTO	PARADIGMAS	METODOLOGÍAS	AUTORES MÁS REPRESENTATIVOS (ULTIMOS 5 AÑOS)	AÑOS
1. DIMENSIONAMIENTO DE MEDIDORES	• Paradigma técnico–hidráulico • Paradigma estadístico de demanda • Paradigma de optimización y costo del ciclo de vida	• Balance hidráulico y cálculo de caudales • Curvas de demanda y factor de pico • Modelación hidráulica (EPANET, WaterGEMS) • Análisis multicriterio (AHP, TOPSIS) • Costo del ciclo de vida (LCC) • Simulación de escenarios	• Veolia. (2025). • Benavides-Muñoz, H. M.; Lapo-Pauta, M.; Martínez-Solano, F. J.; Quiñones-Cuenca, M. & Quiñones-Cuenca, S. (2024). • Niknam, A.; Zare, H.K.; Hosseininasab, H.; Mostafaeipour, A. & Herrera, M. A. (2022). • Garzón-Orduña, A. J.; Coronado-Hernández, O. E.; Ortiz, R. O.; Arrieta-Pastrana, A. & Fuertes-Miquel, V. S. (2024). • Ramos Bueno, A.; Galeana-Pizaña, J. M. & Perevoztchikova, M. (2024).	2025 2024 2022 2024 2024
2. PERFIL DE CONSUMO DE MEDIDORES	• Paradigma de series temporales • Paradigma de segmentación de consumo • Paradigma de aprendizaje automático	• Análisis de series temporales (ARIMA, ETS) • Segmentación (k-means, clustering) • Minería de datos y machine learning • Visualización y analítica descriptiva • Detección de patrones de consumo	• Cominola, A.; Preiss, L.; Thyer, M.; Maier, H. R.; Prevos, P.; Stewart, R. A. & Castelletti, A. (2023). • Mazzoni, F.; Blokker, E. J. M.; Alvisi, S. & Franchini, M. (2024). • Bao, F., Martek, I., Wu, Q., Wang, Z., Yang, Y., Chen, C., & Chan, A. P. C. (2023). • Ortiz, N.; González, L. & Saldarriaga, J. (2022). • Benavides-Muñoz, H. M.; Lapo-Pauta, M.; Martínez-Solano, F. J.; Quiñones-Cuenca, M. & Quiñones-Cuenca, S. (2024).	2023 2024 2023 2022 2024
3. CALIBRACIÓN DE MEDIDORES	• Paradigma metrológico • Paradigma basado en incertidumbre • Paradigma de trazabilidad y calidad	• Ensayos en banco de calibración (ISO 4064) • Curvas de error vs. caudal • Estimación de incertidumbre (GUM) • Trazabilidad metrológica (ISO/IEC 17025) • Control estadístico de calidad (SPC)	• Arregui, F. J.; Pastor-Jabaloyes, L.; Gavara, F., & Soriano, J. (2020). • Tamari, S. & Arroyo-Correa, V. (2026). • Mendoza-Betin, J. A., Moncada-Baleta, S., Arias-Cáserez, F., & Ramos-Pacheco, C. (2024). • Soares Ascenção, É.; Melo Marinangelo, F.; Meschini Almeida, C. F.; Kagan, N. & Dias, E. M. (2023). • Zapata-Sierra, A. J.; Salmerón-Manzano, E.; Alcayde, A.; Zapata-Castillo, M. L. & Manzano-Agugliaro, F. (2024).	2020 2026 2024 2023 2024
4. INSPECCIÓN DE MEDIDORES	• Paradigma basado en riesgo • Paradigma de integridad de datos • Paradigma de inspección inteligente	• Inspección visual y funcional • Checklists y protocolos (ISO/IEC 17020) • Evaluación de riesgo (FMEA) • Fotografía y documentación digital • Inspección con dispositivos móviles	• Tamari, S. & Arroyo-Correa, V. (2026). • Mendoza-Betin, J. A., Moncada-Baleta, S., Arias-Cáserez, F., & Ramos-Pacheco, C. (2024). • Zapata-Sierra, A. J.; Salmerón-Manzano, E.; Alcayde, A.; Zapata-Castillo, M. L. & Manzano-Agugliaro, F. (2024). • Soares Ascenção, É.; Melo Marinangelo, F.; Meschini Almeida, C. F.; Kagan, N. & Dias, E. M. (2023). • Veolia. (2025).	2026 2024 2024 2023 2025
5. SUBCONTAJE Y SOBRECONTAJE DE MEDIDORES	• Paradigma de error de medición • Paradigma de balance hídrico • Paradigma de gestión de sesgos	• Análisis de error relativo (%) • Balance volumétrico y comparación • Pruebas en campo y laboratorio • Modelos de corrección estadística • Evaluación de incertidumbre	• Mendoza-Betin, J. A., Moncada-Baleta, S., Arias-Cáserez, F., & Ramos-Pacheco, C. (2024). • Tamari, S. & Arroyo-Correa, V. (2026). • Soares Ascenção, É.; Melo Marinangelo, F.; Meschini Almeida, C. F.; Kagan, N. & Dias, E. M. (2023). • Garzón-Orduña, A. J.; Coronado-Hernández, O. E.; Ortiz, R. O.; Arrieta-Pastrana, A. & Fuertes-Miquel, V. S. (2024). • Zapata-Sierra, A. J.; Salmerón-Manzano, E.; Alcayde, A.; Zapata-Castillo, M. L. & Manzano-Agugliaro, F. (2024).	2024 2026 2023 2024 2024
6. PRUEBAS DE HOMOLOGACIÓN DE MEDIDORES	• Paradigma normativo y regulatorio • Paradigma de desempeño • Paradigma de laboratorio acreditado	• Ensayos según ISO 4064 / OIML R49 • Evaluación de desempeño (Q1–Q4) • Comparación entre tecnologías • Pruebas de durabilidad y estrés • Análisis costo–beneficio	• Zapata-Sierra, A. J.; Salmerón-Manzano, E.; Alcayde, A.; Zapata-Castillo, M. L. & Manzano-Agugliaro, F. (2024). • Soares Ascenção, É.; Melo Marinangelo, F.; Meschini Almeida, C. F.; Kagan, N. & Dias, E. M. (2023). • Veolia. (2025). • Arregui, F. J., Pastor-Jabaloyes, L., Gavara, F., & Soriano, J. (2020). • Bao, F., Martek, I., Wu, Q., Wang, Z., Yang, Y., Chen, C., & Chan, A. P. C. (2023).	2024 2023 2025 2020 2023
7. RECUPERACIÓN DE m³ DE MEDIDORES	• Paradigma de detección de pérdidas • Paradigma de analítica y recuperación • Paradigma de gestión integral del agua	• Cuantificación de m³ recuperados • Análisis antes/después de intervención • Modelos de regresión y series temporales • Evaluación económica (ROI, VAN, TIR) • Monitoreo de indicadores (KPI)	• Mendoza-Betin, J. A., Moncada-Baleta, S., Arias-Cáserez, F., & Ramos-Pacheco, C. (2024). • Ramos Bueno, A.; Galeana-Pizaña, J. M. & Perevoztchikova, M. (2024). • Benavides-Muñoz, H. M.; Lapo-Pauta, M.; Martínez-Solano, F. J.; Quiñones-Cuenca, M. & Quiñones-Cuenca, S. (2024). • de Sousa, C. O. M. & Fouto, N. M. M. D. (2024). • Cominola, A.; Preiss, L.; Thyer, M.; Maier, H. R.; Prevos, P.; Stewart, R. A. & Castelletti, A. (2023).	2024 2024 2024 2024 2023

