



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MAGÍSTER EN: SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**TEMA: AGUA POTABLE NO CONTABILIZADA EN EL CANTÓN
PANGUA Y PROGRAMA DE CONTROL DE PÉRDIDAS**

AUTOR: ROSERO ARMIJO, CRISTIAN DAVID

DIRECTOR: ING. CARRERA VILLACRES, DAVID VINICIO, Ph.D.

SANGOLQUÍ

2019



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

i

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

Certifico que el trabajo de titulación, "AGUA POTABLE NO CONTABILIZADA EN EL CANTÓN PANGUA Y PROGRAMA DE CONTROL DE PÉRDIDAS" fue realizado por el señor Rosero Armijo, Cristian David el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 21 de diciembre de 2018

Ing. David Carrera V, Ph.D.
C.C.: 1712218518



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA CENTRO DE POSGRADOS

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Rosero Armijo, Cristian David con cédula de ciudadanía N° 0502260094, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: "AGUA POTABLE NO CONTABILIZADA EN EL CANTÓN PANGUA Y PROGRAMA DE CONTROL DE PÉRDIDAS" es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 21 de diciembre de 2018

Una firma manuscrita en tinta azul que dice "CRISTIAN ROSERO".

Cristian-David Rosero Armijo
C.C.: 0502260094



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA CENTRO DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN

Yo, Rosero Armijo, Cristian David, con C.C. N° 0502260094 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "AGUA POTABLE NO CONTABILIZADA EN EL CANTÓN PANGUA Y PROGRAMA DE CONTROL DE PÉRDIDAS" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad

Sangolquí, 21 de diciembre de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'CRISTIAN ROSERO', is written over a circular stamp. Below the signature, the name 'Cristian David Rosero Armijo' and the identification number 'C.C.: 0502260094' are printed.
Cristian David Rosero Armijo
C.C.: 0502260094

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por su infinito amor y por brindarme sabiduría en todos los días de mi vida.

A mis padres y hermana por inculcarme valores y por su apoyo incondicional, ya que han sido el pilar fundamental de mi vida.

A la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE que me abrió sus puertas para cumplir esta meta tan anhelada.

Al Ing. David Carrera V. PhD, por el gran aporte para realizar este trabajo de investigación.

A la Ing. Margarita Haro y al Dr. Darío Bolaños por su apoyo a este proyecto.

Al Sr. Juan Muñoz Solano Alcalde del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pangua por brindarme la oportunidad de laborar en tan noble institución y poder desarrollar este trabajo de titulación.

A mis compañeros y grandes amigos por valiosa amistad y conocimientos compartidos.

Cristian David

DEDICATORIA

A mis padres Kléber y Dora, que desde muy pequeño me inculcaron buenos valores y con su ejemplo de lucha y valor siempre han estado ahí dándome fuerzas para seguir adelante apoyándome incondicionalmente para cumplir mis sueños.

A mi hermana Karen por su cariño.

A toda mi familia: tías/os, primas/os, quiénes siempre me han brindado alegría en todo momento.

A mis amigos incondicionales.

Cristian David

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Identificación de la zona de estudio	2
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1. Pérdidas de agua potable	7
2.2. Tipos y clasificación de fugas	9
2.3. Detección y cuantificación de pérdidas técnicas de agua potable	12
2.4. Detección y cuantificación de pérdidas comerciales de agua potable	15
2.4.1. Volumen de consumo clandestino:	16
2.4.2. Volumen por error de medición:	16
2.4.3. Volumen no facturado por subestimación de consumo:	16
2.4.4. Problemas de la reducción de pérdidas agua	18
2.4.5. Características de la reducción de pérdidas	18
CAPÍTULO III	21
METODOLOGÍA	21
3.1. Recopilación y levantamiento de información del sistema de agua potable	21
3.2. Campañas de medición y registro de caudales producidos y facturados	21
3.3. Muestreo de errores de exactitud en la medición de micromedidores	24
3.4. Muestreo de ocurrencia de fugas en tuberías	25

3.4.1. Pérdidas técnicas inevitables	26
3.4.2. Pérdidas técnicas reales	26
3.4.3. Investigación de fugas en redes de distribución	27
3.5. Vinculación con acometidas domiciliarias para detectar irregularidades en el catastro de usuarios y conexiones clandestinas	32
3.6. Estimación de consumos medidos autorizados y no medidos autorizados	34
3.6.1. Estimación de consumos medidos autorizados	34
3.7. Balance hídrico y sectorización de redes	35
3.8. Diagnóstico y estimación de pérdidas potenciales totales	36
3.9. Determinación del índice de agua potable no contabilizada	37
CAPÍTULO IV	39
RESULTADOS	39
4.1. Información general levantada	39
4.1.1. Captación	39
4.1.2. Planta de tratamiento	43
4.1.3. Distribución	46
4.1.3.1. Tuberías antiguas existentes en las redes	48
4.1.3.2. Presiones de servicio	49
4.1.4. Conexiones domiciliarias	51
4.2. Evaluación de pérdidas técnicas	55
4.3. Evaluación de pérdidas comerciales	58
4.4. Gestión del sistema de agua potable	60
CAPÍTULO V	63
PROGRAMA DE CONTROL DE PÉRDIDAS	63
5.1. Subprograma comercial	63
5.1.1. Proyecto de instalación de micromedidores	63
5.1.1.1 Antecedentes	63
5.1.1.2 Justificación	64
5.1.1.3 Objetivo general	65
5.1.1.4 Objetivo específicos	65
5.1.1.5 Desarrollo	65

5.1.1.6. Conclusiones y recomendaciones.....	71
5.1.2. Proyecto de censo de usuarios y catastro de suscriptores	71
5.1.2.1. Antecedentes	71
5.1.2.2. Justificación.....	72
5.1.2.3. Objetivo general	72
5.1.2.4. Objetivos específicos.....	72
5.1.2.5. Desarrollo	72
5.1.2.6. Conclusiones y recomendaciones.....	84
5.1.3. Proyecto de detección y control de clandestinas	84
5.1.3.1. Antecedentes	84
5.1.3.2. Justificación.....	85
5.1.3.3. Objetivo general	86
5.1.3.4. Objetivos específicos.....	86
5.1.3.5. Desarrollo	86
5.1.3.6. Conclusiones y recomendaciones.....	92
5.2. Subprograma técnico	92
5.2.1. Proyecto de control de fugas visibles y no visibles.....	93
5.2.1.1. Antecedentes	93
5.2.1.2. Justificación.....	93
5.2.1.3. Objetivo general	93
5.2.1.4. Objetivos específicos.....	94
5.2.1.5. Desarrollo	94
5.2.1.6. Conclusiones y recomendaciones.....	99
5.2.2. Proyecto de catastro de redes del sistema de agua potable	100
5.2.2.1. Antecedentes	100
5.2.2.2. Justificación.....	101
5.2.2.3. Objetivo general	101
5.2.2.4. Objetivos específicos.....	101
5.2.2.5. Desarrollo	102
5.2.2.6. Conclusiones y recomendaciones.....	110

5.2.3. Proyecto de instalación de macromedidores	110
5.2.3.1. Antecedentes	110
5.2.3.2. Objetivo general	111
5.2.3.3. Objetivos específicos.....	111
5.2.3.4. Justificación.....	112
5.2.3.5. Desarrollo	113
5.2.3.6. Conclusiones y recomendaciones.....	121
5.2.4. Proyecto de sectorización de redes de distribución.....	121
5.2.4.1. Antecedentes	121
5.2.4.2. Objetivo general	122
5.2.4.3. Objetivos específicos.....	122
5.2.4.4. Justificación.....	122
5.2.4.5. Desarrollo	123
5.2.4.6. Conclusiones y recomendaciones.....	129
CAPÍTULO VI	130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	130
6.1. Conclusiones	130
6.2. Recomendaciones.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Volumen suministrado de agua potable</i>	10
Tabla 2. <i>Causas asociadas al origen de las pérdidas técnicas de agua</i>	13
Tabla 3. <i>Causa de pérdidas comerciales de agua por micromedición</i>	16
Tabla 4. <i>Causas de pérdidas comerciales por conexiones fraudulentas</i>	17
Tabla 5. <i>Pliego tarifario agua potable</i>	23
Tabla 6. <i>Medidores seleccionados para el análisis</i>	25
Tabla 7. <i>Índice de Illi</i>	37
Tabla 8. <i>Caudales captados aforados método volumétrico, diciembre 2017</i>	39
Tabla 9. <i>Caudales producidos en la planta de tratamiento (m³/mes) en el 2 017</i>	46
Tabla 10. <i>Presiones de servicio en las redes de distribución</i>	51
Tabla 11. <i>Caudales mensuales producidos y facturados año 2 017</i>	55
Tabla 12. <i>Cálculo de pérdidas inevitable</i>	56
Tabla 13. <i>Presiones y pérdidas de agua</i>	58
Tabla 14. <i>Prueba de ensayo de medidores</i>	59
Tabla 15. <i>Índice de agua no contabilizada</i>	60
Tabla 16. <i>Cálculo del índice estructural de fugas</i>	61
Tabla 17. <i>Cálculo de pérdidas de agua potable en m³ y dólares</i>	62
Tabla 18. <i>Especificaciones de medidores y caudal</i>	67
Tabla 19. <i>Especificaciones técnicas de medidores</i>	67
Tabla 20. <i>Presupuesto instalación de medidores</i>	70
Tabla 21. <i>Formulario del censo</i>	78
Tabla 22. <i>Cronograma de actividades</i>	83
Tabla 23. <i>Presupuesto y actividades</i>	83
Tabla 24. <i>Presupuesto y actividades</i>	92
Tabla 25. <i>Registro de fugas</i>	96
Tabla 26. <i>Presupuesto referencial fugas</i>	99
Tabla 27. <i>Ficha técnica catastro de agua potable</i>	105
Tabla 28. <i>Ficha Inventario de Tuberías</i>	106
Tabla 29. <i>Costos y personal requerido</i>	110
Tabla 30. <i>Tipo de medidores</i>	114
Tabla 31. <i>Presupuesto Instalación de macromedidores</i>	121
Tabla 32. <i>Presupuesto sectorización de redes de distribución</i>	128
Tabla 33. <i>Resumen presupuesto referencial de Planes de Mejora</i>	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona de estudio	3
Figura 2. Sitios de fugas frecuentes en líneas principales y secundarias	14
Figura 3. Curva de nivel de perdidas vs Costos de reducción	19
Figura 4. Red de distribución de agua potable El Corazón	22
Figura 5. Factura por consumo de agua potable	24
Figura 6. Localizador de fugas de agua potable	28
Figura 7. Captación Langaló	40
Figura 8. Tanques rompe presión	41
Figura 9. Captación El Tingo	42
Figura 10. Captación Yasauchó	43
Figura 11. Planta de Tratamiento de Agua Potable	44
Figura 12. Planta de Tratamiento de Agua Potable	45
Figura 13. Caudal producido y perdido	46
Figura 14. Tanque de reserva de 400 m ³	47
Figura 15. Tubería de hierro, calle Sucre	49
Figura 16. Medición de presión	49
Figura 17. Hidrante deteriorado	50
Figura 18. Conexiones domiciliarias	52
Figura 19. Acometidas domiciliarias	52
Figura 20. Acometida domiciliaria al aire libre	53
Figura 21. Acometida sin protección	53
Figura 22. Acometida sin protección	53
Figura 23. Acometida edificio calle Sucre	54
Figura 24. Lavado de vehículos	54
Figura 25. Lavado de vehículos	54
Figura 26. Caudales producidos y facturados	56
Figura 27. Caudal producido en 24 horas	57
Figura 28. Curva de error de medición	58
Figura 29. Micromedidor de agua potable	66
Figura 30. Ground Penetrating Radar	90
Figura 31. Equipo detector de fugas de agua potable	97
Figura 32. Tolerancia de medición en función de la antigüedad	116
Figura 33. Uso eficiente del agua	120
Figura 34. Circuito 1	126
Figura 35. Circuito 2	127
Figura 36. Circuito 3	127
Figura 37. Equipo de Monitorización	128

Figura 38. Sección válvula de compuerta128

RESUMEN

La pérdida de agua potable es uno de los problemas más persistentes en los sistemas de suministro de agua municipal en el Ecuador. A nivel mundial el porcentaje de agua no contabilizada se estima en promedio alrededor del 34% y para Ecuador del 65%, cuyas causas principales son: fugas, imprecisión en la medición, conexiones ilegales, etc. Por esta razón, es indispensable que los prestadores de servicio de agua potable analicen sus sistemas para controlar la operación y tomar decisiones con el objetivo de mitigar las pérdidas, aumentar sus ingresos y lograr una mayor rentabilidad. Este proyecto de titulación identificó las pérdidas técnicas-comerciales de agua potable y formuló un programa para el control de agua no contabilizada proponiendo soluciones para la reducción de las mismas, lo cual, servirá como instrumento en la toma de decisiones por parte de las autoridades correspondientes en función de obtener una sostenibilidad financiera y ambiental. Como metodología se desarrolló el levantamiento de información técnica y comercial del sistema de agua potable, así como también se desarrollaron mediciones de caudales producidos y facturados, además se determinaron las fugas técnicas, comerciales y por medio del balance hídrico se estimó que el 67,90 % corresponde al volumen de agua no contabilizada. Posteriormente se elaboró el programa de control de pérdidas orientado a la reducción de fugas de agua, macromedición y micromedición, sectorización de redes y detección de conexiones clandestinas.

