

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón
Azogues



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i4.1478>

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de investigación

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

Design of a methodology to control drinking water losses for the upper area of the canton Azogues

Desenho de metodologia para controle de perdas de água potável na parte alta do cantão de Azogues

Juan Carlos García Flores ^I
juangarciaf_20@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8958-1475>

***Recibido:** 29 de agosto de 2020 ***Aceptado:** 25 de septiembre de 2020 * **Publicado:** 19 de Octubre de 2020

- I. Ingeniero Civil. Estudiante de la Maestría Profesional en Construcciones con Mención en Administración de la Construcción Sustentable. Jefatura de Posgrados. Universidad Católica de Cuenca, Cuenca.

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

Resumen

Un problema presente actualmente a nivel mundial, y de manera específica en la zona alta de la ciudad de Azogues, para las empresas distribuidoras de agua potable a la población, es la pérdida existente de este líquido vital, la misma que sobrepasa los rangos permisibles y genera diferencias considerables en los costos empleados para su producción versus su recuperación por recaudación. Para resolverlo, el presente artículo detalla una metodología para el control de pérdidas, a través de la observación científica y trabajos de campo, que permitieron medir caudales en los tanques de reserva y tuberías de distribución, medir presiones, analizar datos de macromedición y micromedición, etc. Información que permitió analizar las causas más fuertes que generan este problema y mediante el uso de herramientas detalladas en el documento determinar como principal conclusión que la falla más acentuada para que el índice de pérdidas de agua potable sea elevado, es el control de la micromedición, siendo indispensable tomar las acciones necesarias para poder revisar, controlar y mejorar la medición del consumo intradomiciliario.

Palabras claves: Control de pérdidas; micromedición; macromedición; pérdidas físicas; pérdidas comerciales.

Abstract

A problem currently present worldwide, and specifically in the upper area of the city of Azogues, for companies that distribute drinking water to the population, is the existing loss of this vital liquid, the same that exceeds the permissible ranges and generates considerable differences in the costs used for its production versus its recovery by collection. To solve it, this article details a methodology for the control of losses, through scientific observation and field work, which made it possible to measure flows in the reserve tanks and distribution pipes, measure pressures, analyze macro and micro-measurement data, etc. Information that allowed us to analyze the strongest causes that generate this problem and through the use of tools detailed in the document to determine as the main conclusion that the most accentuated failure for the rate of drinking water losses to be high, is the control of micro-measurement, It is essential to take the necessary actions to be able to review, control and improve the measurement of domestic consumption.

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

Keywords: Loss control; micro-measurement; macro measurement; physical losses; business losses.

Resumo

Um problema hoje presente a nível mundial, e especificamente na zona alta da cidade de Azogues, para as empresas que distribuem água potável à população, é a perda existente deste líquido vital, o mesmo que ultrapassa os limites permitidos e gera diferenças consideráveis nos custos de sua produção versus sua recuperação por coleta. Para resolvê-lo, este artigo detalha uma metodologia de controle de perdas, por meio de observação científica e trabalho de campo, que possibilitou medir vazões nos tanques de reserva e dutos de distribuição, medir pressões, analisar dados de macro e micro-medição etc. Informações que nos permitiram analisar as causas mais fortes que geram este problema e, utilizando as ferramentas detalhadas no documento, determinar como principal conclusão que a falha mais acentuada para que o índice de perdas de água potável seja elevado é o controle da micromedição, É essencial tomar as medidas necessárias para poder rever, controlar e melhorar a medição do consumo interno.

Palavras-chave: Controle de perdas; micro-medição; medição macro; perdas físicas; perdas de negócios.

Introducción

En la actualidad, estudios demuestran que cada año más de 32 mil millones de metros cúbicos de agua tratada son disipadas en todo el mundo, debido a fugas en redes de distribución. Además, el ahorro de la mitad de esta pérdida, suministraría agua a 100 millones de personas. Este problema genera, además, una reducción de ganancias para los servicios públicos, por lo tanto, reducir las pérdidas de agua es un gran desafío social y económico (1). A nivel mundial, se estima la disponibilidad de agua promedio anual, en 1 386 billones de hectómetros cúbicos (hm³), de ésta, 35 billones de hm³ son agua dulce (2.5%), del agua dulce, el 70% no están disponibles por encontrarse en glaciares, nieve, hielo, etc.; además, 10.5 millones de hm³ se encuentran como agua subterránea, y, solamente 0.14 billones de hm³ se encuentran en lagos, ríos, humedad en suelo y aire, humedales y plantas (2).

