

Análisis de subcontaje y sobredimensionamiento de contadores de agua: ejercicio empírico de Laboratorio de Metrología de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P.

Analysis of undercounting and oversizing of water meters: empirical exercise of the Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. Metrology Laboratory

Javier A. Mendoza-Betín*

Doctor en Proyectos e Investigador independiente (Colombia)

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8355-8581>

j.mendozabetin@hotmail.com

Fecha de recepción: 25/02/2024

Fecha de evaluación: 10/03/2024

Fecha de aceptación: 08/04/2024

Sarita Moncada-Baleta

Técnico Profesional en Procesos Metroológicos e Investigador Independiente (Colombia)

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0008-5656-3191>

moncadasarita3@gmail.com

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

Ferney Arias-Caseres

Ingeniero Industrial e Investigador Independiente (Colombia)

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-9775-9906>

ferney.arias@gmail.com

Cristian Ramos-Pacheco

Técnico Profesional en Procesos Metroológicos e Investigador Independiente (Colombia)

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0006-0242-7886>

cristiansegundoramospacheco@gmail.com



[Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

*Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

Resumen

Este estudio empírico es un adelanto de la implementación de plan de reposición de medidores y diseño de método para perfiles de consumo y tablas de caudales de contadores de ¾", 1" y 2" en Aguas de Cartagena S.A. Persigue explicar lo logrado en cuanto al análisis de subcontaje y sobredimensionamiento en los aparatos de medición de los diámetros indicados, bajo método propio ad hoc, además expone una revisión aproximada de la literatura. Se concluye en el cierre que, analizar la experiencia empresarial es novedosa y pertinente.

Palabras clave

Contadores; subcontaje; sobredimensionamiento

Abstract

This empirical study is a preview of the implementation of the meter replacement plan and method design for consumption profiles and flow tables of ¾", 1" and 2" meters in Aguas de Cartagena S.A. It seeks to explain what has been achieved regarding the analysis of undercounting and oversizing in the measuring devices of the indicated diameters, under its own ad hoc method, and also presents an approximate review of the literature. In closing, it is concluded that analyzing the business experience is novel and relevant.

Keywords

Water meters; undercounting; oversizing

Introducción

El suministro de agua potable es un recurso vital para comunidades y empresas en todo el mundo. La eficiencia en la medición y distribución del agua es esencial para garantizar un uso sostenible y equitativo. En este contexto, la gestión adecuada de los medidores de agua desempeña un papel crucial. Los contadores de 3/4", 1" y 2" son dispositivos comunes en sistemas de suministro de agua, y su correcto dimensionamiento y funcionamiento son fundamentales para la facturación precisa y el uso eficiente del agua.

El proyecto de análisis de subcontaje y sobredimensionamiento de contadores de agua de 3/4", 1" y 2" de Aguas de Cartagena S.A. "Acuacar", se centra en la evaluación de la precisión y el tamaño de estos contadores en una población específica de usuarios (Alrededor de 11.500 contadores de 3/4" y 1" y cerca de 850 medidores de 2"). Esta iniciativa tiene como objetivo identificar posibles ineficiencias en el sistema, ya sea a través de la subestimación o sobreestimación del consumo de agua, y proponer e implementar soluciones que optimicen el rendimiento y reduzcan los costos innecesarios.

Esto implica entonces desarrollar un análisis empírico que, permita generalizar a la retórica literaria de los constructos, analizados desde dos perspectivas: (1) subcontaje (subdimensionamiento) y (2) sobredimensionamiento, o bien, bajo una mirada complementaria e integrada. Es por ello necesario presentar un ejercicio práctico de sus resultados haciendo previamente una revisión de la literatura, los antecedentes y contexto de la data de Acuacar en materia de contadores de 3/4" y 1" para la mirada de subcontaje, y el estado del arte consultado en deferencia al sobredimensionamiento, principalmente, para todos los diámetros anotados.

Se infiere que es conveniente, novedoso y pertinente estudiar, con base en un ejercicio práctico, los fenómenos acotados, dado que, sin perjuicio de ser hipotético a condición de encontrarse en etapas piloto y análisis complementarios o complementariedad de pruebas, para la dimensión de sobredimensionamiento, no existe un estudio de esta característica en el contexto de empresas de servicios públicos en la Costa Atlántica colombiana. El que se tiene de referencia se ubica en Veolia Tunja (Colombia), con quienes se compartirán resultados y buenas prácticas o transferencia de conocimiento.

De hecho, este ejercicio constituye el primer análisis científico del efecto de analizar para después remplazar u optimizar el tamaño de los contadores de agua de 3/4", 1" y 2" utilizados en el sistema de suministro de agua de Acuacar. Para la dimensión Subcontaje, sí se cuenta con data suficiente para la planificación de reemplazo de dichos medidores de las características señaladas, pero no se cuenta con información concluyente desde la perspectiva de sobredimensionamiento.

Mas adelante, se brinda información sobre la relevancia de abordar el subcontaje y el sobredimensionamiento de contadores, se presenta una revisión aproximada de la literatura, se hace alusión a los principales objetivos del proyecto, la metodología que se utilizará para llevar a cabo el análisis de investigación y el plan de remplazo de contadores. Además, se resalta la importancia de este proyecto en el contexto de la gestión responsable del agua y la mejora de la eficiencia en el suministro de agua potable. El trabajo se analiza entonces con base a dos variables; la primera, el Subcontaje, mientras en la segunda, la cambiante estudiada es el Sobredimensionamiento. Aguas de Cartagena S.A. en la actualidad presenta 2.857 medidores de 1", 8.484 medidores de 3/4" y 846 contadores de 2".

En cuanto al Subcontaje y/o Sobredimensionamiento para medidores de 2", se tiene por antecedente que se instalaron en los últimos años cerca de cuatrocientos (400) medidores entre las marcas inteligentes Hydrus y MAG 8000 de una población de un poco más de 800 macros. Solo fue necesario entonces durante este ejercicio analizar la información a través de muestras por parte del Laboratorio de Metrología para entregar resultados al proceso responsable de ejecutar el plan de reposición de contadores, al igual que al Comité de Perdidas. De hecho, se inició estudiando la información de un paquete de 26 casos de medidores de 2" que entregó el proceso de Soporte de Medición y se tuvo en cuenta otras referencias relevantes. No obstante, durante las fases de muestra piloto y complementariedad de pruebas, se analizó la información de todas las muestras de medidores inteligentes instalados sin distingo de sus diámetros. Dentro de los antecedentes es pertinente mencionar también, las limitaciones que han tenido en el pasado algunos planes de reposición de contadores de 3/4" y 1".

A continuación un esquema gráfico del alcance del proyecto que muestra la conexidad de las dos variables analizadas:

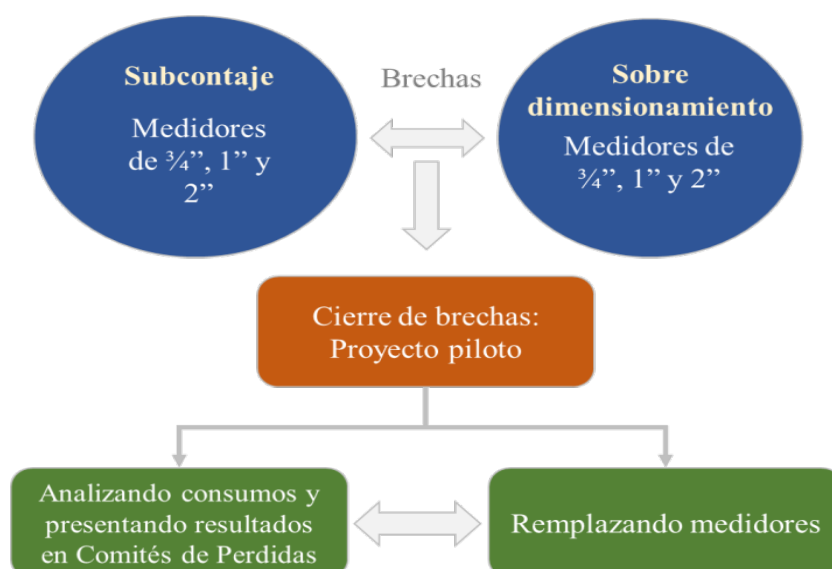


Figura 1. Relación de las variables del proyecto

Fuente: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acuacar (2023).

Fundamentación Teórica

En la revisión de la literatura, se abordarán la conceptualización de las variables analizadas; las investigaciones previas relevantes, para finalizar, con el contexto problema gerencial del análisis.

El subcontaje y el sobredimensionamiento de contadores de agua, son dos conceptos importantes relacionados y utilizados para medir el consumo de agua en hogares y empresas. Ambos son problemas u oportunidades relevantes que deben abordarse, para garantizar una medición precisa del consumo de agua y una facturación justa para los usuarios en sistemas de acueducto. Para prevenir estos problemas o aprovechar las oportunidades, es fundamental realizar un análisis regular de los contadores, asegurarse de que estén calibrados correctamente y seleccionar el tamaño adecuado del contador en función de las necesidades específicas de cada instalación, y finalmente, planear el remplazo de estos (Villamarin, comunicación personal, 17 de marzo de 2023).

En primer lugar, se abordará el concepto de Subcontaje en contadores de agua. Se refiere en consecuencia a que estos no registran con precisión la cantidad real de agua que fluye a través de ellos. En otras palabras, los aparatos de medida muestran una cifra menor de la que realmente ha pasado a través del sistema de medida. Esto puede deberse a diversos factores y problemas técnicos en el contador o en el sistema de sumi-

nistro de agua. Algunas de las causas comunes del subcontaje en contadores de agua incluyen (Hidrantal, Centro de Investigación y Desarrollo, 2003):

(1) Desgaste y envejecimiento del contador: Con el tiempo, los componentes internos de contadores se desgastan o dañan, lo que puede afectar su capacidad de medir con precisión el flujo de agua; (2) Contaminación o sedimentación: La acumulación de sedimentos o contaminantes en el contador puede obstruir su funcionamiento y causar mediciones incorrectas; (3) Calibración incorrecta: Contadores sin calibraciones adecuadas en el momento de la instalación o durante su uso, puede generar mediciones erróneas; (4) Problemas en las tuberías: Fugas o restricciones en las tuberías antes o después de contadores pueden causar disminución en la presión y, por lo tanto, mediciones incorrectas y (5) Manipulación fraudulenta: En algunos casos, las personas pueden manipular deliberadamente los contadores de agua para reducir su consumo registrado y pagar menos por el suministro de agua.