PALABRAS CLAVES:

- **PÉRDIDAS TÉCNICAS Y COMERCIALES**
- **ÍNDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA**
- **CONTROL DE PÉRDIDAS DE AGUA**
- **MICROMEDICIÓN**

ABSTRACT

The loss of drinking water is one of the most persistent problems in municipal water supply systems in Ecuador. It is estimated that the water not accounted for worldwide is 34% on average and 65% for Ecuador, the main causes of which are: leaks, measurement inaccuracy, illegal connections, etc. For this reason, it is essential that water service providers analyze their systems to control the operation and take decisions with the objective of mitigating losses, increasing their revenue and improve profitability. This titling project identified the technical-commercial losses of potable water and formulated a program for the control of unaccounted water that brings solutions for the reduction of them, which will serve as an instrument in the decision making by the corresponding authorities in terms of obtaining financial and environmental sustainability. The methodology process consist in developing the collection of the technical and commercial information on the drinking water system, as well as measurements of produced and invoiced flows were developed, additionality technical and commercial leaks were determined, and through the water balance it was estimated that the 67.90 % corresponds to the volume of water not accounted. In addition, the loss control program was designed to reduce water leaks, macro-metering and micrometering, network sectorization and detection of clandestine connections.

KEYWORDS:

- **TECHNICAL AND COMMERCIAL LOSSES**
- **UNACCOUNTED WATER INDEX**
- **CONTROL OF WATER LOSSES**
- **MICROMEDITION**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Los sistemas de distribución de agua potable por más eficientes que sean siempre van a tener pérdidas de agua en su distribución, al menos 90 millones de metros cúbicos se pierden diariamente a través de fugas de agua potable en el mundo, que equivale aproximadamente a USD 6 billones de dólares, lo que sería suficiente para proporcionar agua potable a más de 300 millones de personas (MIDEPLAN, 1997).

A nivel mundial los prestadores del servicio de agua potable vienen desarrollando programas en función de la disminución de las pérdidas de agua. En Ecuador las empresas de agua potable pertenecientes a las principales ciudades se encuentran trabajando para la disminución del agua no contabilizada, pero en el cantón Pangua no se ha realizado hasta la presente fecha ningún estudio en función del control de pérdidas de agua potable.

El GAD Municipal del cantón Pangua presta el servicio de agua potable a la cabecera cantonal El Corazón a través de la Coordinación de Agua Potable y Alcantarillado, según esta institución el sistema provee de agua potable alrededor de 3 500 habitantes, potabilizando en promedio mensual 31 104 m³ de agua para lograr abastecer el consumo de sus habitantes (GAD PANGUA, 2017).

El GAD Municipal de Pangua para una dotación de 180 L/hab/día debería producir únicamente 18 900m³ mensuales de agua potable con los cuales abastecería la demanda de la población (SENAGUA, 2014). Con base a esto se estima una pérdida de alrededor de 12 204 m³

mensual de agua potable, lo cual al ser agua tratada repercute no solamente en términos financieros sino también en términos ambientales debido al mal manejo del recurso natural.

El proyecto de titulación pretenderá desarrollar un programa para el control de pérdidas del agua no contabilizada en el cantón Pangua, ya que se constituye en una estrategia fundamental de gestión para el prestador de servicio debido a la rentabilidad, no solo en términos financieros sino también en términos ambientales y sociales.

1.2. Identificación de la zona de estudio

Pangua es un cantón de la provincia de Cotopaxi ubicado al suroccidente, está organizado territorialmente en parroquias y comunidades. Existe una parroquia urbana llamada El Corazón y tres parroquias rurales: Moraspungo, Ramón Campaña y Pinllopata, tiene una población de 22 856 habitantes (INEC, 2010). El área de estudio comprende la parte urbana del cantón, poblada con aproximadamente 2 500 habitantes en una zona de 45 hectáreas.

Las conexiones domiciliarias son aproximadamente 700, que se encuentran distribuidas desde el barrio Muligua en la parte alta, hasta la gasolinera MASGAS en la parte baja que corresponde al ingreso del cantón. El abastecimiento se lo realiza por gravedad desde un tanque de almacenamiento de 400m³. En la Figura 1 se muestra la localización del Proyecto.

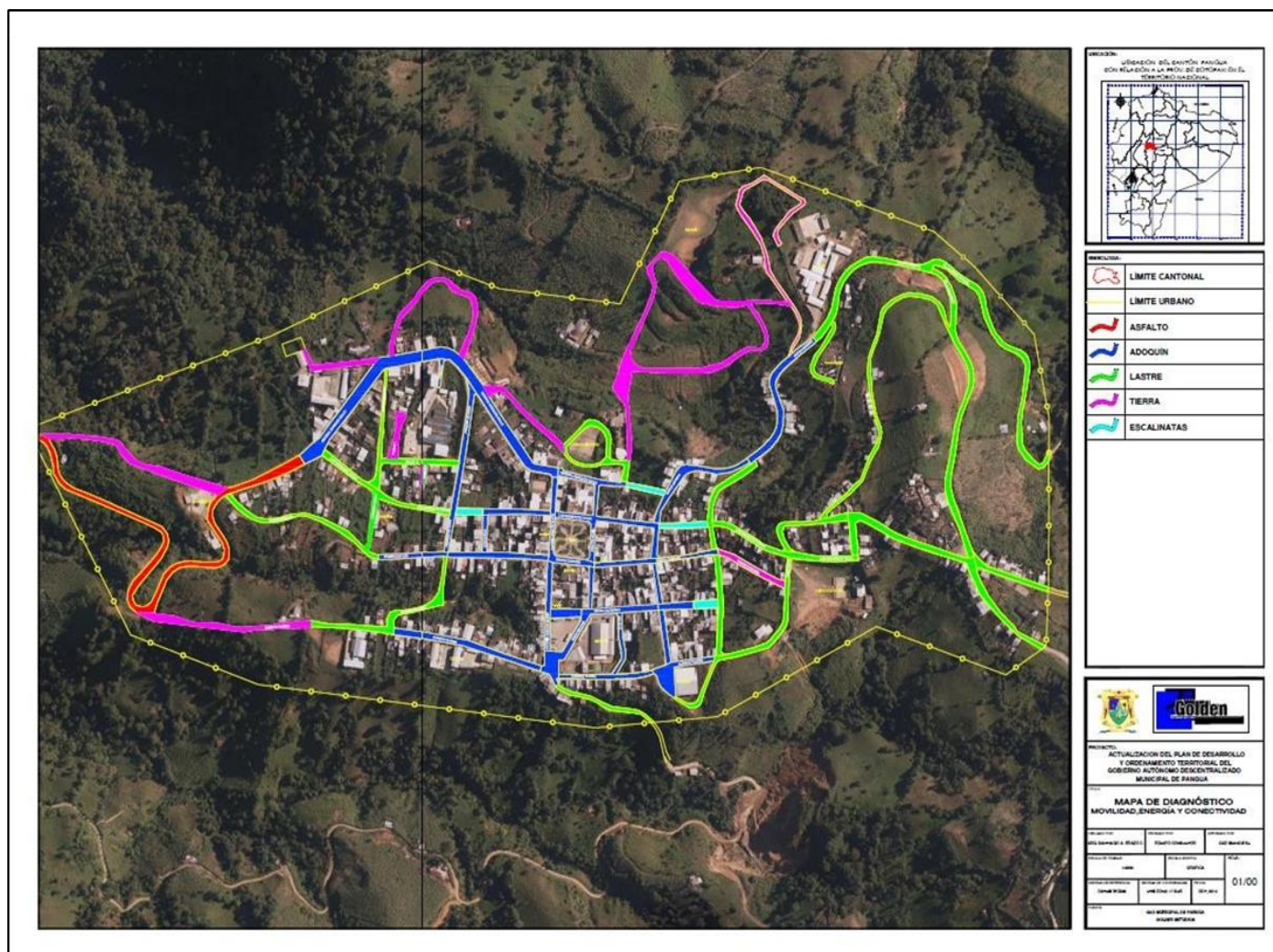


Figura 1. Zona de estudio
Fuente: (GAD PANGUA, 2012)

1.3. Justificación

El 25 de septiembre de 2015 los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Dentro del marco del Objetivo 6 denominado Agua Limpia y Saneamiento se busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos (ONU, 2015)

La escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y este porcentaje podría aumentar. La prestación de servicios adecuados de agua y saneamiento es esencial para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Mediante la gestión sostenible de nuestros recursos hídricos, podemos también gestionar mejor nuestra producción de alimentos y energía y contribuir al trabajo decente y al crecimiento económico. Además, podemos preservar nuestros ecosistemas hídricos y su diversidad biológica, y adoptar medidas para combatir el cambio climático (ONU, 2015).

El Objetivo 3 del Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida corresponde a garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones. Dentro de este Objetivo la Misión Agua Segura para Todos procura desarrollar en la población una cultura adecuada para el cuidado del agua. Este es el paso más importante, ya que comprende la difusión imperativa de información sobre el manejo y el cuidado del recurso hídrico, además del desarrollo de estrategias para lograr sostenibilidad de las infraestructuras relacionadas con el manejo de agua (SENPLADES, 2017).

Este proyecto de investigación ayudará a cumplir Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, así como los del Plan Nacional de Desarrollo en el marco de agua potable con la finalidad de obtener la mejora eficiente del servicio y poder disponer agua con cantidad y calidad. Es así que se desarrollarán acciones en función de la reducción de pérdidas de agua potable.

El control de pérdidas en un sistema de agua potable se constituye en la estructura principal para los prestadores de servicio, obteniendo una rentabilidad no solo en términos financieros sino también en términos ambientales y sociales. En el ámbito ambiental, la disminución de las pérdidas de agua potable representa una reducción en la tasa de explotación del recurso agua, que refleja en un esfuerzo menor para recuperar tanto al ecosistema que produce el agua cruda como aquel que recibe los elevados volúmenes de residuos contaminantes producidos por el hombre al utilizarla (Jouravlev, 2004).