Nota: Las metodologías sugeridas se alinean con normas internacionales y buenas prácticas del sector de agua potable.

Nota: La figura sintetiza una taxonomía de siete constructos clave en la gestión de pruebas sobre medidores de agua con diámetros entre DN15–DN100: dimensionamiento, perfil de consumo, calibración, inspección, subcontaje/sobrecontaje, homologación y recuperación de m³. Para cada uno se presentan paradigmas, metodologías y autores representativos de los

últimos cinco años. Elaboración propia con base en literatura especializada y experiencia aplicada en Aguas de Cartagena S.A. E.S.P.

No obstante, la principal limitación del presente ensayo radica en que la taxonomía fue construida a partir de una selección referencial de poco más de quince autores publicados en los últimos cinco años, lo cual, aunque permite una base contemporánea y pertinente, no agota la totalidad del conocimiento disponible ni incorpora la totalidad de corrientes teóricas y evidencias empíricas existentes a nivel global. De modo que, futuras investigaciones podrían ampliar el corpus bibliográfico, contrastar nuevos enfoques regionales y robustecer la taxonomía mediante revisiones sistemáticas o análisis bibliométricos de mayor alcance.

Declaración de conflicto de interés

El autor declara no tener ningún conflicto de interés relacionado con esta investigación.

Declaración de contribución a la autoría

Javier Alfonso Mendoza Betin: conceptualización, análisis formal del estado del arte, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software, supervisión, validación, visualización, redacción del borrador original, revisión y edición de la redacción.

Declaración de uso de inteligencia artificial

El autor declara que utilizo la inteligencia artificial como apoyo para este ensayo, y también que esta herramienta no sustituye de ninguna manera la tarea o proceso intelectual. Después de rigurosas revisiones con diferentes herramientas en la que se comprobó que no existe plagio como constan en las evidencias, el autor manifiesta y reconoce que este trabajo fue producto de un trabajo intelectual propio, que no ha sido escrito ni publicado en ninguna plataforma electrónica o de IA.

REFERENCIAS

Arregui de la Cruz, F., García-Serra Garcia, J., López Patiño, G. & Martínez Solano, J. (1998). Metodología para la evaluación del error de medición de un parque de contadores. Ingeniería del Agua, 5(4), 55-66.

Arrequi de la Cruz, F., Cabrera-Rochera, E. & Cobacho-Jordán, R. (2007). Gestión Integral de Contadores de Agua. España: Instituto Tecnológico del Agua - Universidad Politécnica de Valencia.