El subcontaje en consecuencia es un problema importante en la gestión del agua, ya que puede resultar en una facturación inexacta, lo que puede llevar a ingresos insuficientes para mantener y mejorar el sistema de suministro de agua. Además, puede dificultar la detección de fugas y problemas en la red de distribución, lo que afecta la eficiencia operativa y la conservación del recurso hídrico. Por lo tanto, es esencial abordar y corregir el subcontaje en los contado-

res de agua para garantizar una medición precisa y justa del consumo de agua.

Una vez abordado y analizado el concepto de Subcontaje, se estudiará seguidamente la noción de Sobredimensionamiento de contadores de agua. Se relaciona a la práctica de instalar contadores con un diámetro mayor del necesario para una aplicación específica. Es decir, se coloca un aparto de mayor capacidad en lugar de uno más pequeño que podría ser suficiente para las necesidades de agua reales de un hogar o negocio (Bastidas-Delgado, 2009).

Lo más importante en el sobredimensionamiento de contadores de agua, es que depende de sus necesidades específicas y las características de su sistema de agua. Debe sopesar los beneficios de un flujo de agua más alto y una menor resistencia al flujo con los costos iniciales y de operación, así como con la capacidad de su sistema de tuberías para manejar el flujo adicional. En muchos casos, la elección del tamaño del contador debe ser un equilibrio entre estos factores para garantizar un suministro de agua eficiente y económico (Arregui de la Cruz, Cabrera-Rochera y Cobacho-Jordán, 2007).

Una vez abordados los conceptos conexos a las variables, es el turno de mencionar lo investigado en deferencia a las búsquedas antepuestas y relevantes de las fenomenologías analizadas. En el contexto internacional, se ubicaron quince (15) publicaciones de corte cuantitativo, cualitativo y reconocimiento bibliográfico, de los cuales los investigadores consideran pertinentes: seis (6). Se inicia con el análisis de subcontaje y sobredimensionamiento de medidores en la comunidad valenciana de Benicassim, Castellón y Valencia en España, por parte de Arregui de la Cruz (1999), trabajo doctoral que entrega una metodología científica para el análisis y gestión del parque de contadores de agua que, permite la estimación del volumen no registrado con unos límites de precisión aceptables.

Por su parte, Arregui de la Cruz, F. et al., (1998), aportan una metodología probada para la evaluación del error de medición de un parque de contadores basada en los siguientes factores de análisis: el volumen no medido, el no contabilizado debido al subcontaje de los contadores domiciliarios o el perdido en fugas, lo que permite estimar la porción de volumen no registrado que corresponde al sub-

contaje de contadores, basándose en la forma de consumir de los abonados. Mas adelante, Arregui de la Cruz, F. et al., (2007), exponen en su libro de Gestión Integral de Contadores de Agua las estrategias metodológicas para abordar el subcontaje y sobredimensionamiento de contadores, pero lo presentan de manera desintegrada o separada.

Es imperioso resaltar la comparación del desempeño de algunos contadores domésticos (11 modelos) que cumplieran la normativa de American Water Works Association de Estados Unidos (*AWWA por sus siglas en inglés*) al igual que la norma de Europa (ISO 4064), concluyendo que los contadores que practicaban con base a la norma ISO tuvieron una mejor eficiencia que los de la norma AWWA. De cada modelo se ensayaron 30 contadores (en total 330). Para calcular el error global se utilizaron 4 patrones distintos de consumo de diferentes zonas geográficas: Pattern I (España, conexión directa a red), Pattern II (España, con depósito domiciliario), AWWA Pattern (Estados Unidos) y SEQREUS (Australia).

Los de AWWA eran de mayor tamaño por lo que pudieron soportar caudales máximos mayores que sus pares ISO. No obstante, tuvieron peor sensibilidad a caudales bajos lo que empeoró el desempeño de los contadores AWWA. De modo, que el posible sobredimensionamiento de los contadores AWWA no estuvo justificado ya que, incluso en los EE.UU., rara vez se consume por encima de los 3000 l/h según mostraba su propio patrón de consumo (Barfuss et al., 2011). Este es el estudio de sobredimensionamiento más importante documentado en esta parte del globo terráqueo hasta el momento.

Desde otra parte del mundo, Ramos-Joseph, Socarrás-Ordaz y León-Méndez (2019), contribuyeron con las curvas de consumo clasificados de la muestra (14 clientes con servicio 24/7 de un sector de la Empresa Aguas de La Habana), el perfil horario de consumo, el volumen de pérdidas aparentes del piloto producto de submedición con valor de 17,42%, el tipo de contador idóneo para la muestra, trabajo práctico que tuvo una duración de 6 meses, así como una comparación de resultados con los determinados en estudios afines como el REUWS1 y el REUWS2016.

De otra parte, Mercedes-García (2020) nuevamente en España, apoya los estudios de subcontaje y sobredimensionamiento con un estudio expe-

rimental del comportamiento metrológico de 21 contadores de agua bajo un régimen de funcionamiento variable, lo que posibilitaría crear un programa de ensayo que sirva como referencia para futuras evaluaciones del comportamiento de medidores bajo condiciones de flujo transitorio.

En el cierre en el plano internacional, Lopez-Molina (2021), presenta de forma clara, precisa y práctica los conceptos, modelos y procedimientos necesarios para comprender y cuantificar el Agua No Registrada (*ANR por su sigla en castellano*) de una red de abastecimiento, donde expone técnicas para determinar el subcontaje y sobredimensionamiento de contadores.

Por su parte, en el contexto nacional se toparon y reconocieron 10 exámenes de paradigmas mixtos e inspección bibliográfica, de los que los investigadores juzgan acertados reconocer: cuatro (4), los cuales se mencionan a renglón seguido: En primer lugar, Benavides (2003) contribuye con unas acciones técnicas y comerciales, entre las cuales se resaltan los análisis de subcontaje y sobredimensionamiento, para mejorar los índices de Agua No Contabilizada en Colombia. Otras acciones indicadas en el trabajo son: contar con un programa de micro medición y macro medición, de sectorizaciones hidráulicas, de control de perdidas, de búsqueda de fugas, de mantenimiento de la instrumentación y un plan de reposición de medidores.

Es importante señalar desde otra perspectiva que, Cuellar-Lozano y Ruano-Ceron (2011), determinaron con su examen que, la gran mayoría de los medidores se encuentran en buen estado, con excepción de muy pocos que se encuentran mal instalados (2 dentro de la muestra), ya que estos deben de quedar en posición totalmente vertical hacia el suelo y sin ningún ángulo de desviación, por lo tanto esto puede conllevar a que dichos medidores presenten datos poco confiables, generando submedición o sobremedición de los consumos de agua potable a los establecimientos de los sectores bajo estudio, afectando tanto la factibilidad económica de la empresa como la facturación de los suscriptores. Sin embargo, el tamaño de la muestra (24) y los datos obtenidos no permite generalizar tales conclusiones.

Entre tanto, Manco-Silva, Guerrero-Erazo y Ocampo Cruz (2012), por medio del trabajo denominado Eficiencia en el Consumo de Agua de uso Residencial entregan un abrebocas cualicuantativo

de un análisis de subcontaje y sobredimensionamiento, convirtiéndose en un referente local de consulta para diseño e implementación metodológico, dado que describen los aspectos técnicos y tecnológicos de los equipos de medición y los dispositivos de bajo consumo de agua.

De otro lado, Mahecha-Rico (2013), concluye que los medidores pequeños presentan subcontaje en caudales por debajo de los 400 l/h, los contadores tipo Velocidad, registran mayores pérdidas que los de tipo Volumétrico, de acuerdo con la muestra estadística (264 equipos de medida), en general los consumos registrados por debajo de 23 litros hora no se están midiendo y registrando en ninguno de los equipos de medida analizados, representando pérdidas significativas de agua, el índice de error por micro medición ponderado al usuario residencial correspondió al -15,232%, siendo el estrato 5 el segmento de la población con mayores niveles de ineficiencia metrológica, seguido por el estrato 3 con un -17,83%, y finalmente, las pérdidas hidráulicas y financieras por efecto de los errores de medición en la micro medición para los usuarios residenciales en la ciudad de Tunja se cuantifican en \$14.437'689.486 a valor presente.

En el escenario local no se ha divulgado examen alguno en asocio a los constructos, con excepción del trabajo de Escandon-Beltran y Sierra-Garcia (2018), quienes exponen los parámetros metrológicos asociados en la calibración de un medidor de agua potable de clase metrológica R160 15 mm: la temperatura de trabajo; los metrológicos que aportan información e indican el grado de conformidad del medidor de agua a través del proceso de calibración; la incertidumbre y la linealidad.

Contexto Problema Gerencial

Aguas de Cartagena S.A. en la actualidad presenta 2.857 medidores de 1", 8.484 aparatos de medida de ¾" y 846 contadores de 2", los que sumados permiten facturar cerca del 15% de la facturación mensual a los clientes de Acuacar. En años anteriores se han remplazado medidores de ¾" y 1" pero no de manera masiva por diferentes constricciones. Dentro de estas limitaciones, se hace necesario mencionar imposibilidades, tales como: tubería en terraza, oposición del usuario, predios cerrados, zona insegura, menor en casa, entre otras, lo que hace que la reposición no sea eficaz comparándose con otros diámetros de medidores (e.g. contadores de ½").

En los últimos años, se reemplazaron cerca de cuatrocientos (400) medidores mecánicos de 2" por contadores inteligentes marcas Hydrus y MAG 8000 de una población de un poco más de 800 contadores. Teniendo en cuenta el antecedente asociado a medidores de 2" y que dentro de los limitados pero concluyentes análisis de data de consumo realizados a los equipos mecánicos (un poco más de 25 casos), se determinó que estos perdieron el 40% del registro de consumo. Por otra parte, el Jefe de Laboratorio de Medidores de Veolia Tunja (Villamarin, comunicación personal, 17 de marzo de 2023), ensayó con una muestra deliberada de medidores mecánicos de 2", concluyendo preliminarmente que presentan un 20% de sobredimensionamiento con respecto al consumo registrado.

De modo que ante los problemas acotados, se requiere un plan de reposición de contadores de ¾" y 1" y terminar de reemplazar los 2", colocando a prueba lo realizado con los medidores de grandes diámetros (2") y el conocimiento transferido por Veolia Tunja, es decir, cambiarlos por medidores inteligentes, con tal suerte que faciliten mejores análisis, por todos los datos que se descargan de los equipos inteligentes. No obstante, los medidores de ¾", 1" y 2" también pudieran presentar problemas de subcontaje. En gracia de discusión, se considera pertinente que el problema de subcontaje y/o sobredimensionamiento se aborde de manera complementaria e integral. Finalmente, lo anteriores requiere implementar la capacidad de *autopoiesis* (Mendoza-Betin, 2019, p.273), para la gestión de proyectos complejos como el expuesto.