En nuestro planeta viven más de 7.700 millones de personas, de las cuales 2.100 millones (3 de cada 10) carecen de acceso a abastecimiento de agua; de estos, 844 millones no tienen ni siquiera

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

servicio básico de agua potable, unos 4000 millones de personas, casi dos tercios de la población mundial, padecen escasez grave de agua durante al menos un mes al año. Además, 4.500 millones de personas (6 de cada 10) no disponen de un saneamiento seguro; de los 4500 millones de personas sin servicio de saneamiento gestionado de manera segura, 2300 millones aún carecen de saneamiento básico (3). El 34% de toda el agua mundial es agua no contabilizada, y es un problema que varía según la región. En América Latina, el índice de agua no contabilizada es difícil de calcular, dado el bajo grado de medición, se ha estimado que las pérdidas se encuentran entre el 55% y 65%. Ecuador, tuvo una tasa de agua no contabilizada que va desde 30% hasta 60%, para el año 2015, lo que representa una pérdida de \$100 millones de dólares para el país. Los diversos beneficios obtenidos como resultado de reducir la pérdida de este líquido vital, comienzan con la reducción de los costos de producción de agua potable y siguen con la disposición de mayores suministros de agua, de que haya menos presiones sobre los recursos hídricos locales, una mayor eficiencia operativa y ahorros de varios otros tipos (4).

El agua no contabilizada en un sistema de distribución, significa la diferencia que existe entre la medición de la cantidad de agua suministrada al sistema de distribución y el volumen de agua considerado como base para la facturación y cobro de servicios. Los sistemas públicos de provisión de agua potable tratan y distribuyen billones de galones de agua potable cada día. En un mundo perfecto en el que las tuberías nunca perdieran, el volumen total de agua debería ser igual al volumen de agua que llega, y que sería facturado con precisión a sus consumidores; sin embargo, esto nunca ocurre, la diferencia de volumen producido con el volumen facturado se llama agua no contabilizada.

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Azogues (EMAPAL EP) nace por la decisión mayoritaria del Ilustre Concejo Municipal, en sesión efectuada el 30 de marzo de 1974, mediante la expedición de la Ordenanza Nro. 13, iniciando sus actividades en forma absolutamente independiente el 1 de agosto de 1974. EMAPAL EP es una Empresa Pública Municipal de servicio domiciliarios de agua potable, alcantarillado y saneamiento ambiental, en superación continua, respetuosa con el medio ambiente, para mejorar la calidad de vida de los habitantes del Cantón Azogues (5).

El objetivo fundamental de esta investigación fue el de desarrollar una metodología para el control de pérdidas, mediante el análisis de las causas que provocan la no contabilización de agua

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

potable en la zona alta de la ciudad de Azogues, que permita la mitigación de fugas de este líquido vital y el aumento de ingresos económicos para EMAPAL EP, para su cumplimiento se siguió investigación de tipo aplicada, longitudinal y descriptiva; utilizando como método el de la observación científica.

Por último, el artículo presenta una innovación en el área de administración de la construcción sustentable, en virtud de que proyectos de esta índole no han sido desarrollados en nuestra localidad, ni tampoco en la Zona 6, siendo su principal conclusión que el porcentaje de pérdidas de agua potable en la zona alta del cantón Azogues, no se encuentra dentro de los rangos permisibles, demostrándose que la falla más acentuada se encuentra en el control de la micromedición.

Metodología

Para cumplir con los objetivos planteados en el proyecto, determinando de esta manera una metodología adecuada para el control de pérdidas en la zona alta de la ciudad de Azogues, se realizó una investigación de carácter científico, con la técnica investigativa de la observación y el trabajo de campo, siguiendo la estructura metodológica que se detalla a continuación:

- Se inició con la revisión de literatura y estado del arte, para determinar adecuadamente los conceptos fundamentales y trabajos actuales, relacionados a la temática del proyecto.
- Una vez estudiada la literatura, se determinó el caudal de ingreso a las reservas que abastecen a la zona alta del cantón Azogues, a través de aforos volumétricos a diferentes horas, mediante la utilización de piezómetros, tomando lecturas cada 5 minutos, con las válvulas de salida totalmente cerradas, por un periodo de 30 minutos aproximadamente, este procedimiento se repitió a diferentes horas del día.
- Luego, se realizaron pruebas de abastecimiento, las mismas que consistieron en realizar lecturas de los niveles de las reservas con la ayuda de los piezómetros, cada 10 minutos y durante 72 horas consecutivas. Con la ayuda de un caudalímetro portátil, se pudo medir los caudales puntuales de salida del tanque de reserva en horas de la mañana (de 09H30 a 10H30) y en horario nocturno (de 23H00 a 00H30).
- Inmediatamente, se obtuvo la descripción general y estado físico de la red de distribución existente, a través de la técnica del trabajo de campo, apreciando que los diámetros