Arregui, F. J., Pastor-Jabaloyes, L., Gavara, F., & Soriano, J. (2020). Accuracy of solid-state residential water meters under intermittent flow conditions. Sensors, 20(18), 5339. DOI: https://doi.org/10.3390/s20185339

Benavides-Muñoz, H. M.; Lapo-Pauta, M.; Martínez-Solano, F. J.; Quiñones-Cuenca, M. & Quiñones-Cuenca, S. (2024). Global Events and Surge in Residential Water Demand: Exploring Possible Hydraulic Scenarios. Water, 16(7), 956. DOI: 10.3390/w16070956

Bao, F., Martek, I., Wu, Q., Wang, Z., Yang, Y., Chen, C., & Chan, A. P. C. (2023). Scientometric review of smart water management literature from the sustainable development goal perspective. International Journal of Strategic Property Management, 27(4), 218–232.

Cominola, A.; Preiss, L.; Thyer, M.; Maier, H. R.; Prevos, P.; Stewart, R. A. & Castelletti, A. (2023). The determinants of household water consumption: A review and assessment framework for research and practice. npj Clean Water, 6, 11. DOI: 10.1038/s41545-022-00208-8

De Sousa, C. O. M. & Fouto, N. M. M. D. (2024). Why do people save water? A systematic review of household water consumption behaviour in times of water availability uncertainty. AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society, 73(8), 1565–1580. DOI: 10.2166/aqua.2024.259

Garzón-Orduña, A. J.; Coronado-Hernández, O. E.; Ortiz, R. O.; Arrieta-Pastrana, A. & Fuertes-Miquel, V. S. (2024). Assessment of Peak Water Usage among Residential Consumers across Several Drinking Water Service Areas. Sustainability, 16(4), 1601. DOI: 10.3390/su16041601

Mazzoni, F.; Blokker, E. J. M.; Alvisi, S. & Franchini, M. (2024). An enhanced method for automated end-use classification of household water data. Journal of Hydroinformatics, 26(2), 408–423. DOI: 10.2166/hydro.2024.125

Mendoza-Betin, J. A., Moncada-Baleta, S., Arias-Cáserez, F., & Ramos-Pacheco, C. (2024). Análisis de subcontaje y sobredimensionamiento de contadores de agua: ejercicio empírico del Laboratorio de Metrología de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. Revista Científica Anfibios, 7(1), 50–71. DOI: https://doi.org/10.37979/afb.2024v7n1.147

Mendoza Betin, J. A. (2026). Innovación y cambio organizacional: un modelo basado en ia para la transformación digital en empresas de servicios públicos. Revista Multidisciplinar Epistemología De Las Ciencias, 3(1), 125-153. DOI: https://doi.org/10.71112/hhyt4410

Mendoza Betin, J. A., Arias Caseres, F. J., & Sierra García, B. C. (2026). Acreditación integrada y control de pérdidas aparentes: evidencia empírica de la implementación de normas 17025–17020 en la micromedición urbana (2011–2025). Revista Multidisciplinar Epistemología De Las Ciencias, 3(3), 419-446. DOI: https://doi.org/10.71112/ren4q111

Niknam, A.; Zare, H.K.; Hosseininasab, H.; Mostafaeipour, A. & Herrera, M. A. (2022). Critical Review of Short-TermWater Demand Forecasting Tools—What Method Should I Use? Sustainability, 14, 5412. DOI: https://doi.org/10.3390/su14095412

Ortiz, N.; González, L. & Saldarriaga, J. (2022). Impact on Potable Water Consumption Due to Massive Migrations: The Case of Bogotá, Colombia. Water, 14(24), 3987. DOI: 10.3390/w14243987

Pólya, George (1945). How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press. (Ediciones posteriores y reimpresiones disponibles).

Ramos Bueno, A.; Galeana-Pizaña, J. M. & Perevochtchikova, M. (2024). Urban water consumption analysis through a spatial panel modeling approach: a case study of Mexico City, 2004–2022. Water Supply, 24(9), 3179–3195. DOI: 10.2166/ws.2024.191

Ricoeur, Paul (1981). Hermeneutics and the Human Sciences: Essays on Language, Action and Interpretation. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press

Soares Ascenção, É.; Melo Marinangelo, F.; Meschini Almeida, C. F.; Kagan, N. & Dias, E. M. (2023). Applications of Smart Water Management Systems: A Literature Review. Water, 15(19), 3492. DOI: 10.3390/w15193492

Tamari, S. & Arroyo-Correa, V. (2026). Today's Water Meters (Mechanical) Can Sometimes Greatly Overestimate Domestic Consumption Due to Air in Pipelines: A Field Evidence. Water, 18(6), 704. DOI: 10.3390/w18060704

Veolia. (2025). Guia Metodológica dimensionamiento de medidores

Zapata-Sierra, A. J.; Salmerón-Manzano, E.; Alcayde, A.; Zapata-Castillo, M. L. & Manzano-Agugliaro, F. (2024). The Scientific Landscape of Smart Water Meters: A Comprehensive Review. Water, 16(1), 113. DOI: 10.3390/w16010113