En el ámbito financiero, un programa de control de pérdidas permite a la entidad prestadora:

- a) disminuir los costos de producción al reducir el volumen de agua tratada;
- b) aumentar sus ingresos al incorporar en la facturación aquellos usuarios que se benefician del servicio y no se encuentran legalizados;
- c) conocer el estado real de la infraestructura del servicio para planificar proyectos de inversión;
- d) aumentar la vida útil de la capacidad instalada en infraestructura al reducir la demanda actual del servicio;
- e) aplazar en el tiempo la ejecución de obras de ampliación del sistema;
- f) mejorar las condiciones de operación de infraestructura disminuyendo los costos de operación, y
- g) disminuir los altísimos costos que implica el tratamiento de las aguas residuales al reducir el volumen de agua para tratar (Ramírez, 2014).

Por su parte la importancia social se expresa en:

- a) la ampliación de coberturas: al disminuir las pérdidas se dispondrá de un volumen de agua adicional que permitirá atender a un mayor número de habitantes;
- b) la equidad social: la medición de los consumos de todos los usuarios eliminará la inequidad por el cobro de tarifas iguales a quienes gastan volúmenes distintos de agua y más aun la que resulta por aquellos que utilizan el servicio de manera clandestina, cuyos costos deben ser asumidos en últimas por el resto de la población; y
- c) la calidad del servicio: al implementarse un programa del control de pérdidas se regulan las presiones del servicio a los

usuarios, se aumenta la continuidad del servicio, se puede destinar mayores recursos a la calidad del agua suministrada y se mejoran las relaciones usuario-prestador del servicio en los procesos de medición, facturación, cobro y atención de peticiones, quejas y reclamos (Ramirez, 2014)

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar el agua potable no contabilizada en el cantón Pangua a través del diagnóstico de pérdidas técnicas y comerciales, y elaborar un programa para su control.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Recopilar y levantar información técnica-comercial para diagnosticar el sistema de agua potable y su funcionamiento.
2. Obtener los registros de volúmenes de agua potable en la salida de la planta, así como también los volúmenes de agua potable medidos y facturados, en un período de al menos un mes para realizar un balance hídrico y determinar el agua no contabilizada.
3. Conocer las condiciones técnicas del funcionamiento del sistema de agua potable desde la captación, conducción, planta de tratamiento, almacenamiento y redes de distribución.
4. Identificar y cuantificar las pérdidas técnicas y comerciales de agua potable para proponer soluciones a través del Programa de Control.
5. Elaborar un Programa de Control de pérdidas en función de los resultados obtenidos, priorizando actividades que disminuyan las pérdidas de agua potable hasta valores mínimos admisibles, promoviendo la sostenibilidad financiera-ambiental.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Pérdidas de agua potable

El agua es un recurso abundante en la tierra, y su uso es de primera necesidad para el ser humano y prácticamente no tiene sustitutos. El 70% de la superficie del planeta está cubierta por agua, pero sólo el 2,53% es agua dulce. El volumen total de agua en el planeta es aproximadamente de 1 400 millones de km³, alrededor de 35 millones son de agua dulce, no obstante, esta se encuentra en mayor proporción en forma de hielo o nieve permanente en la Antártida o en Groenlandia, la porción de agua utilizada por el ser humano es aproximadamente de 200 000 km³, menos del 1% del total de agua dulce (CONAGUA, 2009).

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 (Ress & Roberson, 2016)

El agua no contabilizada en un sistema de distribución representa 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 (Molina, 2009)

El 34% de toda el agua mundial es agua no contabilizada, y es un problema que varía según la región. A continuación se presenta las tasas de pérdidas de agua para distintos lugares del mundo según lo establece la Agencia Internacional de Energía en el año 2 016 (Ress & Roberson, 2016).

- Taiwán tuvo un 27% de tasa de agua no contabilizada en el año 2013, según la Corporación de Agua de Taiwán, el costo de esta pérdida fue aproximadamente US \$76 000, por día.

- En Estados Unidos la pérdida estimada está entre 10 y 30 %.
- Las pérdidas en Delhi, India fueron de aproximadamente 50% en el año 2 005, sobre todo a causa de fugas, usos no autorizados y consumos no facturados.
- Malasia tuvo una tasa de agua no contabilizada del 30,1% en el año 2008, la redujo a 19,3% en el año 2 015.
- 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%.
- Bogotá Colombia posee un índice de agua no contabilizada de 44% en el año 2 011.
- Ecuador tuvo una tasa de agua no contabilizada que va desde 30% hasta 60%, para el año 2 015, lo que representa una pérdida de \$100 millones para el país (SENAGUA, 2015).

Los diversos beneficios obtenidos como resultado de reducir la pérdida de agua 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 (Ress & Roberson, 2016).

Los servicios públicos de abastecimiento de agua potable realizan esfuerzos en todo el mundo para detener esas pérdidas de agua. Dinamarca ha reducido sus pérdidas en promedio a un 9% y en algunas ciudades las pérdidas de agua no contabilizada se han reducido hasta un valor de 5%. El proceso se inició en 1 989 con un impuesto sobre el agua producida, que les brindó a los proveedores suficientes incentivos para reducir pérdidas de agua y mejorar los sistemas de distribución (Maestu, 2010).

El programa puesto en práctica por Obras Sanitarias del Estado de Uruguay en Ayuí Artigas, se tradujo en ahorro de 382 000 m³ de agua correspondiente a US \$ 156 000 por año, lo

cual redujo el agua no contabilizada del 73 al 21% y constituyó un estímulo para ampliarlo a todo el país (OSE, 2014).

En noviembre de 2 000, en la ciudad de Cuenca tras analizar la elevada cantidad de agua no contabilizada, en torno al 53% ETAPA EP reactivó el Programa de Control de Agua no contabilizada. Este programa se encuentra enfocado en la ejecución de proyectos y campañas educativas para enfrentar las pérdidas. Es así que de esta manera se ha reducido el índice de agua no contabilizada al 29% (ETAPA, 2006).

La eficiencia de un sistema de abastecimiento de agua potable a ciudades se asocia con el proceso de captar, conducir, regularizar, potabilizar y distribuir el agua, desde la fuente natural hasta los consumidores, con un servicio de calidad óptima (Ochoa & Bourguett, 2001).

2.2. Tipos y clasificación de fugas

Las fugas representan impactos sociales y económicos de manera importante para la población ya que involucra agua captada, bombeada, tratada, almacenada y distribuida, que se pierde a causa de fallas en el sistema de distribución. Sin utilizar la magnitud expresada en unidad de flujo a las fugas las podemos clasificar en tres categorías: categoría 1, categoría 2, categoría 3. (CEPIS, 1981).

En la categoría 1 están los volúmenes de fugas muy pequeños, localizados en juntas y uniones de tuberías o piezas especiales que son prácticamente sudor y goteo. La categoría 2 corresponde a fugas pequeñas, no aparentes superiores a la categoría 1, que son visibles únicamente cuando se realiza una inspección minuciosa del sistema. En cuanto a la categoría 3, esta puede abarcar grandes fugas de agua, son visibles y normalmente ocasionadas por rotura de la tubería (Ortega & Campaña, 2016).

Varias son las causas para que las tuberías se rompan o presenten fugas durante su funcionamiento, entre estas mencionaremos a las siguientes: inicialmente pudo haber tenido un defecto, haber sido dañada durante la instalación, estar deteriorada o fatigada ya sea por corrosión o envejecimiento del material, altas presiones de agua y acomodo natural del suelo. El movimiento del terreno, la corrosión de tuberías, presión del servicio, antigüedad de las tuberías y las condiciones de instalación de la red de distribución son factores que dan origen a las fugas en los sistemas de agua potable (Ortega & Campaña, 2016).

Debido a la diversidad de términos utilizados en un balance hidráulico para calcular las pérdidas de agua potable en un sistema de distribución, la IWA Internacional Water Association definió la terminología mostrada en la Tabla 1 (International Water Association, 2003). Esta terminología estandarizada define a las pérdidas de agua potable como:

Pérdidas de agua = Pérdidas “reales”+ Pérdidas “aparentes”

Tabla 1.

Volumen suministrado de agua potable

Volumen suministrado al sistema de distribución	Consumo autorizado	Consumo Autorizado	<u>Consumo medido facturado</u>	Agua contabilizada
		Facturado	Consumo no medido facturado	
		Consumo Autorizado No Facturado	<u>Consumo medido no facturado</u> Consumo no medido no facturado	
	Pérdidas de agua potable	Pérdidas Aparentes	<u>Consumo no autorizado</u>	Agua no contabilizada
		Pérdidas Reales	Inexactitudes en la medición	
			Fugas en tanques de almacenamiento	
		<u>Fugas en redes y acometidas</u>		

Fuente: (International Water Association, 2003)

Las pérdidas reales o pérdidas técnicas comprenden las fugas ocurridas por daños en la hermeticidad de los tanques de almacenamiento y en los componentes del sistema de distribución como tuberías, conexiones, accesorios de unión y de control de la red; sean visibles o no visibles.

Las visibles emergen hacia la superficie del terreno o pavimento, la mayoría pueden ser descubiertas por los letrados, operadores y usuarios. Las fugas no visibles al contrario no se pueden notar con facilidad y se infiltran en el suelo o pueden drenar hacia tuberías de alcantarillado o canales (Ochoa & Bourguett, 2001).

Las características que influyen en la determinación del volumen de agua correspondiente a pérdidas son: presión de la red de distribución, caudales de fugas visibles y fugas no visibles. Las pérdidas aparentes o pérdidas comerciales se relacionan directamente con el sistema de medición, produciendo como resultado pérdidas de ingresos. Estas pérdidas se relacionan a los consumos no registrados y no facturados tales como conexiones clandestinas y conexiones de uso público, así como también forma parte de estas pérdidas los errores de medición y errores de estimación de consumos no registrados que se producen en la red de abastecimiento (Ochoa & Bourguett, 2001).

En los sistemas de agua potable que no disponen de medición, las principales fugas de agua corresponden a pérdidas reales, mientras que para los sistemas de agua potable con medición, las pérdidas aparentes son las más significativas. La Asociación Internacional del Agua a través de una comisión de observación determinó que en los países desarrollados las fugas reales son el mayor componente en pérdidas de agua potable; sin embargo, para los países en desarrollo son más importantes las conexiones ilegales, los errores de medición y errores de estimación. (International Water Association, 2003).

Las fugas además de representar una pérdida efectiva del líquido vital, tienen su incidencia social y económica importante en la población, ya que se trata de agua captada, bombeada, tratada, almacenada y distribuida, que se pierde debido a las fallas del sistema de abastecimiento (Jouravlev, 2004).

2.3. Detección y cuantificación de pérdidas técnicas de agua potable

Las pérdidas físicas corresponden a los volúmenes de agua que se pierden como consecuencia de fallas en la infraestructura física instalada: fisuras, roturas y filtraciones. Las causas de estas fallas pueden ser (MIDEPLAN, 1997):

- (i) factores sobre los cuales se pueden ejercer acciones de control, tales como presiones máximas, calidad de los materiales, procesos constructivos y estado de conservación de los materiales y elementos estructurales, y
- (ii) factores externos no controlables, tales como características del agua y de los suelos, siniestros provocados por terceros, efectos de las raíces de los árboles sobre las tuberías y presiones externas, entre otras.

En general, los sistemas de abastecimiento de agua potable que no disponen de medición, el principal factor de las pérdidas de agua son las fugas o pérdidas reales, mientras que para los sistemas con medición las pérdidas aparentes pueden representar un factor significativo. Los factores que inciden directamente en las fugas son relacionados principalmente a los movimientos del terreno, corrosión de las tuberías, presión del servicio, antigüedad de tuberías y las condiciones de instalación (MIDEPLAN, 1997).