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

predominantes fueron de 200, 160, 110 y 63 mm, respectivamente, y, que el material de todas las tuberías es PVC. El estado físico de las tuberías se encontró, por lo general, en buen estado, no presentó corrosión y acortamiento en su parte exterior por agresiones del suelo, esto se pudo observar en tramos de tuberías que han sido sacados para reparaciones. Además, porque la tubería en su mayor parte es nueva, en virtud de que EMAPAL EP contrató a varios profesionales para que cambien las redes que ya estaban obsoletas. Las tuberías se encuentran instaladas a profundidades más o menos variadas, desde 0.80 a 1.20 m, siendo frecuente la profundidad de 1.00 m hasta la clave. El área de cobertura de la red de distribución existente de toda la Zona Alta de la ciudad de Azogues es de aproximadamente 123.50 Ha.

- Para la evaluación de la red de distribución, una de las primeras tareas realizadas fue el catastro de sus instalaciones; con ayuda del personal que trabaja en el respectivo departamento, se logró actualizar el plano de la red. En dichos planos consta toda la red existente con detalles respecto a sus diámetros, así como la localización de las válvulas y los hidrantes de acuerdo a su ubicación. Luego de realizar el recorrido total por toda la red de distribución, catastrando y operando las válvulas existentes, se pudo realizar un pre trazado de 3 sectores y 12 subsectores por cada una de las redes, encontrándose que se debe realizar la instalación de válvulas, necesarias para lograr la subsectorización propuesta.
- Para verificar el buen funcionamiento de la sectorización se realizaron dos pruebas preliminares:
- Prueba de presión cero. - Esta prueba se realizó cerrando todas las válvulas del límite del subsector, quedando sin agua únicamente el área encerrada entre las válvulas, mientras que el resto de sectores si se quedan con servicio.
- Prueba de abastecimiento. - Luego de la prueba de presión cero, se dejaron cerradas todas las válvulas del límite y sólo se abrió la que controla el agua que pasa por la tubería donde se va a realizar la prueba.
- La prueba de presión cero sirve básicamente para reparaciones en la red, ya no se tiene que cerrar a toda la zona alta cuando existen fugas, sino, que únicamente se cierra el sector donde está el daño, mientras que el resto de la red si tiene servicio.

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

- La prueba de abastecimiento permite dar servicio a un sector por una sola tubería, facilitando el control del mismo y midiendo el caudal de ingreso a ese sector.
- Una vez realizado esto, se procedió a realizar el método necesario para conocer las horas de servicio y con qué presión son abastecidos los diferentes sectores de la ciudad. Para esto, el control de presiones en la red de distribución de la zona alta se realizó con la utilización de manómetros metálicos, con diferentes escalas de trabajo, cuyas lecturas se realizan en PSI; los puntos de muestreo se localizan en los domicilios, en la llave más cercana a los sitios por donde pasa la red de distribución. Como complemento del estudio de presiones en la red de distribución, se colocaron registradores continuos de presión en puntos estratégicos de la red, los cuales verifican los valores tomados con los manómetros manuales. Los registradores continuos recopilaban datos de la presión que se produce en un domicilio, durante las 24 horas del día, los 7 días de la semana, instalando una salida de agua en cualquier lugar de la casa en estudio.
- Dentro del control de agua no contabilizada, se verificó y comprobó la exactitud con que se marca el consumo de cada usuario, para poder obtener un cierto porcentaje de sobre o submedición y saber cómo incide en el porcentaje de pérdidas en el sistema de agua potable.
- Para la revisión de esta actividad, se procedió a retirar 30 medidores domiciliarios de diferentes sectores de la zona alta de la ciudad, para ser probados en el banco de pruebas de la empresa EMAPAL EP.
- Después, se procedió a la medición de caudales y detección de sectores críticos, con la utilización de caudalímetros portátiles, a través del cierre secuencial de los subsectores para la localización de zonas críticas de la red. La principal actividad para el éxito de la prueba consistió en localizar el sitio donde implantar las estaciones para la medición de caudales por subsectores. En la zona alta de la red de distribución, se ubican tres estaciones para el control de los caudales, para efectos de este trabajo, se realiza el cierre secuencial de los subsectores para la localización de zonas críticas de la red. Primero, cerramos el subsector más alejado y terminamos la prueba cerrando el subsector más cercano a la estación de medición de caudales. Los valores registrados en esta prueba son puntuales, es decir, se mide el caudal que al momento está circulando por la tubería en

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

estudio, y, se espera alrededor de unos 30 minutos en cada cierre de subsector hasta que se normalice el caudal.