Ante el vacío de conocimiento en relación con trabajos asociados a las variables analizadas en la ciudad de Cartagena (Colombia) y los pocos realizados en otras regiones de este país dada la revisión aproximada del *corpus* literario, pero especialmente debido al contexto problemático acotado, surge la oportunidad de desarrollar una investigación que posibilite contribuir con sus hallazgos a la literatura, partiendo de una empresa importante en dicha ciudad. Por lo tanto, se considera acertado materializar el objetivo de la investigación: El objetivo general de este proyecto de análisis de subcontaje y/o sobredimensionamiento de contadores de agua de ¾", 1" y 2" es optimizar el tamaño y reemplazar los contadores de agua utilizados en una red o sistema de

suministro de agua de ACUACAR. El objetivo principal entonces es: Mejorar la eficiencia y la gestión del suministro de agua, iniciando con una muestra piloto.

Pero también, gracias a que es un análisis práctico relacionado con el subcontaje y sobredimensionamiento de contadores de ¾", 1" y 2", y la importancia en doble vía de la transferencia de conocimiento entre Aguas de Cartagena S.A. y Veolia Tunja (Mendoza- Betin, 2021a), podrá ser un material de gran ayuda para estudiantes, empresarios y colaboradores conocedores del campo que requieran apropiar y recordar conceptos y generar reflexiones. Sin embargo, igualmente se puede convertir en un abre bocas para el público en general, de manera que se acerquen a los conceptos más usados actualmente y como escrutinio práctico alrededor de los constructos acotados. Con todo lo anterior, se espera que este documento sea un referente y sirva de consulta en los contextos internacional, nacional y local, y a la vez sea de gran utilidad tanto para la formación de nuevas capacidades tecnológicas y cognoscentes para los profesionales de Empresas de Acueducto y Alcantarillado y externos a las corporaciones, como para la reflexión académica y práctica asociada a la transmisión de conocimiento.

Método

El proyecto de análisis para después reemplazar u optimizar el tamaño de los contadores de agua de ¾", 1" y 2" fue diseñado bajo método exploratorio de tipo descriptivo, de corte longitudinal y diseño no experimental por espacio de 10 meses (inició en febrero y finalizó en noviembre de 2023), basado principalmente en técnica *ad hoc* que usó como instrumentos complementarios las estrategias metodológicas que se mencionan más adelante. Las etapas, actividades y productos del ejercicio fueron diseñados y ejecutados conforme al enfoque metodológico acotado, además de que fueron formuladas de conformidad a la gestión de proyectos dado la complejidad de este:

Etapas 1. Proyecto Piloto (Febrero – Abril de 2023).

- Diagnóstico y antecedentes: Línea base o inventario de lo que se tiene en materia de medidores, equipos, software, análisis realizados, entre otros aspectos.
- Proyecto organizado y documentado: Hoja de ruta y funcionalidades: (1) Software + Óptico gestionado (herramienta para extraer

información de contadores); (2) Proyecto de medidores de $\frac{3}{4}$ " y 1" documentado, incluyendo objetivos específicos; (3) Método de extracción de información de medidores de $\frac{3}{4}$ ", 1" y 2" definido y (4) Análisis y presentación de resultados de subcontaje y sobredimensionamiento de medidores de $\frac{3}{4}$ ", 1" y 2" conforme a muestras.

Etapas 2. Complementación de pruebas (Mayo – Noviembre de 2023).

- Resultados consolidados: Análisis y presentación de resultados de subcontaje y sobredimensionamiento de medidores de $\frac{3}{4}$ ", 1" y 2" conforme a parte de población o muestra intervenida.
- Transferencia de conocimiento de Veolia Tunja: Intercambio de experiencias y buenas prácticas con Veolia Tunja en materia de sobredimensionamiento.
- Compra de medidores de $\frac{3}{4}$ ", 1" y 2", acorde a resultados para continuar el ejercicio empírico.

Etapas 3. Perfil de consumo + Tablas de Caudales (Diciembre de 2023 a Diciembre de 2024)

Fase I:

- Perfil de consumo de usuarios de 2" determinado.
- Perfil de consumo de usuarios de $\frac{3}{4}$ " y 1" definido.
- Método de dimensionamiento de medidores (tabla de caudales) diseñado.

Fase II:

- Nuevo método de dimensionamiento de medidores a Instalar + Tablas de caudales entregado a proceso de Soporte de Gestión Técnica de Acuacar.
- Capacitación y formación a colaboradores de procesos transversales.

Por su parte, la muestra inicial fue de 245 unidades de análisis; contadores de $\frac{3}{4}$ ", 1" y 2" de Acuacar. Sin embargo, teniendo en cuenta que el tamaño de la muestra resultante requiere de más recursos y menor tiempo para asegurar resultados precisos, y especialmente, lograr un equilibrio entre la precisión y la eficiencia en función de los objetivos de investigación y recursos disponibles (se contó con 18 medidores de $\frac{3}{4}$ "; 10 medidores de 1" y 26 casos

de análisis de 2"), la muestra anterior en esta parte del proyecto quedó descartada. Se escogió entonces de manera deliberada una muestra piloto con los datos señalados, teniendo en cuenta los consumos promedio mensual.

Procedimiento

Para comprender la data, inicialmente se efectuó una recopilación de fuentes secundarias, principalmente la información histórica de facturación, de los contadores intervenidos (medidores calibrados y los errores resultantes) y estudios realizados de medidores de 2". Una vez recolectada la información, se construyó un registro resumen, tablas, gráficos, entre otras consideraciones. Luego se levantó la información primaria a través de extracción de datos, análisis y de registros específicos del ejercicio empírico; la data numérica primaria resultante, se tabuló, consolidó y presentó para toma de decisiones con lo que se pudieron acometer a cabalidad las etapas 1 y 2 del proyecto, lo que a la postre entregó más recursos económicos para desarrollarlo.

Observaciones

Sin perjuicio de la revisión documental y análisis de la literatura, la transferencia e intercambio de conocimiento con Veolia Tunja, los análisis y entrega de resultados, el proyecto también se basó en las observaciones e información directa del estudio que facilitó y generó conocimiento como consecuencia de trabajo grupal, sinergia de capacidades y las decisiones de los directivos, mandos medios y operarios de la corporación, lo que posibilitó tomar decisiones que al final fortalecieron las conclusiones de la investigación.

Teniendo en cuenta el vacío de discernimiento señalado en la revisión de la literatura y dado el contexto gerencial problemático advertido, se propuso la siguiente hipótesis:

Hipótesis H1: Los contadores de agua de $\frac{3}{4}$ ", 1" y 2" instalados en la red de suministro de agua de Acuacar presentan submedición y/o sobredimensionamiento en relación con las necesidades reales de agua de los usuarios, lo que resulta en costos innecesarios, uso ineficiente de recursos y posiblemente pérdida de precisión en la medición del consumo.

Esta hipótesis sugiere entonces que el proyecto de análisis pretendió demostrar que existía tal problema, y a la vez, proporcionó evidencia sólida y datos concretos para respaldar o refutar esta hipótesis, inicialmente a través de muestras deliberadas.

Resultado

Producto del método y técnica acotada en la Figura 2, se relacionan los resultados relevantes

asociados a las etapas; (1) Proyecto Piloto, (2) Complementación de pruebas y (3) Perfiles de consumo y Tablas de Caudales.

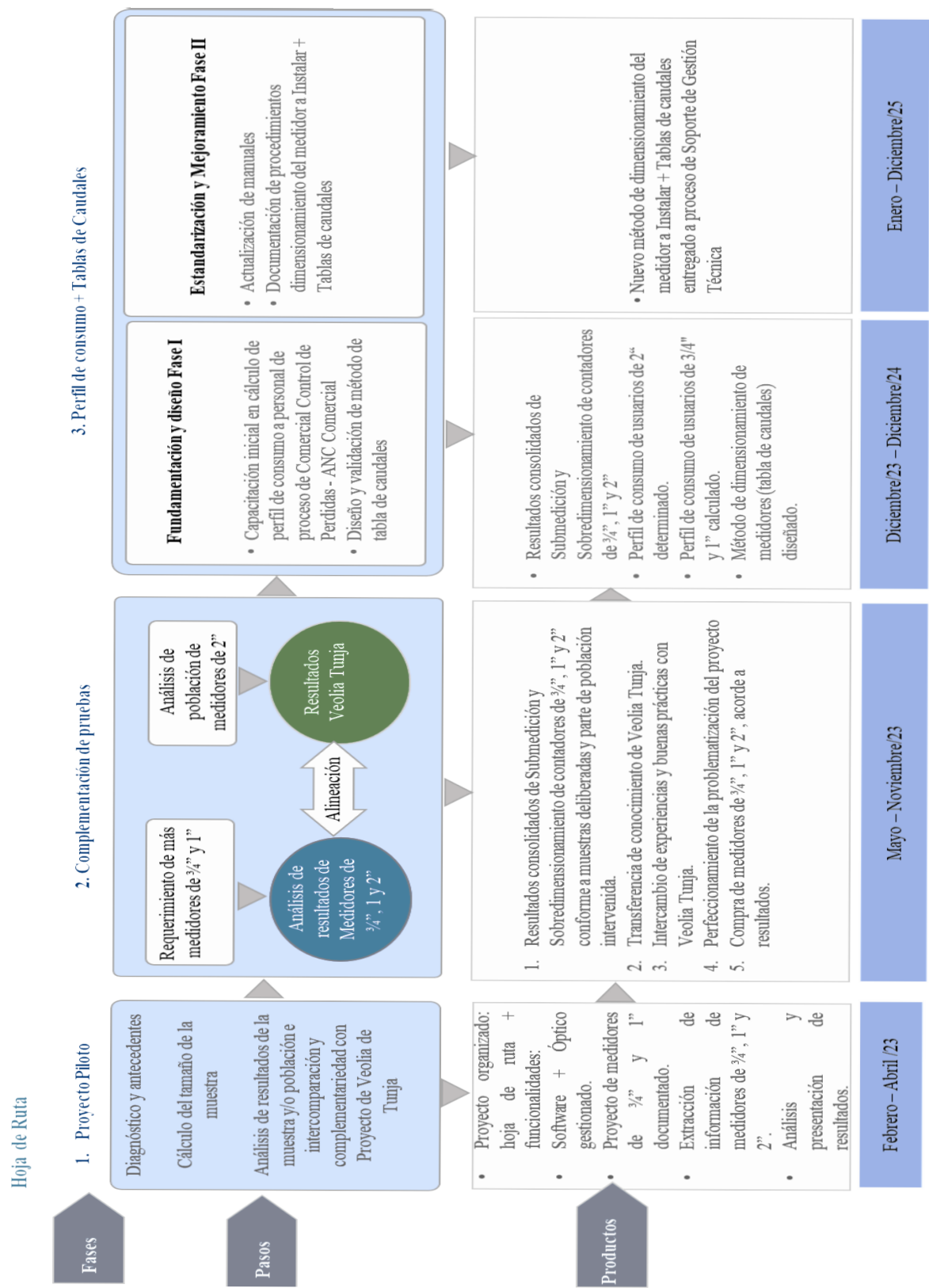


Figura 2. Esquema diagramático de Implementación del Proyecto
Fuente: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acuacar (2023).