Aquellas tuberías que se han instalado en suelos inestables tales como zonas de aluviones, rellenos, suelos que se expanden y se contraen, están sometidas a movimientos del terreno que afectan directamente a las juntas entre tuberías. Los cambios de carga superficial del terreno durante la ejecución de obras próximas a las tuberías de distribución de agua potable, someten al suelo a cargas inaceptables y transmiten vibraciones que ocasionan descompresiones o movimientos del terreno, que afectan las condiciones de instalación de las tuberías (Molina, 2009).

Las presiones de servicio excesivas ocasionan sobre presión o depresión instantánea en la red que puede provocar fracturas en las tuberías o desencajar accesorios por el desplazamiento de los bloques de anclaje. La mala calidad de materiales empleados junto con una mano de obra deficiente implica trabajos defectuosos en instalación de tuberías o reparaciones, provocando la reducción de la vida útil de las tuberías instaladas y el aumento en la frecuencia de los daños (Molina, 2009). En la Tabla 2 se presenta las principales causas asociadas al origen de las fugas.

Tabla 2.
Causas asociadas al origen de las pérdidas técnicas de agua

Origen de las fugas	Causas
Material	Deficiente elección de los materiales y juntas
Tuberías	Debido a una deficiente instalación de tuberías y falta de previsión de tráfico pesado
Accesorios	Se presentan en accesorios como válvulas, ventosas, hidrantes, compuertas, abrazaderas, etc.
Corrosión	Se presenta debido a la insuficiente protección de los materiales metálicos
Golpe de ariete	Cambios bruscos del sentido del flujo a través de válvulas de control, ocasionando una sobrepresión
Desmontaje	Accesorios desmontados de manera deficiente originan fugas

Fuente: (Molina, 2009)

Las pérdidas de las juntas representan un volumen pequeño en el volumen total de las fugas, al igual que ocurre con las fugas debido a la corrosión. Las válvulas tampoco representan gran volumen de fugas, aunque en determinadas redes que trabajan en forma deficiente el número de problemas existentes en las mismas es importante. Sin embargo, es en las acometidas y las tuberías

de las acometidas en donde se encuentra el mayor volumen de pérdidas de agua (Ochoa & Bourguett, 2001).

Generalmente se utilizan los términos “fuga” y “rotura” para referirse a una pérdida de agua, pero la evidencia de una rotura es obvia, mientras que la detección de una fuga puede requerir equipo especial (Molina, 2009).

Cuando las fugas son en depósitos ocurren por agrietamiento de las estructuras o el reboso de los niveles de agua, en las líneas de conducción principales y secundarias sus caudales están en un rango de 250 mL/s hasta 10 L/s y en ocasiones son mayores; se deben a factores corrosivos, golpe de ariete, cargas superficiales, instalaciones defectuosas y materiales de la tubería. En conexiones domiciliarias las fugas tienen caudales aproximados entre 20 y 250 mL/s en promedio y pueden presentarse como tipo rajaduras, perforaciones, corte o piezas flojas. Cuando se localizan en el cuadro del medidor las fugas normalmente son goteos y representan un caudal de 50 a 100 L/hora (menos que 20 mL/s), mientras que las fugas de válvulas se producen por rotura de empaques o volantes de las válvulas y varían entre 200 mL/s hasta 1 L/s (Ochoa & Bourguett, 2001).

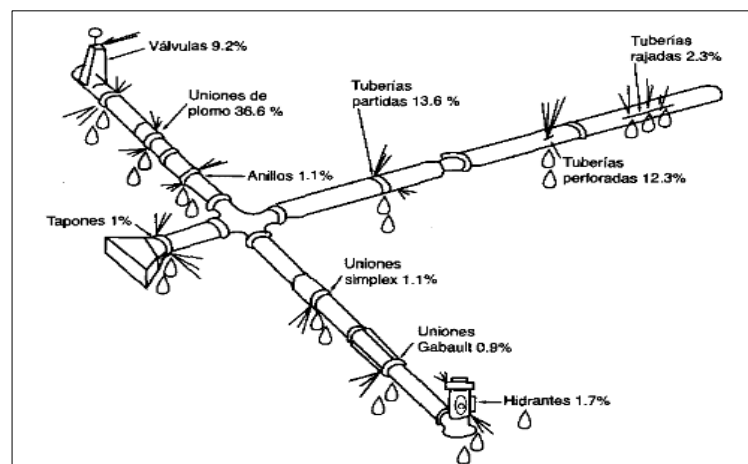


Figura 2. Sitios de fugas frecuentes en líneas principales y secundarias
Fuente: (Ochoa & Bourguett, 2001)

En la Figura 2, se indica los principales sitios de fugas frecuentes.

La metodología para la reducción de pérdidas de agua potable aplicada en el sistema de distribución de agua potable de Guayaquil consistió en utilizar la sectorización hidráulica para delimitar las zonas de la red de distribución y lograr un abastecimiento continuo de 24 horas (Molina, 2009).

2.4. Detección y cuantificación de pérdidas comerciales de agua potable

Las pérdidas comerciales son aquellas relacionadas con el funcionamiento comercial y técnico de la empresa prestadora del servicio. Se presentan por usos no autorizados (robo, conexiones clandestinas), por errores de lectura debido a la imprecisión de los medidores que registran los consumos de los clientes (UNAD, 2014).

Su origen radica en la imprecisión en los registros de los consumos de los clientes finales, por subvaloración de los caudales medidos cuando estos son muy básicos o cercanos a su límite de sensibilidad o bien por la precisión del instrumento de medición que se ve mermada por su uso, produciéndose en ambos casos un subcontaje. El subcontaje puede verse reducido mediante el reemplazo de medidores con una determinada frecuencia y la investigación adecuada teniendo en cuenta como aumenta el caudal entregado y medido con respecto al tiempo de uso o antigüedad del medidor (MIDEPLAN, 1997).

Las causas de pérdidas comerciales de agua no contabilizada provienen de factores como: errores en la medición, errores en la facturación, usos no autorizados; que inciden directa o indirectamente para que el volumen de agua no sea registrado y facturado, en la literatura técnica se encuentran dos grandes grupos de causas que generan pérdidas comerciales de agua, la primera es las acciones fraudulentas y la segunda por micromedición. Teniendo en cuenta la incidencia de

los factores antes mencionados en la contabilización de pérdidas comerciales se pueden evidenciar los siguientes volúmenes (Duran, 2014).

2.4.1. Volumen de consumo clandestino: Es el volumen consumido que no es facturado debido al uso de conexiones ilegales, incluye también consumos no autorizados a través de hidrantes.

2.4.2. Volumen por error de medición: Es el volumen consumido por los usuarios que no es facturado a causa del deterioro o imprecisión del equipo de medición.

2.4.3. Volumen no facturado por subestimación de consumo: Es el volumen consumido en exceso en relación con lo facturado para usuarios que no disponen de medidor y que se realiza facturación estimada promedio.

En la Tabla 3 se observa las causas principales por las que la micromedición pierde su eficiencia durante su funcionamiento (Duran, 2014).

Tabla 3.

Causa de pérdidas comerciales de agua por micromedición

Causas de pérdidas comerciales de agua por micromedición	
	Obsolescencia debido a que sus componentes han sido desgastados por la utilización a través del tiempo.
Medidores desajustados	Porque algún elemento no perteneciente al equipo ingresa en la unidad de registro o vienen defectuosos.
	Sub contaje e imprecisión debido a la descalibración natural provocada por la limpieza o sustitución de las piezas.
Medidores detenidos	Habiendo consumo en el medidor no registra la cantidad de m ³ consumidos debido principalmente a la obsolescencia del medidor.
	Negativa de los usuarios a cambiar el medidor por obsolescencia.

Fuente: (Duran, 2014)

En cuanto a las pérdidas comerciales por derivaciones fraudulentas, independientes de la obsolescencia de los equipos, se puede identificar las siguientes causas principales que pueden presentarse en los medidores, las acometidas y las redes de distribución como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4.
Causas de pérdidas comerciales por conexiones fraudulentas

Causas de pérdidas comerciales por conexiones fraudulentas	
	No se registra el volumen consumido o se registra un valor menor estimado.
	Suplantar el medidor (colocar otro por un tiempo y luego instalar el medidor registrado por la empresa).
Medidores manipulados	Medidor invertido (cambio de la posición de la instalación del medidor)
	Desconectar el medidor y generar paso directo (retirar el medidor y conectar de manera directa un tubo a la red)
	Separar la unidad del registro del medidor (generar un paso directo del fluido sin registro del consumo)
Conexiones Clandestinas	Se presenta en todos los usos: residencial, comercial e industrial. Con el objeto de extraer agua ya tratada y que no sea registrada por un medidor.
	Se instala o adhiere un tubo a la red matriz alterando las presiones y disminuyendo la eficiencia de distribución.

Fuente: (Duran, 2014)

Además de las causas anteriormente mencionadas también existen las causas de pérdidas comerciales por consumo de utilidad pública, esta es utilizada comúnmente para extinción de incendios, regadío de áreas verdes, lavado de calles y entretenimiento (UNAD, 2014).

2.4.4. Problemas de la reducción de pérdidas agua

Los problemas de agua no contabilizada o pérdidas de agua potable se pueden dar principalmente por las siguientes razones (Ochoa & Bourguett, 2001).

1. Desconocimiento
2. Falta de financiamiento
3. Ausencia de programas sistemáticos de reducción y control de pérdidas
4. Errores y estimación de la existencia real de agua no contabilizada
5. Falta de capacitación del personal encargado.

2.4.5. Características de la reducción de pérdidas

Es importante la utilización de programas computacionales que ayuden a controlar y reducir perdidas localizadas, detectar fugas, aplicar técnicas de construcción y reparación de gasto y volumen, sin olvidar las distintas características que puede implicar su ejecución (Ochoa & Bourguett, 2001).

1. El plazo en el que arroja un determinado resultado
2. El costo inicial puede ser bajo, pero a medida que pasa el tiempo la relación costo aumenta
3. La ocurrencia de pérdidas en un proceso dinámico que depende de parámetros no controlables, por tanto, existe un nivel mínimo aceptable que físicamente se puede alcanzar.

En la Figura 3, se presenta la relación % de pérdidas vs costos de producción y se observa que existe un límite inferior en donde es más caro reducir que seguir perdiendo, este límite es una función de precio de agua. Según Ochoa & Bourguett, 2001 puede ser rentable hasta este límite rehabilitar, reparar los daños que causan pérdidas o corregir errores en la submedición. En México por ejemplo, se estima como valor aceptable el 20% de fugas y el valor límite se considera del 15%, respecto al volumen total suministrado.