- Para poder realizar las pruebas, es necesario que todas las válvulas estén en perfecto estado de funcionamiento con sus respectivas cajas y tapas de protección.
- Una vez concluidos los procesos anteriores, se realizó la comparación con la micromedición; con la información proporcionada por el Departamento de Sistemas, se pudieron recopilar las lecturas de los medidores de la zona alta de la ciudad, de todo el año 2019. Todos los datos de las lecturas de los medidores de sus usuarios, fueron procesados, siendo necesario la clasificación de consumidores por cada uno de los subsectores en los que se pudo subdividir a esta red de distribución. Este trabajo fue sumamente minucioso ya que el departamento que maneja estos datos no tiene realizada la clasificación por redes sino por calles o vías.
- Con estos datos, se efectuó la comparación de la macromedición con la micromedición, de acuerdo a las mediciones de caudales y al resumen de las lecturas de los medidores, mediante el que se pudieron identificar los sectores con problemas de pérdidas elevados y sus porcentajes.
- Paralelamente a la prueba de cierre secuencial y medición de caudales por sectores, se procedió a efectuar el geofonamiento nocturno de las tuberías matrices y conexiones domiciliarias, con el objeto de detectar fugas no visibles que encarecen el abastecimiento de agua con la utilización de un geófono electrónico. Se realizaron recorridos por la red de distribución en horas nocturnas para evitar la interferencia con otros ruidos, especialmente los del tráfico vehicular.
- Por último, se cuantificó el índice de pérdidas totales, a través de análisis comparativos entre la macromedición y micromedición, caracterización de los usos del agua, análisis de altos consumidores y datos de usos autorizados.

Resultados

El caudal de ingreso al tanque, en litros por segundo, se obtuvo luego de varios aforos volumétricos. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos en estas mediciones en la zona de estudio:

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

Tabla 1. Caudal de ingreso a la reserva

TANQUE DE RESERVA	CAUDAL DE INGRESO
Zona Alta	22.32 l/s

A continuación, como se observa en la figura 1, en las pruebas de abastecimiento en los niveles de las reservas, desde el 26 hasta el 29 de febrero de 2020, se obtuvieron los siguientes datos:

Caudal mínimo del periodo: 7.91 l/s (01:00 AM del 29 de febrero)

Caudal máximo del periodo: 34.41 l/s (06H00 AM del 28 de febrero)

Caudal medio del periodo: 22.60 l/s.

Caudal mínimo horario: 11.94 l/s (01H00 AM).

Caudal máximo horario: 29.76 l/s (07H00 AM).

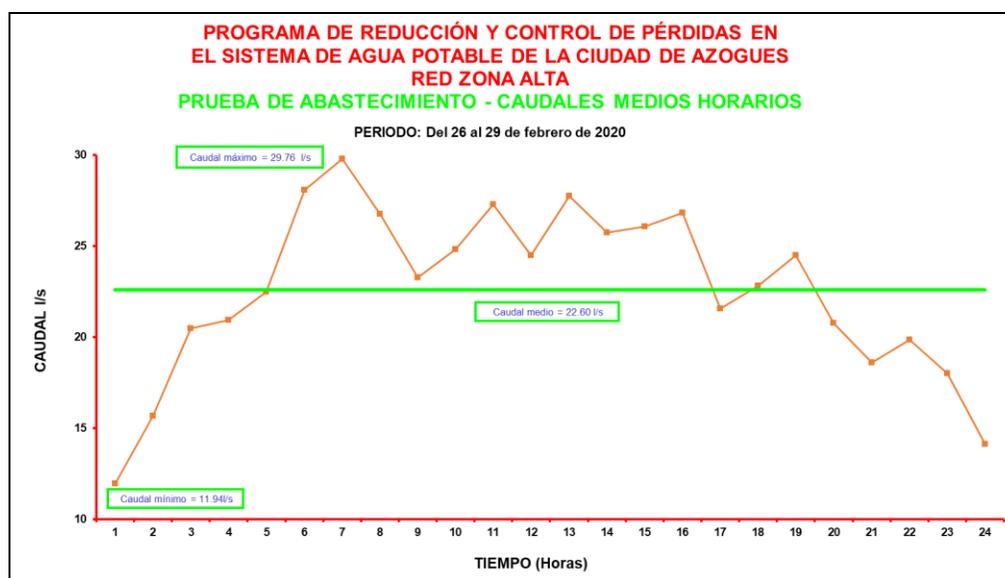


Figura 1. Caudales medios horarios

La tabla 2, detalla la sectorización y subsectorización, de la zona alta de la ciudad de Azogues, en donde se realizó el recorrido de la red de distribución y se obtuvieron los datos referentes a diámetros y estado de las tuberías, así como también, este recorrido permitió conocer la

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

profundidad de la instalación de las tuberías, y el área total de cobertura de la mencionada red de distribución. Teniendo como resultado además que la sectorización cuenta con TRES sectores y DOCE subsectores, con su respectiva área de aporte.