En deferencia a las etapas indicadas, se describen inmediatamente los resultados de cada una:

Etapa 1. Proyecto piloto

En lo que respecta al diagnóstico y antecedentes: A continuación una síntesis grafica de la fase diagnostica, prognosis y el estado del arte del proyecto que, permitió la formulación de este.

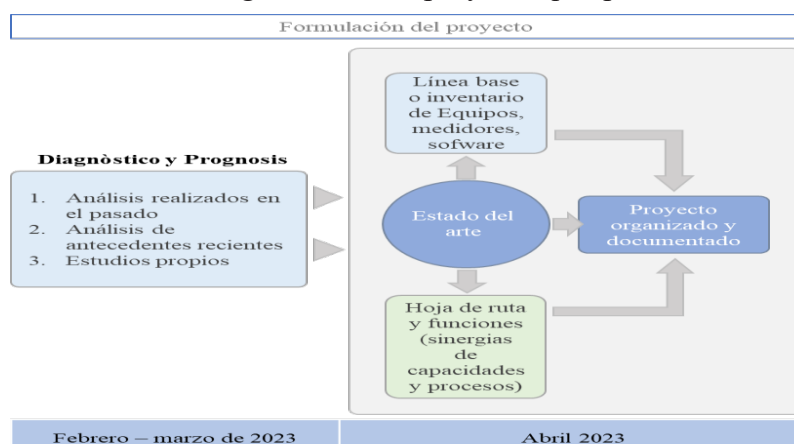


Figura 3. Síntesis grafica de fase diagnostica, prognosis y formulación del proyecto

Fuente: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acucar (2023)

Diagnóstico y pronosis

Análisis realizados en el pasado

Se instalaron en los últimos años cerca de cuatrocientos (400) medidores de 2" entre

las marcas inteligentes Hydrus y MAG 8000 de una población de un poco más de 800 macros.

Además, se realizaron limitados pero concluyentes análisis de data de consumo a medidores mecánicos de 2" (un poco más de 25 casos), donde se determinó que perdieron el 40% del registro de consumo. Lo anterior se concluyó con base en una veintena de los cuatrocientos (400) medidores inteligentes de 2" instalados.

Análisis de antecedentes recientes

Se estudió la información de otro paquete de veintiséis (26) casos de medidores inteligentes de

2" que entregó el proceso de Soporte de Medición y se tuvo en cuenta el ensayo en una muestra deliberada de una decena de medidores mecánicos de 2" por parte de Laboratorio de Medidores de Veolia Tunja, concluyendo preliminarmente que presentan un 20% de sobredimensionamiento con respecto al consumo registrado.

Estudios propios

Inventario de Parque de Medidores de 3/4" y 1"

A fecha de corte 30 de marzo de 2023 la ciudad de Cartagena contaba con un parque de medidores de agua potable de 3/4" y 1" del orden de 11.500 aparatos, cuyas fechas de instalación se registraron desde el año de 1992 y 1993, respectivamente. Donde la mayor concentración de estos contadores se encontró entre los años 2004 y 2014 con 4.549 (54%) medidores de 3/4" y entre los años 2006 y 2016 con 1.333 (46%) medidores de 1".

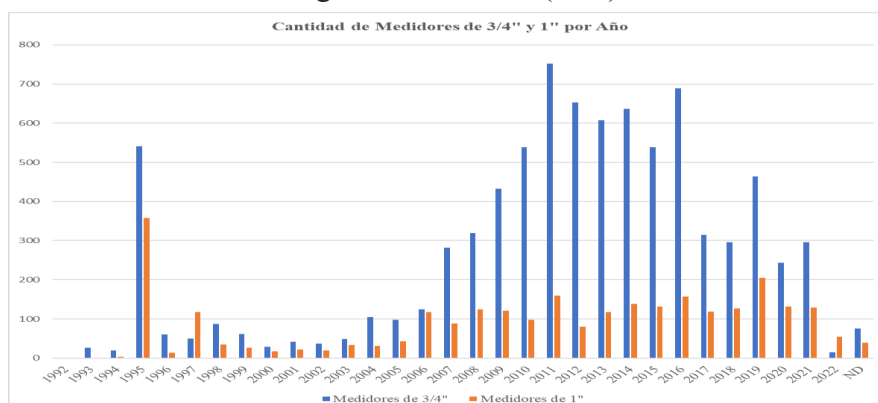


Figura 4. Cantidad de medidores de 3/4" y 1" por año

Nota: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acucar (2023)

Marcas de Medidores Instalados de ¾" y 1"

Se encontraron varias marcas de medidores instaladas de ¾" y 1", pero predominaron, las cuales fueron: Kent con 3.702 medidores, seguido de la marca Sappel con 2.619 medidores y por último, se encontró Elster con 697 medidores, para

un total de 7.018 medidores de ¾". En deferencia a medidores de 1", las marcas que prevalecieron fueron: Kent (994); Aquaforjas (841) e Iberconta (281), para un total de 2.116 medidores. Se hizo alusión a las otras marcas en las tablas, gráficas y acápites subsiguientes, dado que fueron un referente de consulta para tomar decisiones.

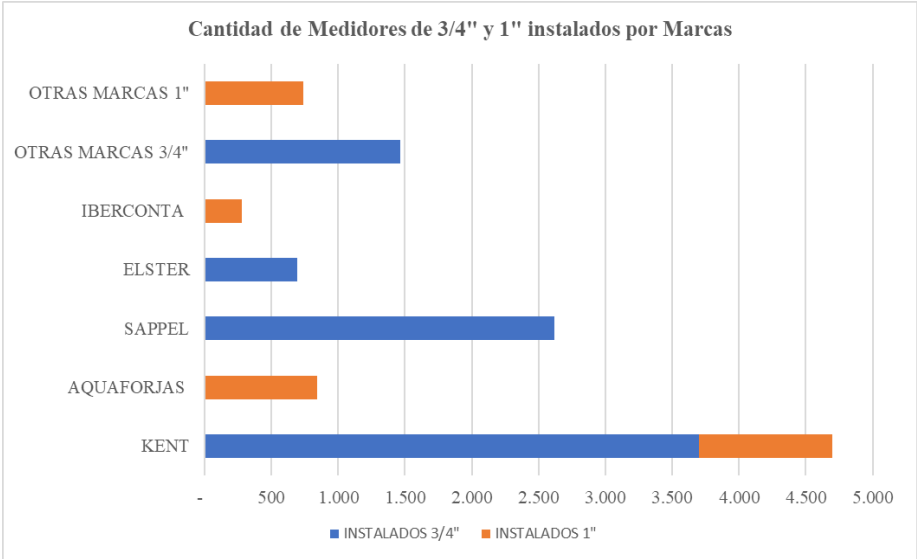


Figura 5. Cantidad de medidores instalados por marca de ¾" y 1"

Nota: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acuar (2023)

Distribución de Medidores por Edad de ¾" y 1"

De los medidores en los diámetros señalados, se distribuyó por medio de marcas y rangos de

edad de la ciudad, de los cuales resultaron un total de 11,341 medidores que se dividieron en 8,484 de ¾" y 2,857 de 1". En las tablas 1 y 2 se pueden apreciar las marcas y rangos de edad.

Tabla 1. Distribución de Medidores por Marcas y Edad de ¾"

Marca	Diámetro 20 (¾")						TOTAL
	<=3 años	3 a 6 años	6 a 9 años	9 a 12 años	12 a 15 años	>15 años	
KENT	19	45	119	1350	1383	786	3702
SAPPEL	415	985	1110	66	32	11	2619
ALTAIRV4							
ELSTER	23	29	328	291	25	1	697
OTRAS	574	175	79	136	62	440	1466
MARCAS							
TOTAL	1031	1234	1636	1843	1502	1238	8484

Fuente: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acuar (2023)

De los medidores de ¾", se distribuyeron por rangos de edad de la siguiente manera:

1.031 instalados recientemente, es decir, estos poseían edades menores a 3 años; 4.713 estaban

concentrados entre las edades mayores a 3 años y menores a 12 años; 1.502 se ubicaron entre 12 y 15 años y por último, se encontraron 1.238 con edades mayores a 15 años.

Tabla 2. Distribución de Medidores por Marcas y Edad de 1"

Marca	Diametro 25 (1")						TOTAL
	<=3 años	3 a 6 años	6 a 9 años	9 a 12 años	12 a 15 años	>15 años	
KENT	29	42	84	176	291	372	994
AQUAFORJA	452	232	154	2	1	0	841
IBERCONTA	0	11	13	8	24	225	281
OTRAS	130	210	142	179	9	71	741
MARCAS							
TOTAL	611	495	393	365	325	668	2857

Fuente: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acuacar (2023)

En cuanto a los aparatos de medida de 1", se hallaron divididos por rangos de edad de la siguiente forma: 611 instalados recientemente, en otras palabras, con edades inferiores a 3 años; 1.253 estaban agrupados entre las edades mayores a 3 años y menores a 12 años; 325 se situaron entre 12 y 15 años y finalmente, se encontraron 668 que tenían edades mayores a 15 años.

Con las tablas anteriores se puede afirmar que en los medidores de los diámetros acotados, se encontraron instalados una gran cantidad de contadores de agua antiguos, lo cual traería como consecuencia problemas de subcontaje como se verá más adelante.

Distribución de Medidores de ¾" y 1" por Estrato (Tarifas)

Se puede apreciar más adelante la distribución por tarifas o estratos de los medidores de ¾" y 1". Esta clasificación facilitaría gestionar y

controlar el proyecto. Categorizar los consumidores en diferentes grupos o estratos según sus niveles de consumo y capacidad de pago, permitió establecer objetivos y beneficios metas, además de planificar eficientemente el reemplazo de contadores de ¾" y 1".

Se resalta entonces los estratos 6 (2.220); 5 (2.098) y 4 (1.272) de un total de 7.643 contadores, con una dotación promedio actual de 16.12, 11.15 y 14.24 m³, respectivamente, no obstante; el aporte significativo lo haría la sustitución de 415 medidores del estrato comercial cuyo promedio mensual de consumo es de 50.96 m³ que posibilitaría un consumo total de 258.500 m³. Pese a lo anterior, lo que indica la tabla a continuación es que de sustituirse 7.643 contadores de ¾" que hoy en día tienen un error global promedio de 41.93%, el consumo total saltaría de 1.92 millones a 2.73 millones de m³.