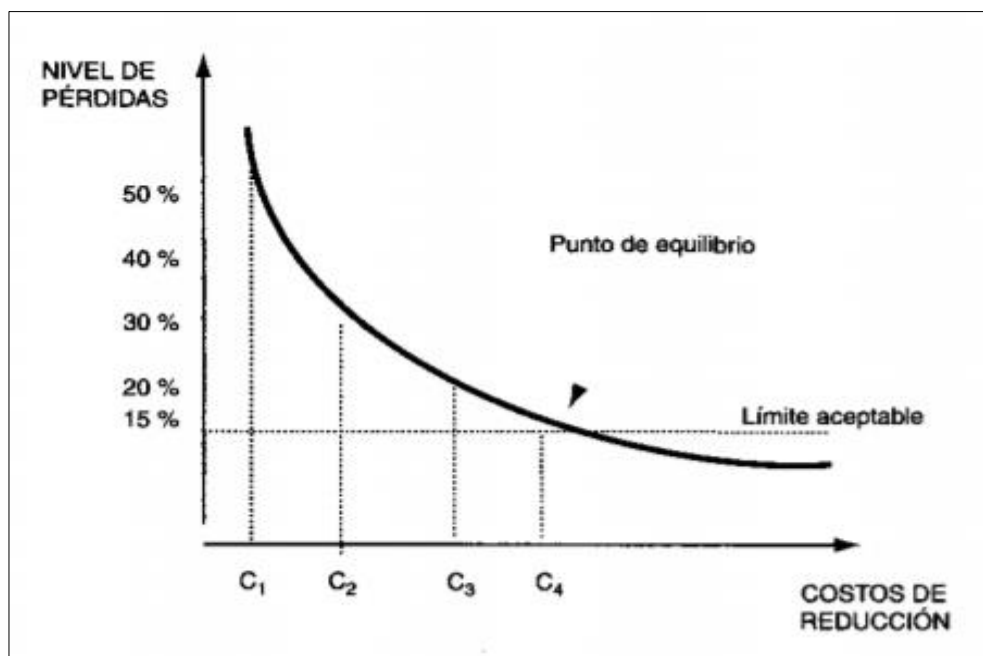


Figura 3. Curva de nivel de pérdidas vs Costos de reducción
Fuente: (Ochoa & Bourguett, 2001)

2.4.6. Reducción integral de pérdidas de agua

La reducción integral de pérdidas de agua es un proceso dinámico en tiempo y espacio que inicia con el diagnóstico, tiene en cuenta la eliminación y control en todo el sistema. De aquí que la aplicación de forma precisa en la operación y mantenimiento garantiza la eficiencia y la reducción integral de pérdidas que se puedan presentar durante este proceso. Las actividades correspondientes a este proceso se las puede enmarcar en tres bloques (CONAGUA, 2015).

Bloque uno

Diagnóstico de pérdidas. - Se evalúan los volúmenes de agua que se pierden y sus principales patrones de ocurrencia identificando las causas que lo producen. Para esto se utiliza las técnicas de detección de fugas a través del análisis de estadísticas de operación y muestreo de campo.

Bloque dos

Sectorización de la red para facilitar la reducción de agua no contabilizada. - se da seguimiento a programas de reducción de ANC, a través de sectores y distritos hidrométricos en su diseño y operación.

Distritos hidrométricos (DH): Sectores que pueden aislarse hidráulicamente de la red de distribución con movimientos de válvulas.

Bloque tres

Eliminación y control de pérdidas. – Con el objetivo de facilitar la búsqueda de pérdidas y subsanar daños existentes se planifican procedimientos, diseños, equipos y modelos de decisión.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Recopilación y levantamiento de información del sistema de agua potable

Se recopiló todo tipo de información en oficina y campo, relacionada a la prestación del servicio de agua potable en la ciudad de El Corazón. Se verificó el caudal que aportan las vertientes al sistema de tratamiento de agua potable, así como el caudal tratado que sale de la planta de tratamiento y los valores de volúmenes facturados y medidos. Adicionalmente se analizó la infraestructura del sistema para la prestación del servicio de agua potable; como captaciones, planta de tratamiento, tanques de almacenamiento, red de distribución, accesorios de la red de distribución, conexiones domiciliarias, para luego sistematizar la información y determinar el agua potable no contabilizada.

3.2. Campañas de medición y registro de caudales producidos y facturados

Las campañas de medición y registro de caudales producidos por la planta de agua potable del cantón Pangua se realizaron a través de un sistema de macromedición registrando la cantidad de caudal de agua potable distribuido a la red mensualmente para el año 2 017.

Una vez ingresado el agua al sistema de tratamiento, se procesó y se dispuso para su distribución a la red de agua potable realizando la medición de los caudales en el punto de inicio del sistema de distribución a la cabecera cantonal de Pangua, la ciudad de El Corazón. En la Figura 4 se presenta la red de distribución actual de agua potable dividida en tres circuitos debido a su ubicación topográfica.

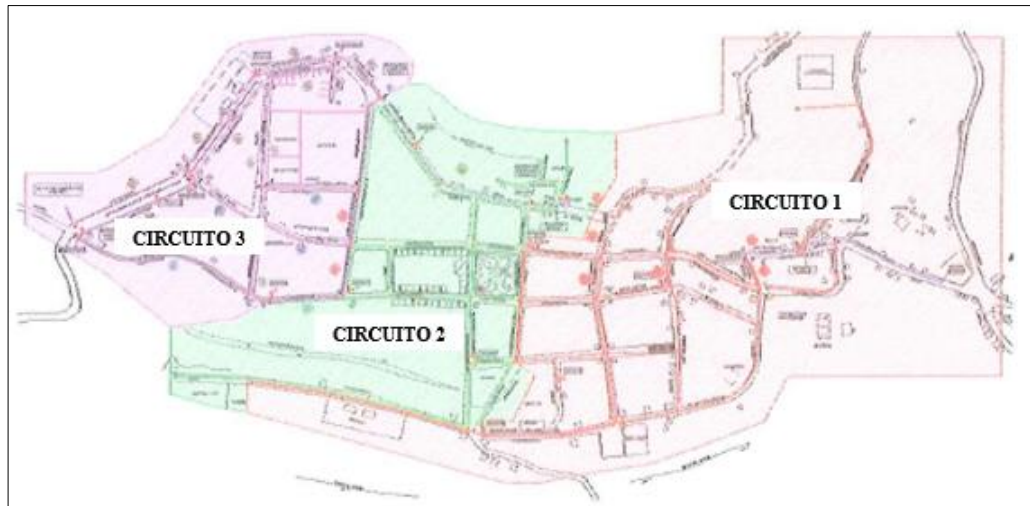


Figura 4. Red de distribución de agua potable El Corazón

Fuente: (GAD PANGUA, 2017)

El registro de caudales suministrados a la red de distribución de la zona de estudio, una vez que se toma la lectura del macromedidor, se agregan a una base de datos digital con el objeto de realizar las siguientes funciones:

1. Conocer si la distribución de caudales entregados a los usuarios de esta zona de estudio es eficiente.
2. Determinar el caudal de consumo horario mínimo, máximo y el consumo promedio.
3. Contrastar los datos de caudales distribuidos con los registros de caudales consumidos por los usuarios.

La medición de los caudales entregados a los usuarios y registrados mediante micromedición, se realizaron mediante campañas de lectura por medio de cuadrillas para la evaluación del caudal consumido mensualmente en toda la zona de estudio desde la parte alta en el barrio Muligua hasta la parte baja el barrio La Inmaculada”.

Los registros en metros cúbicos de caudales consumidos se realizaron para la zona de estudio en los tres circuitos que se pueden identificar (circuito1: desde calle Sucre hasta la calle

Flores, circuito 2: calle Alberto Flores hasta el Coliseo Municipal, circuito3: sector occidental Av. General Enríquez Gallo hasta la calle primero de Junio). Existen viviendas donde no cuentan con micromedidores debido a que han sufrido daños o inicialmente no fueron instalados, para lo cual se estimará los valores de consumo de las viviendas donde no exista micromedición en relación a los valores promedios de consumo mensual por micromedidor del resto del sistema, para posteriormente incorporar a una base de datos.

El Departamento Financiero del GAD Municipal de Pangua realiza la facturación correspondiente al servicio de agua potable de acuerdo a la micromedición efectuada, es decir para este análisis el volumen (m³) de la micromedición coincidirá con el volumen (m³) de la facturación. En la Tabla 5 se presenta el pliego tarifario vigente

Tabla 5.
Pliego tarifario agua potable

Pliego Tarifario por Servicio de Agua Potable			
Rango m³	Residencial y Público	Comercial	Industrial
De 16 a 25	\$ 0,36	\$ 0,40	\$ 0,44
de 26 a 35	\$ 0,40	\$ 0,44	\$ 0,48
De 36 a 45	\$ 0,44	\$ 0,48	\$ 0,53
Mayor a 46	\$ 0,48	\$ 0,53	\$ 0,58
Base de 0 a 15m ³	\$ 3,00	\$ 4,25	\$ 4,75

Fuente: (GAD PANGUA, 2017)

El Municipio de Pangua dispone de un pliego tarifario diferenciado según categorías de los sectores a los cuales presta el servicio de agua potable, según como establece la Ordenanza de Agua Potable y Alcantarillado “ (GAD PANGUA, 2017)”, publicada en Registro Oficial del 02 de agosto de 2 017.

Las categorías que establece el pliego tarifario son: Residencial, Público, Comercial e Industrial. Todas están sujetas a una base tarifaria que establece el rango de consumo de cero a quince metros cúbicos.

En la Figura 5 se presenta el modelo tipo de factura que el Municipio emite por concepto de pago de agua potable.

GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN PANGUA			
DIRECCIÓN FINANCIERA			
COMERCIALIZACION DE SERVICIOS		TITULO DE CREDITO: 2018-08-0000000143-CSBAGU-CSB	
CONCEPTO: COMERCIALIZACION DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE			
CONTRIBUYENTE:	MOLINA JOSE ISAIAS		
RUC/CI:	0500110234	COD. CATASTRAL:	
DIRECCIÓN:	GENERAL ENRIQUEZ GALLO	CUENTA:	005003050002002004340001001
		MEDIDOR:	081168519
AÑO:	2018	MES:	8
HECHO GENERADOR		RUBROS	VALORES
Consumo:	22,00	AGUA POTABLE:	\$ 7,05
(-) Rebajas:	0,00	Servicios Administrativos:	\$ 0,00
(+) Aumentos:	0,00	Otros:	\$ 0,00
Base Imponible:	22,00	VALOR EMITIDO:	\$ 7,05
Fecha de Emisión	03/09/2018 9:37:58	DESCUENTOS:	\$ 0,00
Fecha de Cobro	04/09/2018 9:00:34	RECARGOS:	\$ 0,00
		MULTAS:	\$ 0,00
		INTERESES:	\$ 0,00
Usuario	GCALERO	SUBTOTAL:	\$ 7,05
		IVA:	\$ 0,00
		VALOR A PAGAR	\$ 7,05
DIRECTOR FINANCIERO		JEFE DE RENTAS	TESORERO
			RECAUDADOR

Figura 5. Factura por consumo de agua potable

Fuente: (GAD PANGUA, 2017)

3.3. Muestreo de errores de exactitud en la medición de micromedidores

Existen varias teorías y formas de verificar la exactitud de los micromedidores en la medición de agua. Para esta investigación se ha optado por realizar el ensayo de medidores en el Laboratorio de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito EPMAPS. Dicho laboratorio se encuentra acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Norma ISO-4064 Segunda Revisión partes 1 y 3 (con su traducción idéntica NTE INEN-OIML R 49-1:2009).

Para el ensayo de los micromedidores se ha realizado un muestreo simple de diez micromedidores a través del programa Excel, de tal manera que se pueda caracterizar al total de

los instalados. La Tabla 6 presenta a los micromedidores ensayados con los respectivos usuarios del sistema de agua potable y sus direcciones:

Tabla 6.
Medidores seleccionados para el análisis

Nro	Usuario	Circuito	Dirección
1	Espín Hoyos Alcidas Aureliano	C1	Abdón Calderón y García Moreno
2	Domínguez Velastegui Ernesto Agustín	C2	Luis Benedicto Tovar y Sucre
3	Yancha Tigselema Luis Armando	C2	Luis Benedicto Tovar y Checa
4	Medina Campaña Jorge Alberto	C2	Primero de Junio y SN
5	Ullauri Moncayo Ángel Rigoberto	C3	General Enríquez y Ramón Campaña
6	Salguero Jaramillo Víctor Geovanny	C1	Calle 5 y Luis Benedicto Tovar
7	Montufar Suarez Elsa Marina	C3	Ramón Campaña y SN
8	Amores Soria Joffre Israel	C3	Luis Benedicto Tovar y SN
9	Vascones Mera Carlos Urbano	C2	Ramón Campaña y Antonio José de Sucre
10	Alvear Merizalde Hilber Eduardo	C1	Calle SN y Luis Benedicto Tovar

El ensayo de los micromedidores permitió determinar la calidad de medición para garantizar el funcionamiento de los medidores con respecto al registro de consumo real medido.