Tabla 2. Sectorización y subsectorización de la red de distribución

No. DE SECTOR	No. DE SUBSECTORES	ÁREA DE APORTE (Ha)
1	ZA - 01	13.76
	ZA - 02	9.16
	ZA - 07	6.50
	ZA - 08	2.95
2	ZA - 03	5.74
	ZA - 04	12.18
	ZA - 05	11.20
	ZA - 06	37.78
3	ZA - 09	6.12
	ZA - 10	6.32
	ZA - 11	3.87
	ZA - 12	7.88
ÁREA TOTAL		123.46

Para continuar con la obtención de resultados y datos que permitan planificar adecuadamente la metodología para el control de pérdidas, se verificó el buen funcionamiento de la sectorización de

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

las diferentes redes de distribución, entrando aquí los procesos mencionados en la sección número dos del artículo, prueba de presión cero, y, prueba de abastecimiento. Al realizar este proceso se logró identificar que las mismas resultaron totalmente satisfactorias para todos los subsectores en los que se ha podido dividir a la red de distribución. La tabla 3 detalla el barrido de presiones de la red de distribución, con sus valores promedios obtenidos, parte fundamental de un programa de reducción y control de pérdidas, que constituyó en el conocimiento de las horas de servicio y con qué presión son abastecidos los diferentes sectores de la ciudad.

Tabla 3. Barrido de presiones de la red de distribución

No. DE SUBSECTORES	PRESIÓN (PSI)
ZA 01 y 02	40
ZA 03 y 04	65
ZA 05 y 06	105
ZA 07 y 08	90
ZA 09 y 10	70
ZA 11 y 12	110

En la tabla 4, se presenta la interpretación de los datos obtenidos, en PSI, por los registradores continuos, siendo estos los siguientes:

Registrador No. 1. Presión menor es de 28 PSI y la mayor de 62 PSI, la presión media del periodo es de 41.54 PSI.

Registrador No. 2: Presión menor es de 20 PSI y la mayor de 140 PSI, la presión media del periodo es de 105.16 PSI.

Registrador No. 3: Presión menor es de 76 PSI y la mayor de 106 PSI, la presión media del periodo es de 88.35 PSI.

Registrador No. 4: Presión menor es de 52 PSI y la mayor de 66 PSI, la presión media del periodo es de 60.72 PSI.

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón
 Azogues

Como resultado final se obtuvo que el porcentaje de submedición de este muestreo es de -0.14%. Existen un total de 6 medidores (19.35%), que están en mal estado, no tienen los acoples para poder realizar las pruebas de exactitud, 2 medidores están totalmente descalibrados, 10 medidores (32.26%), han cumplido su vida útil; en virtud de que no se puede obtener los valores del gasto en las pruebas de bajo, medio y alto consumo. En total son 18 medidores (58.06%), que están en mal estado, valor bastante significativo, que predice que se tendrá que realizar un chequeo general de todos los medidores.

En este punto, también se ejecutó un estudio de caudales, con la utilización del caudalímetro electrónico, obteniéndose los datos, mostrados igualmente en la tabla 4. Para obtener una alta precisión en la toma de datos, estas pruebas se realizaron a partir de las 23 horas, en vista de que el consumo es mínimo y no existe la interferencia de tráfico vehicular y peatonal

Tabla 4. Consumos en los subsectores

Prueba Nro. 1, estación 1		Prueba Nro. 2, estación 2		Prueba Nro. 3, estación 3	
SUBSECTORES	CONSUMO en l/s	SUBSECTORES	CONSUMO en l/s	SUBSECTORES	CONSUMO en l/s
Caudal a toda la zona 3:	6.4	Caudal a toda la zona 2:	3	Caudal a toda la zona 1:	2.9
Subsectores ZA - 12	0.8	Subsectores ZA - 06	0.9	Subsectores ZA - 08	0.6
Subsectores ZA - 11	2	Subsectores ZA - 05	0.3	Subsectores ZA - 07	0.8
Subsectores ZA - 10	3.5	Subsectores ZA - 04	1.6	Subsectores ZA - 02	0.9
Subsectores ZA - 09	0.1	Subsectores ZA - 03	0.2	Subsectores ZA - 01	0.6

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón
 Azogues

En la tabla 5, a manera de resumen, se presentan los datos adquiridos en las lecturas de medidores de la zona en estudio, del año 2019, información sumamente importante para controlar pérdidas de la empresa, a través de la macro y micromedición.