Tabla 3. Distribución de Medidores de ¾" por tarifas

TARIFAS	TOTAL MARCAS	DOTACIÓN PROMEDIO (M3)	CONSUMO TOTAL (M3)	ERROR GLOBAL	M3 RECUPERADOS (PROM)	NUEVA DOTACIÓN PROMEDIO (M3)	NUEVO CONSUMO TOTAL (M3)
COMERCIAL	415	50,96	258.500,00	41,93%	24,35	75,31	358.907,59
COMERCIAL - AREA COMUN	21	6,27	1.038,00	41,93%	2,76	9,03	1.515,94
INDUSTRIAL	25	129,27	28.324,00	41,93%	57,24	186,50	39.009,89
NO APLICA	26	63,00	5.939,00	41,93%	24,04	87,04	8.388,95
OFICIAL	168	51,45	100.152,00	41,93%	24,85	76,30	138.578,09
RESIDENCIAL ESTRATO 1	194	223,18	381.158,00	41,93%	95,03	318,22	530.602,43
RESIDENCIAL ESTRATO 2	177	16,90	29.396,00	41,93%	8,32	25,22	41.196,66
RESIDENCIAL ESTRATO 2 - AREA COMUN	26	1,23	272,00	41,93%	0,51	1,74	369,55
RESIDENCIAL ESTRATO 3	803	12,19	120.409,00	41,93%	5,63	17,82	172.970,89

RESIDENCIAL ESTRATO 3 - AREA COMUN	55	3,90	3.037,00	41,93%	1,69	5,59	4.214,79
RESIDENCIAL ESTRATO 4	1272	14,24	226.461,00	41,93%	6,46	20,70	327.291,85
RESIDENCIAL ESTRATO 4 - AREA COMUN	53	25,54	12.137,00	41,93%	11,92	37,45	17.566,62
RESIDENCIAL ESTRATO 5	2098	11,15	300.719,00	41,93%	5,06	16,21	434.044,20
RESIDENCIAL ESTRATO 5 - AREA COMUN	31	11,19	2.490,00	41,93%	4,44	15,63	3.466,67
RESIDENCIAL ESTRATO 6	2220	16,12	431.413,00	41,93%	7,22	23,34	625.264,92
RESIDENCIAL ESTRATO 6 - AREA COMUN	30	9,69	4.518,00	41,93%	4,05	13,75	6.346,10
SERVICIO ES- PECIAL	29	37,61	15.535,00	41,93%	13,66	51,27	20.950,19
Total general	7.643	40,23	1.921.498,00		18,30	58,33	2.730.685,32

Fuente: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acuacar (2023)

Es notable que el mayor número de contadores de 1” fue ubicado entre los estratos 6 (922) y 5 (351) de un total de 2.504 aparatos, con una dotación promedio de 21.34 y 14.09 m3, respectivamente, sin embargo; el aporte más relevante lo haría el reemplazo de 281 medidores del estrato comercial cuyo promedio mensual de consumo fue de 109.33 m3 que re-

presenta un consumo total de 546.661 m3. Sin perjuicio de lo anterior, lo que señala la tabla siguiente es que de cambiarse 2.504 contadores de 1” que en la actualidad presentan un error global promedio de 27.16%, el consumo total pasaría de 2.10 millones de m3 a 2.70 millones de m3.

Tabla 4. Distribución de Medidores de 1” por tarifas

TARIFAS	TOTAL MARCAS	DOTACIÓN PROMEDIO (M3)	CONSUMO TOTAL (M3)	E R R O R GLOBAL	M3 RECUPÉRADOS (PROM)	NUEVA DOTACIÓN PROMEDIO (M3)	NUEVO CONSUMO TOTAL (M3)
COMERCIAL	281	109,33	546.661,00	27,16%	30,89	140,21	701.092,73
COMERCIAL - AREA COMUN	24	116,11	27.845,00	27,16%	32,80	148,91	35.711,21
INDUSTRIAL	32	187,55	81.499,00	27,16%	52,98	240,54	104.522,47
NO APLICA	117	202,72	197.311,00	27,16%	57,27	259,99	253.051,36
OFICIAL	96	197,68	247.254,00	27,16%	55,85	253,53	317.103,26
RESIDENCIAL ESTRATO 1	84	495,74	569.979,00	27,16%	140,05	635,78	730.998,07
RESIDENCIAL ESTRATO 1 - AREA COMUN	1	0,60	38,00	27,16%	0,17	0,77	48,74
RESIDENCIAL ESTRATO 2	23	10,27	3.678,00	27,16%	2,90	13,17	4.717,04
RESIDENCIAL ESTRATO 2 - AREA COMUN	8	7,40	1.034,00	27,16%	2,09	9,49	1.326,11
RESIDENCIAL ESTRATO 3	178	8,58	19.856,00	27,16%	2,42	11,00	25.465,32
RESIDENCIAL ESTRATO 3 - AREA COMUN	40	13,46	8.172,00	27,16%	3,80	17,26	10.480,59
RESIDENCIAL ESTRATO 4	89	57,91	47.085,00	27,16%	16,36	74,27	60.386,51
RESIDENCIAL ESTRATO 4 - AREA COMUN	81	20,23	24.432,00	27,16%	5,72	25,95	31.334,04

RESIDENCIAL ESTRATO 5	351	14,09	60.791,00	27,16%	3,98	18,07	77.964,46
RESIDENCIAL ESTRATO 5 - AREA COMUN	82	21,65	22.470,00	27,16%	6,12	27,77	28.817,78
RESIDENCIAL ESTRATO 6	922	21,34	191.135,00	27,16%	6,03	27,36	245.130,64
RESIDENCIAL ESTRATO 6 - AREA COMUN	78	27,35	38.200,00	27,16%	7,73	35,08	48.991,50
SERVICIO ESPECIAL	17	76,43	18.965,00	27,16%	21,59	98,02	24.322,61
Total general	2.504	88,25	2.106.405,00		24,93	113,18	2.701.464,41

Fuente: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acuacar (2023)

Estudios realizados del comportamiento de los Medidores (Errores y Subcontaje y Resultados de las Calibraciones de Contadores)

Los errores globales mencionados en el ítem anterior, se calcularon por medio del Registro histórico de las diferentes marcas recibidas en el Laboratorio de Metrología de Acuacar, el cual contenía la información de los errores en los distintos caudales: Qnominal (Q3), Qtransición (Q2) y Qmínimo (Q1), para los diámetros de $\frac{3}{4}$ " y 1" de cada marca; el comportamiento de los medidores varía dependiendo de las diferentes características que contiene un medidor de agua, un ejemplo de ello es su clase metrológica lo cual indica que entre más grande sea ésta, el medidor será más sensible.

Los medidores no registran los consumos de agua con la misma exactitud para todos los caudales que circulan a través de ellos, a caudales bajos el error tiene amplias variaciones desde el caudal de arranque hasta el caudal no-

minal, esta situación conlleva a que en estos intervalos de caudal, el desgaste del medidor tiene mayor impacto. Se distinguieron varias clases de medidores en el sistema de acueducto de la compañía ACUACAR con clases metrológicas fabricados bajo especificaciones de la norma NTC 1063-1, es decir, todos aquellos medidores que son clase A, B, C y D y con medidores elaborados bajo la norma NTC 4064 que es la relación de Qnominal/Qmínimo nombrado como "R" que se encuentra clasificado de la siguiente manera: R40, R50, R63, R80, R100, R125, R160, R200, R250, R315, R400, R500, R630, R800, R1000; todos con diferentes características metrológicas, que se refieren a la capacidad del aparato para registrar de manera precisa la variable observada, en este caso volumen que circula.

Con base a lo anterior, se realizó la respectiva clasificación de sus características metrológicas por cada marca de medidores de $\frac{3}{4}$ " y 1" como se puede observar a continuación:

Tabla 5. Estudios realizados en medidores de $\frac{3}{4}$ "

Diametros 20 (3/4")					
MARCA	CARACTERISTICAS DE LOS MEDIDORES			ERROR GLOBAL	MEDIDORES CALIBRADOS
	CLASE METROLOGICA	Q3 (l/h)	TIPO DE MEDIDOR		
KENT	A	2500	VOL	-71,14%	39
	B	2500	VOL	40,16%	2159
	C	2500	VOL	-67,86%	468
SAPPEL	C	2500	VOL	-38,18%	37
ALTAIRV4	R160	4000	VOL	-41,41%	94
	R160	4000	VOL	-42,48%	2223
ELSTER	B	2500	VCU	-46,74%	186
IBERCONTA	A	2500	VOL	-74,59%	137
	B	2500	VCU	-42,71%	1093
	B	2500	VCM	-46,42%	32
DIEHL ATAIR	R160	4000	VOL	-42,08%	654
	R315	4000	VOL	-53,01%	200

Fuente: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acuacar (2023)

Tabla 6. Estudios realizados en medidores de 1”

Diámetro 25 (1’’) CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIDORES					
MARCA	CLASE METROLOGICA	Q3 (l/h)	TIPO DE MEDIDOR	ERROR GLOBAL	MEDIDORES CALIBRADOS
KENT	B	3500	VOL	-16,87%	686
	B	3500	VOL	-24,88%	47
	C	3500	VOL	-72,84%	214
AQUAFORJAS	R160	6300	VOL	-62,44%	246
	R200	6300	VOL	-56,88%	77
IBERCONTA	B	3500	VCM	-22,56%	359
	B	3500	VCU	-14,92%	37
	A	3500	VCU	-11,30%	11
SAPPEL	C	3500	VOL	-50,35%	6
ALTAIR	R160	6300	VOL	-1,70%	4
	B	3500	VOL	-28,62%	450
ELSTER	R160	6300	VOL	-40,98%	45
	R160	6300	VCM	-3,27%	56
	C	3500	VOL	-36,68%	171
	C	3500	VCM	-20,19%	86

Fuente: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acuacar (2023)

Los estudios realizados en las diferentes marcas luego de clasificarlos por sus características de subcontaje a nivel general o global:

Tabla 7.Subcontaje consolidado en medidores de 1”