3.4. Muestreo de ocurrencia de fugas en tuberías

Para determinar la ocurrencia de fugas en las tuberías es necesario disponer de circuitos cerrados con medición, en los cuales se contraste el caudal que ingresa al circuito con el caudal medido en cada conexión domiciliaria. La diferencia entre estos dos caudales corresponderá al volumen de agua de pérdidas técnicas y comerciales.

El sistema de agua potable El Corazón no dispone de medición en sus circuitos internos, sin embargo existe dos macromedidores a la salida de la planta que registran el caudal distribuido a todo el sistema. Considerando que es un sistema de agua pequeño el cual provee de agua alrededor de 700 familias se realizaron los cálculos correspondientes a pérdidas de agua entre los macromedidores de la planta y la micromedición de cada acometida de agua.

3.4.1. Pérdidas técnicas inevitables

Las pérdidas técnicas inevitables se presentan en las dos áreas principales del sistema de distribución de agua potable; la red y las acometidas, de acuerdo con la normativa propuesta por la IWA a dichos componentes se los puede cuantificar de la siguiente manera como se muestra en la Ecuación 1 (International Water Association, 2003):

$$PTI \left(\frac{L}{\text{día}} \right) = (18 \times L_{\text{red}} + 0,8 \times N_c + 25 \times L_{\text{acometidas}}) \times P \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

PTI: pérdidas técnicas inevitables (L/día)

N_c: Número de conexiones domiciliarias

L red: Longitud de la red (km)

L acometidas: Longitud de las acometidas (km)

P: Presión promedio del sistema (m.c.a.)

3.4.2. Pérdidas técnicas reales

Para cuantificar las pérdidas técnicas reales se realizó la prueba de cierre de las llaves de paso que se encuentran antes del medidor, lo que permitió determinar fugas visibles, no visibles y consumos no medidos. Las mediciones a la salida de la planta de tratamiento de agua potable se lo realizaron a través de dos macromedidores de chorro múltiple, registrando los caudales de manera horaria. El caudal medido durante la prueba se asume como valor de caudal de fugas o pérdidas en las tuberías (EPMAPS, 2018).

Se considera necesario realizar un ajuste del valor de las pérdidas reales, ya que fue calculado en horas de la noche en donde se presentan las presiones máximas, por lo tanto, el ajuste respectivo se presenta de la siguiente manera (EPMAPS, 2018):

Q pérdidas técnicas medias = Q pérdidas reales \times coeficiente de ajuste (Ecuación 2)

$$\text{Coeficiente de ajuste} = \frac{P \text{ promedio}}{P \text{ máxima}}$$

3.4.3. Investigación de fugas en redes de distribución

Para la investigación de fugas en las redes de distribución se desarrolló el Programa de Control de Pérdidas propuesto en el Capítulo V de esta tesis, el cual, contempla medidas de acción a realizar por el ente prestador de servicio de agua potable y se encuentra conformado por el Subprograma Técnico y Subprograma Comercial.

3.4.3.1. Subprograma técnico de control de pérdidas

El Subprograma Técnico de Control de Pérdidas se encuentra estructurado por cuatro Proyectos de Mejora que son (Molina, 2009):

- Proyecto de Control de Fugas Visibles y no Visibles
- Proyecto de Catastro de Redes del Sistema de Agua Potable
- Proyecto de Instalación de Macromedidores
- Proyecto de Sectorización de Redes de Distribución

Proyecto de Control de Fugas Visibles y no Visibles: La metodología empleada para identificar las fugas parte del registro de datos de caudales de salida de la planta de tratamiento a través de macromedidores y el registro de caudales medidos facturados, comúnmente conocido como micromedición. Paralelamente a esto se considera necesario rehabilitar y mantener operativas las válvulas de control existentes en el sistema de distribución ya que varias de ellas se utilizarán en el proceso de investigación.

Este método a utilizarse se sustenta en el estudio del caudal mínimo nocturno de la red de distribución, cuyo registro de caudales debe mantenerse de forma permanente para mostrar picos

altos y bajos de consumo lo cual puede identificar la presencia de fugas en sectores donde no existen razones para el consumo registrado (EPMAPS, 2018).

Cuando se establezca el caudal mínimo nocturno durante el período de menor consumo, se presume que este valor del caudal será el correspondiente al caudal de pérdidas o fugas, teniendo en cuenta que la ciudad de El Corazón no dispone de industrias o comerciales que trabajen en horas de la noche.

Una vez que se haya identificado el circuito de redes en donde existe fugas, se procede a localizar las válvulas y accesorios del sistema de distribución de agua potable para la instalación de prelocalizadores de fugas, de tal forma de obtener información sobre la existencia o no de fugas en la red próximas a ellos, sin embargo no determinan la ubicación exacta de la avería (EPMAPS, 2018).

El sistema de los prelocalizadores es un método no invasivo, es decir no requiere actuaciones sobre la red de distribución, sino simplemente se coloca mediante un imán sobre el accesorio metálico de la red de distribución. Los equipos de prelocalización están conformados por un sensor de medidor de datos y una unidad receptora de radio que recepta y almacena la información proveniente de los sensores (Molina, 2009). En la Figura 6 se presenta el equipo localizador de fugas.

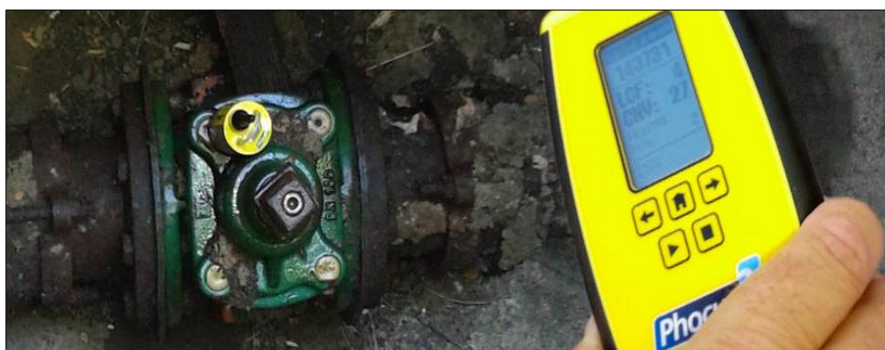


Figura 6. Localizador de fugas de agua potable

Posteriormente el programa de control de pérdidas plantea usar la varilla acústica realizando una inspección en todas las 694 acometidas del sistema de agua potable El Corazón, con el fin de encontrar ruidos correspondientes a fugas en las acometidas domiciliarias. Finalmente, el geófono electrónico es el instrumento mediante el cual se determinará el sitio exacto de las fugas.

Cuando las condiciones ambientales no lo permitieren, la detección efectiva de las fugas debido a la circulación vehicular y ruido de la ciudad se deberá realizar en horario nocturno una vez que se haya obtenido el respectivo permiso de las autoridades locales. Luego que se haya identificado todos los sitios en los cuales existen fugas se notificará a la unidad operativa para que emita las respectivas órdenes de trabajo para la reparación de las mismas.

Proyecto de Catastro de Redes del Sistema de Agua Potable: Dentro de la elaboración del catastro de redes de agua potable existen 4 etapas necesarias que se listan a continuación:

- 1.- Elaboración de planos
- 2.- Elaboración de fichas técnicas
- 3.- Elaboración del plano para el control operacional
- 4.- Diseño e implementación del procedimiento para actualizar planos y fichas técnicas

Los planos que conforman el catastro de redes de agua potable son: Plano maestro, zonal y esquinero. El Plano Maestro es el plano base para la elaboración del catastro de redes, constituyéndose en una representación geográfica-urbana de la zona de estudio, en donde se resalta la ubicación de calles, parques, áreas residenciales, espacios públicos, etc.

Los Planos Zonales son parte del plano maestro para cada zona específica, en la cual se representa a mayor detalle las tuberías y accesorios de la red de distribución de agua potable. En los Planos Esquineros se ubican a detalle las tuberías, accesorios e interconexiones que forman parte de la red de distribución de agua potable del GAD Municipal.

Las fichas técnicas tienen como objetivo conformar el archivo de registro de datos y detalles técnicos más importantes de cada accesorio que se encuentre incorporada a la red de distribución del sistema de agua potable y constan de lo siguiente.

Localización: Zona, Esquina

Características: Material, Diámetro, Profundidad, Fecha de instalación

Tipo: Unión, Tubería, Ubicación, Rasante

Proyecto de Instalación de Macromedidores: Para determinar los sitios prioritarios en donde es necesario instalar macromedición se debe partir de un diagnóstico del sistema de macromedición actual, analizando la operatividad en los sitios donde existe macromedición y los sitios complementarios propuestos. Dentro de un sistema de agua potable es necesario disponer de macromedición en cada uno de sus procesos:

Captación: Es recomendable disponer de macromedidores en obras de captación de las fuentes, para controlar que ingresa al sistema de conducción.

Conducción: Es recomendable disponer de instalaciones intermedias en la conducción para identificar tramos con conducciones clandestinas y fugas.

Potabilización: En las plantas potabilizadoras es necesario disponer de macromedición a la entrada y salida de las mismas, para conocer con exactitud la cantidad de agua que se pierde en retrolavados, calcular la dosificación exacta de coagulantes, desinfectante y para determinar la eficiencia hidráulica de la planta potabilizadora.

Distribución: Para los sitios en donde exista red de distribución sectorizada es necesario contar con un sistema de macromedición para cada uno, con la finalidad de que su operación pueda ser comparada con el registro de micromedición de consumos y a su vez facilite la detección de pérdidas físicas y comerciales.

Existe una gran variedad de sistemas de medición de caudal para todo tipo de fluidos, pero para los sistemas de agua en donde se implican flujos a presión y flujos a superficie libre, es necesario medir con equipos más apropiados según el caso.

Proyecto de Sectorización de redes de Distribución: La sectorización se considera una etapa en la cual interviene recursos humanos y económicos, por lo que se necesita iniciar desde una planificación estratégica definida para la ciudad. Las principales etapas de la sectorización se listan a continuación:

- Planeación; Catastro de las redes de distribución de agua potable
- Análisis de los sitios destinados para la interconexión y abastecimiento de cada una de las subredes de agua
- Diseño de un sector piloto, incluyendo los accesorios necesarios como válvulas para el control de caudales e identificación de presiones
- Construcción de un modelo de simulación hidráulica en base al sector piloto diseñado
- Realizar ajustes del sector piloto en función del modelo simulado
- Construcción e instrumentación
- Operación y mantenimiento
- Ampliación del proyecto piloto a toda la red de distribución de agua potable

Para realizar la sectorización es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros:

Presión: La sectorización no debe afectar a la presión de servicio, por lo que debe construirse una malla cerrada de red de distribución

Calidad del agua: La sectorización debe garantizar la óptima distribución del servicio de agua potable considerando mantener la calidad del agua, para lo cual se evitará la formación de

finales de red de tal forma que el agua pueda circular sin restricciones en todo el sistema evitando la pérdida del agente desinfectante, acumulación de sedimentos.

Sectores: Los sectores deben estar conformados por una extensión de red que permita determinar la localización temprana de las fugas.

Caracterización de los circuitos: Los circuitos o sectores se realizarán en función de consumos similares de acuerdo a las categorías. Los sectores deben ser fácilmente reconocibles, tener límites hidráulicos definidos en función de la topografía.

Monitoreo: El objetivo de la sectorización es dividir la red en circuitos para controlar de manera efectiva el abastecimiento de agua potable. Para el correcto monitoreo se emplearán accesorios y equipos que permitan facilitar la información necesaria.