Tabla 5. Consumos micromedición

Subsector	Nro. de usuario	Q micromedidor		Consumo/us	Dotación
		m3/mes	l/s	uario	(l/hab/día)
	sin ceros			m3/mes/ usuario	sin ceros
ZA 01	119	2,310.92	0.88	19.42	167.57
ZA 02	189	3,944.58	1.50	20.87	180.10
ZA 03	107	2,469.25	0.94	23.08	199.13
ZA 04	177	2,882.33	1.10	16.28	140.52
ZA 05	122	2,070.92	0.79	16.97	146.48
ZA 06	43	736.58	0.28	17.13	147.81
ZA 07	136	3,110.67	1.18	22.87	197.37
ZA 08	81	1,609.00	0.61	19.86	171.41
ZA 09	128	3,580.25	1.36	27.97	241.36
ZA 10	168	3,695.46	1.41	22.00	189.81
ZA 11	99	2,079.25	0.79	21.00	181.23
ZA 12	150	3,083.83	1.17	20.56	177.40
Suma	1,519	31,573.05	12.0		

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón
 Azogues

			1		
Promedio				20.67	178.35

Discusión

El número total de usuarios fue de 1,519; el caudal promedio de consumo, de 12.01 l/s; el promedio de consumo por usuario, de 20.67 m³/mes/usuario; y, la dotación media, de 180 l/hab/día.

De acuerdo a las mediciones de caudales, y al resumen de las lecturas de los medidores, se obtiene la comparación de caudales, detallada en la tabla 6, y calculada de la siguiente manera:

Cálculo del Número de Habitantes Totales y el Caudal Esperado:

Número total de conexiones domiciliarias = 1,519 (de acuerdo a las lecturas de los medidores enero a diciembre de 2019)

Número de habitantes por casa = 3.81.

La ecuación 1 indica cómo se obtiene el número total de habitantes con servicio de agua potable.

Habitantes con servicio de agua potable = 1,519 x 3.81 = 5,787 (1)

Para determinar el caudal esperado, multiplicamos el número de habitantes por la dotación de 180 l/hab/día (de acuerdo al cálculo de la dotación realizado por micromedición con lecturas de los medidores de enero a diciembre de 2019), como se muestra en la ecuación 2.

Caudal esperado = 5,787 x 180 = 12.06 l/seg. (2)

De los cálculos de las lecturas de medidores, el caudal micromedido es de 12.01 l/s.

Como se observa, el caudal esperado es similar al micromedido.

El caudal promedio que sale desde el tanque de reserva, de acuerdo a la prueba de abastecimiento fue de 22.60 l/s.

Como puede apreciarse, los sectores con problemas de pérdidas elevados son el ZA 04, ZA 06, ZA 10 y ZA 11, dándonos las siguientes diferencias y porcentaje de pérdidas (tabla 7):

Tabla 7. Sectores con pérdidas elevadas

SUBSECTOR	DIFERENCIA DE Q (l/s)	% DE PÉRDIDAS
-----------	-----------------------	---------------

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón
 Azogues

ZA 04	0.50	31.25
ZA 06	0.62	68.89
ZA 10	2.09	59.71
ZA 11	1.21	71.18

En la tabla 8, se presenta un listado de válvulas que fueron revisadas con cierre hermético, con la ayuda del geófono electrónico. Además, se detallan recorridos de geofonamiento realizados por algunos sectores de la red de distribución para la localización de fugas que no aforan a la superficie, notándose que las tuberías matrices no presentan problemas de fugas.

Tabla 8. Resumen Geofonamiento Nocturno

DETECCIÓN DE FUGAS MEDIANTE GEOFONAMIENTO		
CIUDAD: Azogues - Provincia del Cañar		
FECHA: 4, 18 y 25 / 06 / 2020		
SECTOR: Zona Alta		
SUBSECTOR: 01, 02, 07 y 08		
FUGA N°	UBICACIÓN DE LA FUGA, SECTOR O DIRECCIÓN DE LA CASA MÁS CERCANA	LA FUGA SE ENCUENTRA EN:
	Comprobación de cierre hermético de válvulas:	
1	Bartolomé Serrano y Oriente (1 válvula)	No cierra bien
2	Huayna Cápac y 4 de Noviembre (1 válvula)	Aislada
3	Aurelio Jaramillo y José Joaquín de Olmedo (3 válvulas)	No cierra bien 1
4	Juan Montalvo y José Joaquín de Olmedo (3	No cierra bien 1

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

	válvulas)	
--	-----------	--

- **Cuantificación del índice de pérdidas**

Sin tomar en cuenta a los usuarios que tienen consumo de 0 m³/mes; el número total de usuarios fue de 1,519, que, con el promedio de 3.81 personas por casa, nos entregó un total de 5,787 habitantes permanentes distribuidos en la zona alta de la ciudad de Azogues.