Diametro 25 (1’’)							
MEDIDOR	Rango 1 (445 Med)	Rango 2 (297 Med)	Rango 3 (198Med)	Rango 4 (178 Med)	Rango 5 (142Med)	Rango 6 (1225 Med)	TOTAL Error
	0<=Lect<=499	500<Lect<=999	1000<Lect<=1499	1500<Lect<=1999	2000<Lect<=2500	Lect >2500	global
KENT	-8,05%	-8,78%	-13,77%	-21,02%	-10,30%	-39,30%	-15,18%
AQUAFORJAS	-44,07%	-36,55%	-52,97%	-36,26%	-61,01%	-75,47%	-45,95%
IBERCONTA	-18,42%	-18,83%	-22,20%	-12,66%	-9,18%	-25,25%	-15,98%
SAPPELALTAIR	-50,85%	-0,69%	-	-	-0,70%	-100,00%	-34,25%
ELSTER	-20,42%	-25,78%	-30,60%	-23,87%	-18,27%	-43,87%	-24,42%
TOTAL							-27,16%

Fuente: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acuacar (2023)

Tabla 8. Subcontaje consolidado en medidores de 3/4”

Diametro 25 (1’’)							
MEDIDOR	Rango 1 (2445 Med)	Rango 2 (1238 Med)	Rango 3 (995 Med)	Rango 4 (662 Med)	Rango 5 (467 Med)	Rango 6 (1505 Med)	TOTAL Error
	0<=Lect<=499	500<Lect<=999	1000<Lect<=1499	1500<Lect<=1999	2000<Lect<=2500	Lect >2500	global
KENT	-32,20%	-63,38%	-55,24%	-60,73%	-59,49%	-74,32%	-51,80%
SAPPELALTAIRV4	-39,13%	-10,81%	-41,92%	5,86%	-54,13%	-83,88%	-33,60%
IBERCONTA	-56,94%	-39,79%	-5,37%	-51,14%	-43,07%	-49,58%	-36,88%
DIEHLALTAIR	-26,00%	-31,11%	-0,446711617	-0,178919814	-73,69%	-79,69%	-40,96%
ELSTER	-35,84%	-47,85%	-50,47%	-53,89%	-52,14%	-69,25%	-46,42%
TOTAL							-41,93%

Fuente: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acuacar (2023)

De acuerdo a lo anterior, se puede apreciar que en los contadores de 1", las marcas Aquaforjas (45.95%); Sappel Altair (34.25%); Elter (24.42%) presentaron los errores de subcontaje más altos, seguidos de los medidores Kent (15.18%); Iberconta (15.98%), respectivamente. En deferencia a los aparatos de medida de 3/4", las marcas Kent (51.80%); Elster (46.42%); Diehl Altair (40.96%) e Iberconta (36.88%), tuvieron los errores de subcontaje más significativos.

Por su parte, dado que la marca Kent presentó 3.702 medidores, seguido de la marca Sappel (Diehl) con 2.619 aparatos y por último, se encontró la marca Elster con 697 contadores, para un total de 7.018 contadores de 3/4". Y que con

relación a medidores de 1", las marcas que prevalecieron fueron: Kent (994); Aquaforjas (841) e Iberconta (281), para un total de 2.116 medidores, lo cual en ambos casos entregó resultados concluyentes para la toma de decisiones.

De otra parte, como también coincide que casi estas mismas marcas de contadores presentaron edades superiores a 3 años (1.635 de 2.857 en medidores de 3/4", 57% y 6.561 de 8.484 contadores de 1", 77%), ver en las 2 tablas que siguen las cifras en rojo antes mencionadas, y con un porcentaje global de No conformidad de 47% en medidores de 3/4" y en medidores de 1" de 68%, tal como se abordará más adelante.

Diametro 20 (3/4")							
Marca	<=3 años	3 a 6 años	6 a 9 años	9 a 12 años	12 a 15 años	>15 años	TOTAL
KENT	19	45	119	1350	1383	786	3702
SAPPEL ALTAIRV4	415	985	1110	66	32	11	2619
ELSTER	23	29	328	291	25	1	697
OTRAS MARCAS	574	175	79	136	62	440	1466
TOTAL	1031	1234	1636	1843	1502	1238	8484

Diametro 25 (1")							
Marca	<=3 años	3 a 6 años	6 a 9 años	9 a 12 años	12 a 15 años	>15 años	TOTAL
KENT	29	42	84	176	291	372	994
AQUAFORJA	452	232	154	2	1	0	841
IBERCONTA	0	11	13	8	24	225	281
OTRAS MARCAS	130	210	142	179	9	71	741
TOTAL	611	495	393	365	325	668	2857

Con relación al análisis previo y las gráficas de conformidad presentadas inmediatamente, se formuló el plan piloto de reposición de medidores, conforme a priorización de las siguientes variables: errores de subcontaje por marcas, no

conformidad por marcas, estratos y edad de contadores, al igual que también se tuvo en cuenta las constricciones o imposibilidades y limitaciones en recursos económicos acotadas.

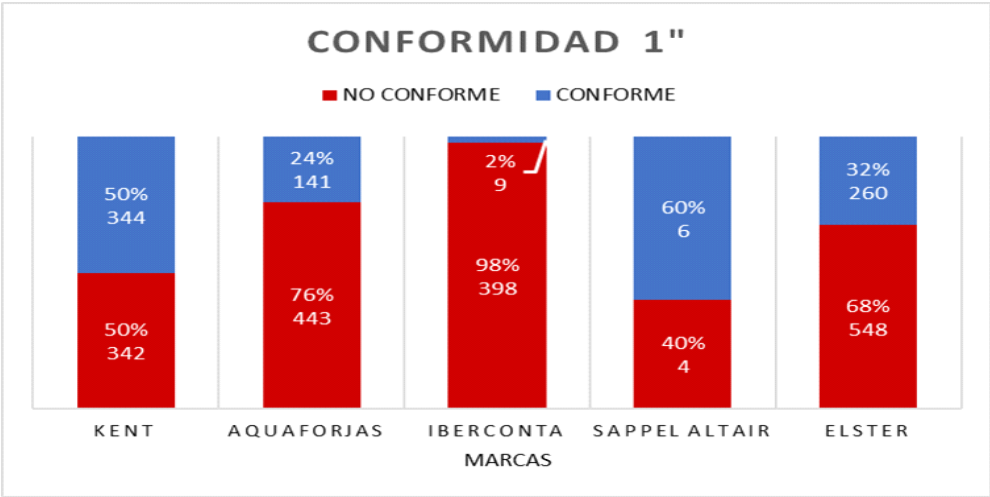


Figura 6. Resultados de conformidad en medidores de 1"
Fuente: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acuarcar (2023)

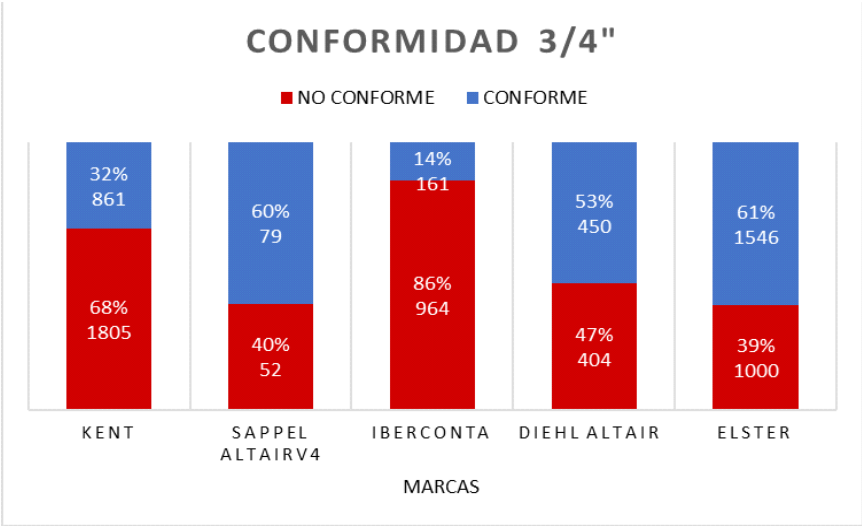


Figura 7. Resultados de conformidad en medidores de 3/4"

Fuente: reparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acucar (2023)

Tabla 9. Cálculos de % No conformidad de medidores de 1"

Medidores de 3/4"	% de No Conformidad
Kent	68%
Sappel Altair	40%
Iberconta	86%
Diehl Altair	47%
Elster	3
Promedio	
Mediana	
Desviación	
Estan	
Coefi	

Tabla 10. Cálculos de % No conformidad de medidores de 3/4"

Contadores de 1"	% de No Conform
Kent	
Aquaforjas	
Iberconta	
Sa	

Fuente: Preparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acucar (2023)

Con base en los resultados de las tablas anteriores, se determinó que el % global de No conformidad en medidores de 3/4" es 47% y en medidores de 1" es de 68%. Prevaleció la mediana sobre el promedio de los porcentajes de no con-

formidad, dado los resultados de los Coeficientes de variación que superaron el 30% en ambos casos.

Medidores de 2"

Solo restó analizar la información a través de muestras porque en años recientes se instalaron más de 400 medidores inteligentes: marcas Hidrus y MAG 8000.

Linea base de Equipos, medidores, software, entre otros

Se contó con Óptico y Software de Medidores de 2": En medidores Hidrus2 de 2", se tuvo uno solo óptico para bajar los datos correspondientes

por medio de sistema de comunicación-PLS y un software básico que permitió extraer datos para análisis. Mas de 200 medidores de esta condición instalados en la ciudad.

Con respecto a los medidores MAG 8000 de 2", se contó con infrarrojo y los softwares requeridos. Están en poder de proceso Soporte de Medición. Un poco más de 200 medidores de esta característica emplazados en Cartagena.

Datos y análisis realizados: El Proceso de Soporte de medición realizó algunos análisis en medidores de 2" con ayuda de un software que proveyó el proveedor Hidromed.

Se gestionó otro software que permitió ingresar a la memoria de los instrumentos de medición para completar la extracción y suministro de la información al Laboratorio de Metrología. Incluyó medidores de ¾" y 1".

Se adquirió otro Óptico para leer a través de sistema de comunicación - PLS los datos en medidores de ¾" y 1".

Hoja de ruta y funciones

Inmediatamente la hoja de ruta y funcionalidades (distribución de funciones por áreas procesales de Acucar) para implementar el proyecto:

PROYECTO: SUBCONTAJE Y SOBRE DIMENSIONAMIENTO DE MEDIDORES ¾", 1" Y 2"

Descripción del Proyecto (Piloto)

Se estructuró proyecto piloto para reemplazar y optimizar tamaño de medidores de ¾", 1" y 2" en un documento y presentación dirigida a Equipo Directivo de Acucar, con el fin de obtener resultados preliminares e intercambiar información con ejercicio de Veolia – Tunja, en aras de tomar decisiones. Solo restó analizar la información a través de muestras en medidores de 2" porque en años recientes se instalaron más de 400 medidores inteligentes: marcas Hidrus y MAG 8000.