Mantenimiento: El mantenimiento se debe efectuar a través de estructuras by pass, con la finalidad de que los trabajos a ejecutarse no afecten al servicio.

3.5. Vinculación con acometidas domiciliarias para detectar irregularidades en el catastro de usuarios y conexiones clandestinas

3.5.1. Subprograma comercial de control de pérdidas

El Subprograma Comercial de Control de Pérdidas se encuentra estructurado por tres Proyectos de Mejora que son (Duran, 2014):

- Proyecto de instalación de micromedidores
- Proyecto de censo de usuarios y catastro de suscriptores
- Proyecto de detección y control de clandestinas

Proyecto de Instalación de Micromedidores: El GAD Municipal de Pangua proyecta abastecer a todo el cantón del líquido vital, para tal efecto es necesario disponer de una

infraestructura que permita mantener una dotación de agua continua y de óptima calidad, apta para el consumo humano y que abastezca a la totalidad de sus abonados.

Se deben buscar los mecanismos que permitan llegar al equilibrio entre la producción total de agua potable y la facturación mensual que se emite. Para encontrar este equilibrio se necesitan que todos los clientes abastecidos se encuentren en la base de datos de clientes y que posean un instrumento de medición que registre el real consumo de agua, de esta manera no se perjudicará a los clientes ni la empresa.

En la ciudad de El Corazón existen 694 conexiones de agua potable, de las cuales únicamente 570 disponen de micromedidores obteniendo una medición real del consumo. Es decir solo el 82,13 % posee medición y el 17,87 % se emite factura de manera estimada por consumo básico mensual. En el Capítulo V se establece las condiciones técnicas generales previas a la instalación de la micromedición.

Proyecto de Censo de Usuarios y Catastro de Suscriptores: El catastro tiene tres componentes entrelazados, los cuales no deben ser manejados de forma separada, estos son: Planos, Información y Sistema Informático que permite administrar la base de datos de forma eficaz.

Para establecer la planeación y programación del Censo es necesario la organización del personal y definición de funciones, posteriormente a esto se define el formulario del Censo conjuntamente con el plano de ruta para el levantamiento de encuestas.

Es necesario establecer el diseño de rutas de recorrido por cada una de las manzanas para el catastro de usuarios. Una vez listo todo el recurso necesario para la realización del Censo de usuarios, se realiza la verificación, procesamiento y sistematización de los datos para la obtención de resultados confiables.

Proyecto de Detección y Control de Clandestinas: Las herramientas necesarias para la detección de conexiones clandestinas son: el catastro de redes domiciliarias (padrón), un croquis de la zona de estudio, un formato físico y digital de toma de datos para contrastar la información encontrada en la inspección con la información existente.

Estas acciones se realizan con la finalidad de detectar irregularidades en el listado de usuarios que se encuentran vinculados a la red de distribución de agua potable. Para lo cual se compara el padrón de usuarios actual con la información levantada en campo. Dentro de las principales irregularidades presentadas se mencionan las siguientes:

- a) Usos distintos al descrito en el padrón de usuarios
- b) Equivocación en la existencia de micromedidor
- c) Nombre del usuario sin actualizar
- d) Usos fraudulentos y clandestinos

Para desarrollar esta actividad se inicia con la selección de rutas de recorrido, utilizando un croquis de la zona de distribución y para un mejor desarrollo de esta actividad es recomendable seguir el mismo recorrido adoptado en la toma de lecturas de consumos en micromedidores.

Seguidamente se corrobora el nombre del usuario, la existencia de varias tomas domiciliarias en el mismo predio el estado físico del micromedidor, la correspondencia con el número de contrato y serie catastral, la existencia de fugas y se descarta la posibilidad de un fraude o clandestinaje.

3.6. Estimación de consumos medidos autorizados y no medidos autorizados

3.6.1. Estimación de consumos medidos autorizados

Se estima el volumen de consumo medido autorizado partiendo como base de la información del padrón de usuarios con la estadística de volumen consumido obtenida de la

micromedición, indistintamente del tipo de usos, sean estos: comerciales, domésticos, industriales o especiales. Se registra estos consumos medidos autorizados como consumos medidos autorizados sin corregir, debido a que puede haber errores de lectura o exactitud de los micromedidores durante el proceso de registro de información (Sanchez , Florez , & Mejía , 2003).

El GAD Municipal de Pangua registra a diciembre de 2017, 694 acometidas de agua potable de las cuales disponen de micromedición únicamente 570 (GAD PANGUA, 2017).

3.6.2. Estimación de consumos no medidos autorizados

Es necesario estimar el volumen de agua consumido por los 124 usuarios con tomas domiciliarias autorizadas por el organismo operador que no cuentan con micromedidor, para incluirlos en el balance de agua del sistema. Comúnmente se aplica un volumen fijo de consumo por mes en base a estadísticas correspondientes al promedio mensual de metros cúbicos consumido por la población en estudio (Duran, 2014).

Los consumos no medidos autorizados se registran en un formato donde se pueda observar el consumo por mes, estos volúmenes de agua no medidos y autorizados también deberán ser cuantificados con el fin de obtener una mejor estimación de las potenciales pérdidas de agua en el sistema (Bourguett & Ochoa, 2001) (Ver Anexo 2).

3.7. Balance hídrico y sectorización de redes

El balance hídrico se efectuó entre los volúmenes entregados al sistema de distribución y los volúmenes que salieron del mismo sistema. El sistema de agua potable de la ciudad de El Corazón dispone de tres circuitos de red de distribución divididos en parte alta, media y baja de la ciudad. Estos circuitos (Ver Figura 4.) no disponen de macromedición sino únicamente a la salida de la planta, por tal razón el balance hídrico se lo calculó para todo el sistema de agua potable y sus 694 acometidas domiciliarias.

Para el cálculo del balance hídrico se tomará en cuenta los siguientes parámetros (International Water Association, 2003):

- Volumen (m³) suministrado al sistema de distribución
- Consumo (m³) autorizado facturado

3.8. Diagnóstico y estimación de pérdidas potenciales totales

Las pérdidas potenciales totales ya sean físicas o comerciales corresponden al volumen de agua que ha sido suministrado a la red de distribución y que se desperdicia, sea por fugas permanentes que no han sido detectadas, o agua que es consumida por los usuarios sin control alguno del organismo operador del sistema.

Las pérdidas potenciales totales para este caso de estudio se determinan en función de la estimación de consumos medidos autorizados y no medidos autorizados, así como también a través de las fugas en redes de distribución analizada su metodología en el numeral 3.6 y 3.4.3 de este estudio respectivamente.

Posteriormente se calculó el índice estructural de fugas conocido como ILI por sus siglas en inglés, el cual es el resultado de la relación entre la pérdida real (PR) y la pérdida inevitable (PI) (International Water Association, 2003):

$$ILI = PR/PI \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Este índice determina la categoría en la que se encuentra la entidad prestadora del servicio de agua potable, en la Tabla 7 se presenta las categorías según el tipo de países.

Tabla 7.
Índice de Illi

	CATEGORÍA	ILI
PAÍSES DESARROLLADOS	A	1 - 2
	B	2 - 4
	C	4 - 8
	D	> 8
PAÍSES EN DESARROLLO	A	1 - 4
	B	4 - 8
	C	8 - 16
	D	> 16

Fuente: (International Water Association, 2003)

3.9. Determinación del índice de agua potable no contabilizada

Mediante la identificación y estimación de las fugas de agua existentes en todo el sistema de red de agua potable se determinó el Índice de Agua No Contabilizada (IANC), tomando en cuenta la información del proceso de investigación de este proyecto, ya que se logra identificar la pérdida de volumen de agua de la siguiente manera (Ress & Roberson, 2016):

- Agua producida (m³)
- Agua facturada (m³)

El indicador Índice de Agua No contabilizada (IANC) abarca las pérdidas de agua tanto técnica como comercial. La cantidad de agua que se pierde en un sistema es un indicador importante en la evolución positiva o negativa de la eficiencia en la prestación de servicio. El índice de agua no contabilizada se expresa como una fracción del agua producida (Ress & Roberson, 2016).

$$IANC = \frac{VP-VF}{VP} \times 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

IANC= índice de agua no contabilizada

VP = volumen de agua producida (m^3) que la entidad introdujo al sistema de distribución en un periodo de tiempo determinado.

VF= volumen de agua facturada (m^3) en periodo de tiempo determinado.

El agua no contabilizada corresponde a pérdidas técnicas y comerciales. Las pérdidas técnicas se calcularon en función de las pérdidas inevitables y pérdidas en la tubería de distribución, mientras que las pérdidas comerciales se calcularon en función del consumo de conexiones sin micromedición.

Luego de la cuantificación del agua no contabilizada, de las pérdidas comerciales y de las pérdidas técnicas se procedió al desarrollo de los Planes de Mejora en el Capítulo V para el control de pérdidas de agua potable.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Información general levantada

4.1.1. Captación

El sistema de agua potable de la ciudad de El Corazón, Cantón Pangua, Provincia de Cotopaxi, se abastece de tres vertientes para la captación de agua cruda: Langaló, Yasaucho y El Tingo. Estas vertientes disponen de una estructura simple considerada como toma directa y no poseen sistema de medición para el registro de caudales, razón por la cual para efectos de este proyecto de investigación se realizaron aforos volumétricos en cada una de estas. En la Tabla 8 se presenta los caudales aforados.

Tabla 8.

Caudales captados aforados método volumétrico, diciembre 2017

Fuente	Coordenadas		Caudal aforado (L/s)
	Longitud UTM	Latitud UTM	
Langaló	9872202	717924	6,41
Yasaucho	9874110	715254	2,47
El Tingo	9873512	715144	3,16
Total:			12,04

Estas vertientes actualmente no disponen de autorización otorgada por la Secretaría del Agua para utilizar el recurso hídrico, por lo que se recomienda a la Dirección de Planificación conjuntamente con la Coordinación de Agua Potable y Alcantarillado realizar los trámites pertinentes para obtener la legalidad de sus fuentes que abastecen al sistema de agua.

El agua cruda es conducida a través de tubería PVC con diámetros de 110 mm y 90 mm, desde las tres captaciones hasta la Planta de Tratamiento de Agua Potable ubicada en el barrio

Muligua de la ciudad de El Corazón. El sistema de abastecimiento de agua potable para la ciudad está compuesto de las siguientes unidades: captación vertiente Langaló, captación vertiente Yasaicho, captación vertiente El Tingo, conducciones de agua cruda, planta de tratamiento, tanque de reserva de 400 metros cúbicos, redes de distribución, bocas de fuego y conexiones domiciliarias.

Captación langaló:

La captación de esta vertiente se realiza a cielo abierto, es captada en forma directa en tuberías de PVC de 110 y 90 mm. La tubería de conducción del agua de Langaló inicia en la cámara de válvulas de la captación en tubería de PVC de 110 mm en una longitud aproximada de 800 metros, cambiando luego su diámetro a tubería de PVC de 90 mm antes del primer paso elevado, hasta llegar a la Planta de Tratamiento. En la Figura 7 se presenta la captación de Langaló.



Figura 7. Captación Langaló

Según los planos entregados por el Gobierno Municipal, la tubería de conducción tiene una longitud de 5.944 metros entre la captación y la planta de tratamiento de agua potable, existiendo un desnivel de 368 metros; la presión generada por este desnivel es controlada por los 3 tanques rompe-presión los mismos que se presentan en la Figura 8 y se encuentran en buen estado de funcionamiento, pero sin cerramiento. La conducción en su tramo inicial en ciertas partes se encuentra a la vista, para luego continuar por la ladera del cerro hasta implantarse en campo a una profundidad media de 0,80 metros.