El consumo promedio fue de 31,573.05 m³/mes o 1.038.02 m³/día o 12.01 l/s.

Consumo promedio por usuario: 20.67 m³/mes.

La dotación promedio fue de 178.35 l/hab/día.

- **Pérdidas Totales**

La dotación media se obtuvo del análisis de 12 meses de consumos en la zona alta. Siendo la dotación resultante de 180 l/hab/día.

Caudal de ingreso a red de distribución = 22.60 l/s.

El porcentaje de agua no contabilizada de los abonados que consumen el líquido dentro del área urbana es el siguiente:

La ecuación 3 nos permite obtener el caudal bien utilizado (Q.B.U.) = (Población servida * Dotación) / 86,400

$$Q. B. U. = (5,787 * 180) / 86,400 = 12.06 \text{ l/s. (3)}$$

La ecuación 4 nos indica el porcentaje de agua no contabilizada, el mismo que es igual a:

Agua no contabilizada = (Caudal producido - Caudal bien utilizado) / Caudal producido

$$A.N.C. = (22.60 - 12.06) * 100 / 22.60 = 46.64\% \text{ (4)}$$

- **Índice de pérdidas totales**

El índice total de pérdidas, tomando en cuenta todo el caudal distribuido y comparando con el caudal que se obtiene con las lecturas de los medidores, fue el siguiente:

Caudal total distribuido: 22.60 l/s a la salida de los tanques de reserva.

Del análisis de la micromedición, periodo de estudio de enero a diciembre de 2019, se obtuvo un promedio de consumo medido de 31,573.05 m³/mes = 12.01 l/s.

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

En la ecuación 5 se muestra el índice de pérdidas de agua potable, producto de la comparación entre el caudal total distribuido y el consumo promedio del análisis de la micromedición.

$$\% \text{ de Pérdidas} = (22.60 - 12.01) * 100 / 22.60 \text{ (5)}$$

$$\% \text{ de Pérdidas} = 46.86\%$$

Como se aprecia, por los dos métodos tenemos igual porcentaje de pérdidas, por último, se puede decir que el índice promedio de pérdidas de la zona alta fue de:

$$\% \text{ de Pérdidas} = 46.75\%$$

- **Análisis financiero**

De acuerdo al caudal total distribuido, 22.60 l/s, podemos obtener la cantidad de caudal distribuido en un mes, resultando una cantidad de 59,399.30 m³/mes.

El consumo promedio medido de la micromedición fue de 31,573.05 m³/mes.

El valor de producción por 1 m³ de agua es de 0.75 ctvs incluido el 30% de pérdidas y el valor residencial básico de venta, que, de acuerdo al pliego tarifario vigente es de \$ 6.13; valor que varía de acuerdo al consumo de cada usuario más costos extras por mantenimientos de alcantarillado y fuentes hídricas. Para este análisis asumimos el valor básico de venta de \$ 6.13.

La ecuación 6 nos muestra el costo total de producción (C.T.P) para la cantidad de caudal distribuido por parte de la empresa:

$$\text{C.T.P} = 59,399.30 * 0.6\text{ctvs} = \$ 35,639.58 \text{ (6)}$$

A continuación, calculamos el valor recaudado mensual (V.R.M) por la empresa de acuerdo a su consumo promedio medido de la micromedición, como se detalla en la ecuación 7.

$$\text{V.R.M} = 31,573.05 * 6.13\text{ctvs} = \$193,542.80 \text{ (7)}$$

Comparamos el costo total de producción con el valor de recaudación y obtenemos el valor de ingreso (V.I) que percibe la empresa, como se refleja en la ecuación 8.

$$\text{V.I} = \$193,542.80 - \$35,639.58 = \$157,903.22 \text{ (8)}$$

Si se redujera el índice de pérdidas de agua potable, de 46.75% a un 30%, que se encontraría dentro del rango permisible en Ecuador (4) , la comparación de la macromedición con la micromedición se redujera como se detalla a continuación:

$$\text{Caudal distribuido} = 59,399.30 \text{ m}^3/\text{mes.}$$

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

Al reducir el porcentaje de pérdidas a un 30%, se tiene como resultado que la cantidad de caudal distribuido tendría una diferencia del 30% con el caudal medido de la micromedición, como se muestra en la ecuación 9.

$$\text{Caudal medido micromedición} = 59,399.30 - (59,399.30 * 0.30) = 41,579.51 \text{ m}^3/\text{mes} \text{ (9)}$$

Ejecutamos el mismo análisis que se realizó anteriormente para determinar y comparar los costos totales de producción con los valores de ingreso por recaudación.