¿Cómo funcionó el piloto?

Sinergia de capacidades

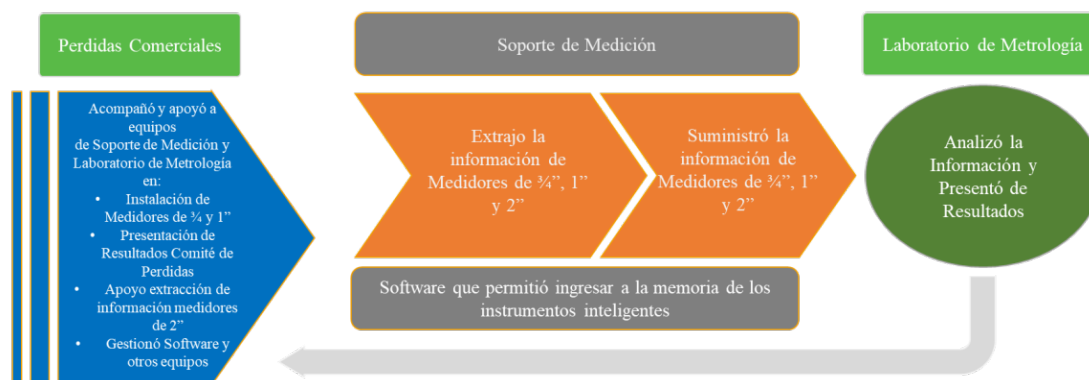


Figura 8. Hoja de ruta y Funcionalidad de proyecto

Fuente: reparación de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. - Acucar (2023)

El proyecto integró las sinergias de capacidades de los procesos de Pérdidas Comerciales, Soporte de Medición y Laboratorio de Metrología. Los resultados conforme a las etapas desarrolladas se presentaron para su validación al Comité de Pérdidas y éste, al Comité Directivo de Acucar.

Proyecto piloto organizado

Teniendo en cuenta las limitaciones económicas y las constricciones mencionadas en el capítulo metodológico, y en virtud de que el análisis previo de sobredimensionamiento de Veolia Tunja en el contexto nacional presenta un sistema de red de suministro de agua bastante distinto al de Acucar, se procedió a realizar un muestreo piloto con las siguientes características:

Población priorizada

Se compuso de 62 clientes catalogados como tarifa comercial, de los cuales 7 tenían medidores

de ½" con consumo promedio mensual de 32.6 m3; 9 poseían contadores de ¾" con consumos mensuales promedio de 131.5 m3 y 46 con aparatos de medida de 1" cuyo consumo promedio es de 125 m3 mensuales, y finalmente, los 26 casos de análisis en medidores de 2".

Muestreo piloto

Se escogieron de esta población de manera deliberada 21 casos, teniendo en cuenta sus consumos promedio mensual. El piloto estuvo compuesto por 3 medidores de ½"; 8 contadores de ¾" y 10 aparatos de medida de 1", los que fueron reemplazados por 21 medidores marca Hydrus de ¾" y 1". Los 3 medidores de ½" se reemplazaron por la marca anotada de ¾". Por último, se incluyeron los 26 casos de análisis en medidores de 2".

En síntesis, la muestra de clientes con medidores de 1" se compuso de un banco; un comercio privado; una entidad sin ánimo de lucro; una

escuela oficial; un hotel; tres industrias; un muelle portuario y un restaurante. Por su parte, dentro de los usuarios con contadores de $\frac{3}{4}$ " se tienen: una entidad oficial; cuatro colegios oficiales; una industria; un lavadero de autos y un supermercado. En deferencia a clientes con aparatos de medida de

$\frac{1}{2}$ ", se hallan: un hotel, una industria y un restaurante. Finalmente, la muestra de 2", incluye cuatro empresas estatales; once industrias; un colegio; tres hoteles; dos universidades; dos clínicas; un centro comercial; un club social y un centro de convenciones.

Etapas 2. Complementación de pruebas

Seguidamente las consecuencias relevantes de la muestra piloto: Diez (10) clientes con medidores de 2" presentaron sobredimensionamiento, con lo cual se redujo el tamaño a contadores de $1\frac{1}{2}$ "; cinco (5) clientes que usaban medidores de 1" se disminuyeron a $\frac{3}{4}$ " y la mitad de contadores de $\frac{3}{4}$ " presentaron subcontaje global del 40%, los que se repusieron por nuevos de igual diámetro. Estas pruebas empíricas tardaron tres (3) meses.

De modo que, ante tales derivaciones, desde el área de Control de Pérdidas Comerciales se proyectó intervenir otros usuarios estratégicos debidamente identificados; un grupo de 225 usuarios comerciales, los cuales, de acuerdo con los análisis de consumo realizados, presentaron una disminución sostenida en el tiempo. El Comité de Pérdidas aprobó la compra que se explica a renglón seguido.

Por lo anterior, se adquirieron doscientos (250) nuevos aparatos de medición inteligentes con los siguientes diámetros: ciento sesenta (160) de $\frac{3}{4}$ " y noventa (90) de 1". El análisis de datos en medidores de 2" se amplió a cuarenta (40) casos adicionales. Bajo esta nueva muestra deliberada los siguientes hallazgos: Diez (10) clientes con medidores de 2" enseñaron sobredimensionamiento, con lo cual se disminuyó el tamaño a contadores de $1\frac{1}{2}$ "; quince (15) clientes que empleaban medidores 1" se bajaron a $\frac{3}{4}$ " y sesenta (60) contadores de $\frac{3}{4}$ " arrojaron subcontaje global del 35%, los que se reemplazaron por nuevos de igual diámetro. Este nuevo ejercicio práctico tomó tres (3) meses adicionales. Veolia

Tunja al analizar los casos de 2" que implicaron reducción de diámetro, sugirió instalar medidores de $1\frac{1}{2}$ ".

No obstante, durante el análisis y trabajo de campo anterior, se presentó la siguiente construcción: se generaron tensiones con los usuarios y/o clientes, porque gestionar el proyecto implicó realizar actividades similares en diferentes lapsos: analizar primero el subcontaje y después el sobredimensionamiento, o viceversa, especialmente en medidores de 1", puso a prueba una serie de problemas y desafíos que podían afectar negativamente el éxito del proyecto, especialmente la etapa 3: (1) retrasos por mayor tiempo de pruebas y (2) ineficiencia en el uso de recursos, lo que puede generar costos adicionales y aumentar la complejidad del proyecto.

Etapas 3. Perfil de consumo y Tablas de Caudales

Los resultados alcanzados no son suficientes para la construcción de perfiles de consumo y tablas de caudales.

Discusión y conclusiones

A continuación se muestran las conclusiones pertinentes en deferencia al análisis empírico sobre subcontaje y sobredimensionamiento de contadores de $\frac{3}{4}$ ", 1" y 2" en la empresa Aguas de Cartagena S.A. como resultado de trabajo teórico-práctico realizado por espacio de 10 meses en el año 2023. Con fundamento en las derivaciones, se exponen las conclusiones conexas al tema central del análisis y el examen del *corpus* literario. Posteriormente se explican los alcances prácticos más importantes. Al final, sin que signifique que no sea importante, se proponen sus constricciones y las próximas líneas de investigación.

Conclusiones del informe en conexidad al marco literario y la gestión gerencial

En respuesta a poner al día la literatura amparada en el método, los resultados y los alcances prácticos del examen cualicuantitativo, es oportuno y novedoso indicar que interesarán como referencia y consulta a la academia, a Aguas de Cartagena S.A., por su puesto, a su socio operador Veolia y el sector real. El análisis recurrente de subcontaje y/o sobredimensionamiento goza

de marcada importancia al interior de la gestión responsable del agua y la mejora de la eficiencia de su suministro, se ha convertido en un alto en el camino para la reflexión organizacional en empresas de servicios públicos y, sobre todo, para la implementación de prácticas como las indicadas en el presente estudio.

En medio de las discusiones acotadas, se confirma entonces con este análisis aunque parcial porque no se reemplazó una cantidad distinguida de medidores, tampoco se diseñaron los perfiles de consumo y tablas de caudales de contadores de $\frac{3}{4}$ ", 1" y 2", las posiciones de Mahecha-Rico (2013); Mercedes-García (2020) y Villamarin (2023), quienes respaldan que el análisis de subcontaje y sobredimensionamiento de medidores puede conducir a una gestión más eficiente de la infraestructura eléctrica, mayores ingresos, reducción de pérdidas de agua y una mejor relación con los clientes, lo que redundará en la estabilidad y sostenibilidad de las empresas de servicios públicos, así como también se halla relevante contar con un socio operador que ostenta la experiencia y el conocimiento para transferir conocimiento a Aguas de Cartagena en la realización de este trabajo.

Implicaciones prácticas

El estudio presenta varios alcances desde la perspectiva gerencial. Se trata de un trabajo empírico realizado durante 10 meses, donde Aguas de Cartagena S.A. situó un equipo de altas competencias, cualidades y experiencia, al igual que logró sinergia de capacidades entre sus procesos de Pérdidas Comerciales, Soporte de Medición y Laboratorio de Metrología. No es menor mencionar que los resultados alcanzados en cada etapa del análisis se presentaron para su validación al Comité de Perdas y éste, al Comité Directivo de Acuacar, con lo cual el trabajo en equipo además de ser multidisciplinario fue un gran motivador para alcanzar victorias tempranas en este proyecto complejo.

Por otra parte, la transferencia de conocimiento y buenas prácticas inter empresas, sin perjuicio de que es de imperativo cumplimiento contractual que el socio operador Veolia lo realice regularmente con Acuacar, es una prioridad en el proyecto, por lo que durante el estudio el Laboratorio de Medidores de Veolia Tunja acompañó al personal del Laboratorio de Metrología de Acua-

car, con lo cual propuso implementar soluciones que optimizaran el rendimiento en medidores de 2", principalmente. De hecho, los contadores con este diámetro que resultaron sobredimensionados se reemplazaron por aparatos de medidas de $1\frac{1}{2}$ ".

El Análisis de subcontaje y/o sobredimensionamiento de medidores de $\frac{3}{4}$ ", 1" y 2" de manera colaborativa entre equipos de trabajo; sinergia de procesos de Acuacar y transferencia de conocimiento bajo el método propio de la investigación y apoyado en el procedimiento de resiliencia abordado por Mendoza-Betin (2021b) brindó derivaciones prácticas. De facto, a la fecha de cierre de la investigación, este es el resultado:

(i) Análisis de subcontaje para medidores de $\frac{3}{4}$ " y 1" en la etapa de diagnóstico y pronóstico. Se determinó que los contadores calibrados de $\frac{3}{4}$ " presentaron un error global promedio de 41.93%, mientras que los de 1" el subcontaje fue de 27.16%. De otro lado, se determinó también que el % global de No conformidad en aparatos de medida de $\frac{3}{4}$ " es de 47% y en contadores de 1" es de 68%.

(ii). Veinte (20, 2%) clientes con medidores de 2" presentaron sobredimensionamiento de una población de 846, con lo cual se redujo su tamaño a contadores de $1\frac{1}{2}$ "; veinte (20, $\approx 1\%$) usuarios que usaban medidores de 1" se disminuyeron a $\frac{3}{4}$ " de una población de 2.857, y finalmente, 64 ($\approx 1\%$) aparatos de medida de $\frac{3}{4}$ " de una población de 8.484, presentaron subcontaje global promedio del 37.5%, los que se repusieron por nuevos de igual diámetro.

Con base a lo anterior, dentro de los siguientes pasos para Acuacar se ubica: reemplazar al menos el 20% del parque de medidores, al igual que diseñar los perfiles de consumo y tablas de caudales de contadores de $\frac{3}{4}$ ", 1" y 2" a fin de que el proceso de Soporte de Gestión Técnica cuente con un nuevo método de dimensionamiento de aparatos de medidores bajo dichos diámetros a Instalar en la ciudad.

Limitaciones y futuras investigaciones

Esta investigación presenta las siguientes limitaciones. En este punto, es evidente que el proyecto presenta un porcentaje de avance significativamente bajo con respecto a la población de contadores. A pesar de las limitaciones y desafíos

iniciales, es crucial mantener una perspectiva optimista y estar enfocados en los siguientes pasos sobre todo que analizado el avance con deferencia a la muestra deliberada los resultados son pertinentes. El bajo progreso actual se atribuye a varios factores, como la falta de recursos lo que conlleva a implementar una muestra inicial deliberada de 21 casos, muy distante de la muestra estadística resultante de 245 unidades de análisis. Sin embargo, la muestra intencional entregó datos clave del fenómeno para comprenderlo mejor, lo cual fue determinante para ampliar el estudio.

Dentro de otras constricciones, se hace necesario mencionar imposibilidades, tales como: tubería en terraza, oposición del usuario, predios cerrados, zona insegura, menor en casa, entre otras, lo que hace que la reposición no sea eficaz comparándose con otros diámetros de medidores

(e.g. contadores de $\frac{1}{2}$ "). El tiempo es una variable que considerar porque proporciona conocimiento relacionado con la gestión del tiempo, la planificación, la gestión de riesgos, la comunicación y la optimización de procesos con los clientes en etapas posteriores del proyecto.

Finalmente, se generaron tensiones con los usuarios y/o clientes, porque gestionar el proyecto implicó realizar actividades similares en diferentes lapsos: analizar primero el subcontaje y después el sobredimensionamiento, o viceversa, especialmente en medidores de 1", puso a prueba una serie de problemas y desafíos que podían afectar negativamente el éxito del proyecto, especialmente la etapa 3. Otra lección aprendida es que el componente social juega un papel importante en las etapas previas a la implementación del proyecto.

Referencias

- Arregui de la Cruz, F. (1999). Propuesta de una metodología para el análisis y gestión del parque de contadores de agua en un abastecimiento. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Arregui de la Cruz, F., García-Serra Garcia, J., López Patiño, G. y Martínez Solano, J. (1998). Metodología para la evaluación del error de medición de un parque de contadores. Ingeniería del Agua, 5(4), 55-66.
- Arregui de la Cruz, F., Cabrera-Rochera, E. y Cobacho-Jordán, R. (2007). Gestión Integral de Contadores de Agua. España: Instituto Tecnológico del Agua - Universidad Politécnica de Valencia.
- Bastidas-Delgado, D. (2009). Caracterización y Estimación de Consumos de Agua de Usuarios Residenciales. Caso de Estudio: Bogotá. Tesis de Maestría. Universidad de los Andes, Colombia.
- Barfuss, S.L., Johnson, M.C. and Nielsen, M.A. (2011). Accuracy of In-service Flow Meters at Low and High Flow Rates. Water Research Foundation. ISBN 978-1-60573-148- 3.
- Benavides, O. (2003). Aspectos Técnicos del Índice de Agua No Contabilizada en Colombia. Tesis de Grado. Universidad de los Andes, Colombia.
- Colado-Dominguez, M. (2012). Evaluación del error global de medición de contadores domésticos nuevos. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Cuellar-Lozano, A. y Ruano-Ceron, C. (2011). Comparación de los sistemas de medición de agua potable en los sectores comercial, industrial e institucional de la ciudad de Guadalajara de Buga con base en un muestreo de tipo estratificado. Tesis de Grado. Universidad del Valle, Colombia.
- Escandon-Beltran, V. y Sierra-Garcia, B. (2018). Parámetros metrológicos asociados en la calibración de un medidor de agua potable de clase metrológica R160 15 mm. Tesis de Grado. Universidad de Cartagena, Colombia.
- Hidrantal, Centro de Investigación y Desarrollo, (2003). Proyecto: Determinación del Volumen de Agua No Registrado por el Uso de Medidores Clase B en el Parque de Medidores de Sedapal de Lima (Perú).

- Lopez-Molina, N. (2021). Control del agua no registrada. Metodología para una correcta aplicación. Trabajo de investigación teórico. Asociación española de abastecimientos de agua y saneamiento – AEAS.
- Mahecha-Rico, J. (2013). Caracterización de las pérdidas hidráulicas y financieras del parque de medidores en el área urbana de la ciudad de Tunja. Tesis de Maestría. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Manco-Silva, D., Guerrero-Erazo, J. y Ocampo Cruz-A. (2012). Eficiencia en el Consumo de Agua de uso Residencial. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 11(21), 23-38.
- Mercedes-Garcia, A. (2020). Estudio del comportamiento metrológico de los contadores de agua bajo un régimen de funcionamiento variable. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Mendoza-Betin, J. A. (2019). Capacidades Dinámicas y Rentabilidad Financiera: Análisis desde una perspectiva ecléctica en empresas de Saneamiento Básico de Cartagena. Tesis doctoral. Universidad Internacional Iberoamerica, Mexico.
- Mendoza-Betin, J.A. (2021a). Transferencia de conocimiento: el caso del grupo Suez y Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. “Acuacar”. Project Design and Management, 3(2). <https://doi.org/10.35992/pdm.v3i2.949>.
- Mendoza-Betin, J.A. (2021b). Resiliencia Empresarial: análisis empírico de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. Revista Científica Anfibia, 4(1). <https://doi.org/10.37979/afb.2021v4n1.80>.
- Ramos-Joseph, M., Socarrás-Ordaz, R. y León-Méndez, A. (2019). Patrones de consumo doméstico de agua: primer resultado en la Empresa Aguas de La Habana. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 40(1), 3-16.
- Arregui de la Cruz, F. (1999). *Propuesta de una metodología para el análisis y gestión del parque de contadores de agua en un abastecimiento*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Arregui de la Cruz, F., García-Serra Garcia, J., López Patiño, G. y Martínez Solano, J. (1998). Metodología para la evaluación del error de medición de un parque de contadores. *Ingeniería del Agua*, 5(4), 55-66.
- Arregui de la Cruz, F., Cabrera-Rochera, E. y Cobacho-Jordán, R. (2007). *Gestión Integral de Contadores de Agua*. España: Instituto Tecnológico del Agua - Universidad Politécnica de Valencia.
- Bastidas-Delgado, D. (2009). *Caracterización y Estimación de Consumos de Agua de Usuarios Residenciales. Caso de Estudio: Bogotá*. Tesis de Maestría. Universidad de los Andes, Colombia.
- Barfuss, S.L., Johnson, M.C. and Nielsen, M.A. (2011). *Accuracy of In-service Flow Meters at Low and High Flow Rates*. Water Research Foundation. ISBN 978-1-60573-148- 3.
- Benavides, O. (2003). *Aspectos Técnicos del Índice de Agua No Contabilizada en Colombia*. Tesis de Grado. Universidad de los Andes, Colombia.
- Colado-Dominguez, M. (2012). *Evaluación del error global de medición de contadores domésticos nuevos*. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Cuellar-Lozano, A. y Ruano-Ceron, C. (2011). *Comparación de los sistemas de medición de agua potable en los sectores comercial, industrial e institucional de la ciudad de Guadalajara de Buga con base en un muestreo de tipo estratificado*. Tesis de Grado. Universidad del Valle, Colombia.
- Escandon-Beltran, V. y Sierra-Garcia, B. (2018). *Parámetros metrológicos asociados en la calibración de un medidor de agua potable de clase metrológica R160 15 mm*. Tesis de Grado. Universidad de Cartagena, Colombia.

- Hidrantal, Centro de Investigación y Desarrollo, (2003). *Proyecto: Determinación del Volumen de Agua No Registrado por el Uso de Medidores Clase B en el Parque de Medidores de Sedapal de Lima (Perú)*.
- Lopez-Molina, N. (2021). *Control del agua no registrada. Metodología para una correcta aplicación*. Trabajo de investigación teórico. Asociación española de abastecimientos de agua y saneamiento – AEAS.
- Mahecha-Rico, J. (2013). *Caracterización de las pérdidas hidráulicas y financieras del parque de medidores en el área urbana de la ciudad de Tunja*. Tesis de Maestría. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Manco-Silva, D., Guerrero-Erazo, J. y Ocampo Cruz-A. (2012). Eficiencia en el Consumo de Agua de uso Residencial. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 11(21), 23-38.
- Mercedes-Garcia, A. (2020). *Estudio del comportamiento metrológico de los contadores de agua bajo un régimen de funcionamiento variable*. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Mendoza-Betin, J. A. (2019). *Capacidades Dinámicas y Rentabilidad Financiera: Análisis desde una perspectiva ecléctica en empresas de Saneamiento Básico de Cartagena*. Tesis doctoral. Universidad Internacional Iberoamerica, Mexico.
- Mendoza-Betin, J.A. (2021a). Transferencia de conocimiento: el caso del grupo Suez y Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. “Acuacar”. *Project Design and Management*, 3(2). <https://doi.org/10.35992/pdm.v3i2.949>.
- Mendoza-Betin, J.A. (2021b). Resiliencia Empresarial: análisis empírico de Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. *Revista Científica Anfibios*, 4(1). <https://doi.org/10.37979/afb.2021v4n1.80>.
- Ramos-Joseph, M., Socarrás-Ordaz, R. y León-Méndez, A. (2019). Patrones de consumo doméstico de agua: primer resultado en la Empresa Aguas de La Habana. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(1), 3-16.