La ecuación 6 nos muestra el costo total de producción (C.T.P) para la cantidad de caudal distribuido por parte de la empresa:

$$\text{C.T.P} = 59,399.30 * 0.75\text{ctvs} = \$ 44,549.48 \text{ (6)}$$

A continuación, calculamos el valor recaudado mensual (V.R.M) por la empresa, de acuerdo al nuevo consumo promedio medido de la micromedición, asumiendo la reducción de pérdidas a un 30%, como se ilustra en la ecuación 7.

$$\text{V.R.M} = 41,579.51 * 6.13\text{ctvs} = \$254,882.40 \text{ (7)}$$

Comparamos el costo total de producción con el valor de recaudación y obtuvimos el valor de ingreso (V.I) que percibe la empresa, como se refleja en la ecuación 8.

$$\text{V.I} = \$254,882.40 - \$44,549.48 = \$ 210,332.92 \text{ (8)}$$

Como resumen podemos indicar que, al disminuir el porcentaje de pérdidas de agua potable, podemos incrementar el valor de ingreso recaudado mensual a la empresa prestadora de este servicio, detallado en la tabla 9.

Tabla 9. Comparación valor recaudación mensual

Pérdidas	Valor de recaudación mensual	
46.86 %	\$157,903.22	Ganancia con pérdidas elevadas
25 %	\$ 210,332.92	Ganancia disminuyendo las pérdidas en un 30%
Total	\$ 52,429.70	Ganancia

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues

Conclusiones

El proyecto permitió demostrar que el porcentaje final de agua no contabilizada en la zona alta de la ciudad de Azogues alcanza al 46.75%, encontrándose fuera de los rangos permisibles de pérdidas de agua potable a nivel mundial y dentro del Ecuador, ocasionado que la empresa de agua potable no pueda beneficiarse del caudal total de producción en su venta.

De manera general se ha demostrado en este proyecto que la falla más acentuada para que el índice de pérdidas sea elevado, es el control de la micromedición, por lo que se recomienda tomar las acciones necesarias para poder revisar y mejorar la medición del consumo intradomiciliario o la implementación de un software para el control de la micromedición con medidores inteligentes.

De los análisis realizados a la micromedición se desprende que se deberá realizar una campaña intensa de control de medidores, ya que un porcentaje mayoritario no reflejan el consumo real y están muy por debajo de los valores promedio de consumo. Al mismo tiempo se debe emprender una campaña de concientización a todos los niveles (primario, secundario y ciudadanía en general), para evitar el desperdicio del agua potable y concienciar a la ciudadanía en el buen uso del agua.

Finalmente, podemos indicar que al disminuir las pérdidas de agua potable de la zona alta del cantón Azogues, se genera un incremento económico para la empresa prestadora de este servicio, en virtud de que se recuperaría caudal y se podría aumentar el área de cobertura o servicio, provocando mayor ingreso por venta a la empresa de agua potable y la reducción de los costos por producción en ahorro de insumos químicos y cloro gas.

Referencias

1. Pillot J, Catel L, Renaud E, Augéard B, Roux P. Up to what point is loss reduction environmentally friendly? The LCA of loss reduction scenarios in drinking water networks. *Water Res.* 2016; 104:231–41.
2. Agua en el Mundo | Comisión Nacional del Agua | Gobierno | gob.mx [Internet]. [cited 2020 Aug 25]. Available from: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/agua-en-el-mundo>

Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón
Azogues

3. Día Mundial del Agua: Las cifras siguen siendo alarmantes [Internet]. [cited 2020 Aug 25]. Available from: <https://www.lavanguardia.com/natural/20190322/461164578761/dia-mundial-agua-2019-cifras.html>
4. Rosero-Armijo CD. Agua potable no contabilizada en el cantón Pangua y programa de control de pérdidas. 2019;134.
5. Quienes Somos [Internet]. [cited 2020 Aug 26]. Available from: http://www.emapal.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=87&Itemid=57

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).