Figura 8. Tanques rompe presión

Captación de El Tingo:

Las aguas se captan a cielo abierto mediante una estructura compuesta por muros de confinamiento que conducen el agua hacia un cajón de paredes de hormigón controlado por una compuerta metálica. En la Figura 9 se presenta la captación de El Tingo.

Se inicia con tubería de PVC de 90 mm desde la captación y se desarrolla en una longitud de 4 100 metros hasta llegar a la planta de tratamiento y consta de 3 tramos bien definidos. El primer tramo va desde la captación hasta el tanque rompe presión No.1 en una longitud aproximada de 2 000 metros; el segundo tramo va hasta el tanque desarenador ubicado unos 300 metros aguas abajo y el tramo tercero con una longitud de 1 800 metros llega hasta la planta de tratamiento.



Figura 9. Captación El Tingo

Captación de Yasaucho:

Sus caudales se captan a cielo abierto y se concentran en un tanque recolector desde donde se conduce el agua en tubería PVC de 90 mm hacia el tanque desarenador y luego hasta la planta de tratamiento, la longitud total de la conducción es de aproximadamente 2 100 metros. En esta vertiente en el invierno se capta un caudal de hasta 4 litros por segundo y en verano disminuye hasta 0,70 litros por segundo, lo que contribuye a mantener el caudal requerido en la planta de tratamiento. En la Figura 10 se presenta la captación de Yasaucho.



Figura 10. Captación Yasaucho

4.1.2. Planta de tratamiento

La Planta de Tratamiento se encuentra ubicada al oriente de la ciudad, en el barrio Muligua a una altura promedio de 1 580 m.s.n.m. El agua que llega a la planta de tratamiento proviene de las tres vertientes mencionadas anteriormente. En el año 2 009 se realizaron ampliaciones en la planta de tratamiento la misma que antes de éstos trabajos estuvo conformada por 2 filtros lentos con un área total de filtración de 214 metros cuadrados, caseta de cloración, tanque de reserva de 400 metros cúbicos de capacidad neta con sus correspondientes cámaras de válvulas.

En la mencionada ampliación se construyó un sistema para coagulación que lo componen un canal Parshall, caseta de químicos para la adición de hipoclorito de sodio y coagulante en solución, 1 floculador de flujo vertical con placas de 0,40 x 2,40, un sedimentador simple de 4,90 x 2,40 con una profundidad de 3,40 metros y otro sedimentador de placas inclinadas sumergidas de 1,20 x 2,40 completando el sistema con 2 filtros lentos adicionales con 95 metros cuadrados de

área de filtración y una caseta de desinfección mediante ozono. En la Figura 11 se presenta la Planta de Tratamiento de agua potable El Corazón.



Figura 11. Planta de Tratamiento de Agua Potable

Estas estructuras sirven para la potabilización del agua que se entrega a la comunidad, actualmente la planta trabaja 24 horas al día procesando un caudal promedio de 12 litros por segundo aplicando los procesos de pre cloración, adición de coagulante, mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración lenta y post cloración, proceso que en su totalidad se lo realiza a gravedad.

El caudal de ingreso a la Planta se aforó volumetricamente el día 04 de diciembre del 2017 obteniéndose en el aforo el ingreso 6,40 L/s de Langaló, y del Tingo y Yasaicho un caudal de 5,60 L/s, dando un caudal total de tratamiento de 12,00 L/s, siendo la necesidad real de la comunidad 7,29 L/s (180 L/hab/día, 3500 hab) como Consumo Medio Diario (SENAGUA, 2014). En la Figura 12 se presenta las estructuras de filtración ubicadas en la planta de tratamiento.



Figura 12. Planta de Tratamiento de Agua Potable

El GAD Municipal de Pangua no dispone de un registro histórico de caudales medidos al ingreso de la planta. Desde el año 2 017 posee de un registro mensual de caudales de agua potable que salen de la planta de tratamiento para su distribución.

La Planta de Tratamiento trabaja las 24 horas del día procesando un caudal promedio de 12,00 L/s y siendo el consumo medio diario de 7,29 L/s calculado a partir de la dotación de 180 L/hab-día y considerando 3 500 habitantes; es decir existe una diferencia de 4,71 L/s que se están procesando inútilmente, desperdiciando los productos químicos empleados para la potabilización del agua.

Esta diferencia de caudales indica que existe un grave problema de fugas. A continuación, se presenta la Figura 13 en donde se esquematiza los caudales y sus orígenes.

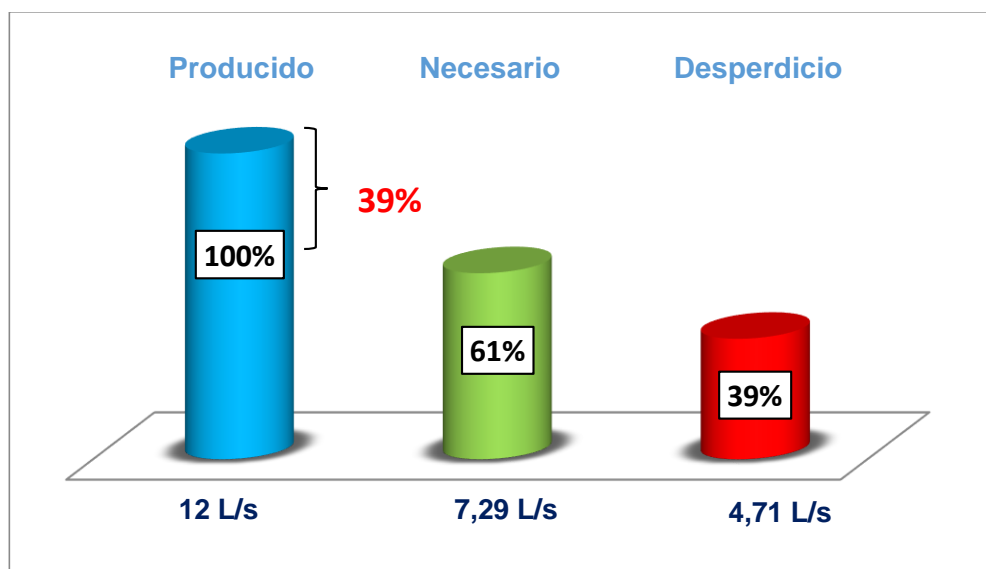


Figura 13. Caudal producido y perdido

4.1.3. Distribución

El tanque de reserva tiene forma circular y almacena 400m³ para distribuir al centro urbano de El Corazón, en la salida del tanque de reserva existen 2 macromedidores que registran el consumo de agua de manera permanente. En la Tabla 9 se presenta el caudal que sale de la planta de tratamiento mensualmente registrado para el año 2 017.

Tabla 9.

Caudales producidos en la planta de tratamiento (m³/mes) en el 2 017

Caudales producidos en la planta de tratamiento (m ³ /mes)											
ENE	FEB	MAR.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
31 182	31 234	31 078	30 715	31 234	31 959	31 778	31 130	31 285	31 156	31 208	31 104

A continuación se presenta en la Figura 14 la reserva de 400 m³ existente en la planta de tratamiento del sistema de agua potable El Corazón.



Figura 14. Tanque de reserva de 400 m³

Dada la topografía del sector existen desniveles considerables de hasta 150 metros entre los extremos de la ciudad que va decreciendo en altura desde la Planta de Tratamiento que está ubicada a 1 580 m.s.n.m. hasta la parte más baja con servicio que es la gasolinera que se asienta al lado de la vía que conduce a Moraspungo y se ubica en la cota 1 429 m.s.n.m.

En atención a ésta particularidad las redes de distribución están compuestas por tres circuitos independientes con tanques rompe presión para cada uno de ellos. La salida del agua desde el Tanque de Reserva hasta la red de distribución se realiza en dos tuberías independientes, una de 160 que abastece a los Circuitos 1 y 3 y la otra de 110 mm, para el circuito 2.

Las mallas principales de los circuitos están conformadas por tuberías de PVC de 63 milímetros y tuberías secundarias en diámetros de 25 a 50 mm. El circuito 1 cubre las necesidades de la parte oriental de la ciudad, considerando un aspecto particular de éste circuito es que extiende sus ramales de distribución a los predios de las calles Benedicto Tobar, Ramón Campaña, Abdón

Calderón y Alberto Flores en su intersección con la Simón Bolívar cuya área de influencia corresponde al Circuito 2.

El circuito 2 abastece la parte central de la ciudad y presenta un inconveniente en el tramo de tubería instalado en la calle García Moreno desde la Abdón Calderón hasta la esquina del Coliseo la presión del agua es inferior a los 2 metros y llega de manera deficiente a los domicilios; esto se debe a la inadecuada ubicación del Tanque Rompe Presión.

El circuito 3 cubre las necesidades del sector occidental de la ciudad. Inicia en el Tanque Rompe Presión 3 y en su recorrido permite las acometidas para los predios ubicados al Norte del parterre central de la Avenida General Enríquez. La malla principal inicia a la altura de la calle Primero de Junio y se estructura con ramales abiertos sin existir una malla cerrada en donde se regulan hidráulicamente las presiones.

4.1.3.1. Tuberías antiguas existentes en las redes

En conjunto con las tuberías de PVC de la red de distribución en servicio se encuentran las tuberías de acero y de hierro galvanizado que fueron instaladas en forma gradual desde que se inició el sistema hace aproximadamente 77 años.

En la Figura 15 se muestra las tuberías que están fuera de servicio y en la investigación realizada se verificó que por su interior circula agua a presión, deduciéndose que existe interconexión con las tuberías de PVC de las redes que actualmente están en servicio.

Esta situación obliga a que la Planta de Tratamiento trabaje innecesariamente las 24 horas del día para abastecer la ciudad de El Corazón.



Figura 15. Tubería de hierro, calle Sucre

4.1.3.2. Presiones de servicio

Debido a la topografía de la ciudad y a la conformación de los circuitos de distribución las presiones de servicio son diferentes en las distintas zonas, variando también dentro de cada uno de los circuitos, tal como se observa en la Tabla 10. De las 694 viviendas con conexiones domiciliarias instaladas se tomaron registros en 15 de ellas, las presiones altas observadas en los diferentes predios deben disminuirse a través de la instalación de válvulas reductoras de presión. En la Figura 16 se presenta una de las mediciones de presión realizada.



Figura 16. Medición de presión

La presión promedio calculada en las redes de distribución para el sistema de agua El Corazón corresponde a 37,97 m.c.a.

Considerando que en la ciudad de El Corazón existen varias edificaciones de madera y con varios antecedentes de incendios ocurridos en años anteriores, se encuentran instaladas 45 Bocas de Fuego de las cuales están en servicio 26 unidades; en varios sitios se encuentran muy cercanas entre sí y en ocasiones en sitios de incómodo acceso o en la calzada. Los hidrantes instalados cumplen con el Reglamento (MIES, 2008), el cual estipula que se debe disponer de un hidrante cada 200m.

Varias bocas de fuego como se encuentran en la calzada están en deterioro, sin tapones de seguridad y conectadas a la red nueva, desde donde son utilizadas por personas ajenas al Cuerpo de Bomberos. En la Figura 17 se presenta un hidrante ubicado en la calle Ramón Campaña y Primero de Junio, el cual se encuentra en la calzada y sin su respectiva tapa.



Figura 17. Hidrante deteriorado

Tabla 10.
Presiones de servicio en las redes de distribución

Muestreo de presiones de servicio en las redes de distribución				
Circuito	Muestra	Presión (mca)	Dirección del predio	Propietario
1	1	17,59	Alberto Flores (frente a piscina)	Lautaro Pérez
	2	59,80	Calle 14 (SS.HH.)	Municipio
	3	64,72	Simón Bolívar y Ramón Campaña	Gonzalo Vizquete
	4	45,02	García Moreno y escalinata única	Rodrigo Falcón
	5	12,66	Luis Tobar y 24 de Mayo	Belisario Yunapanta
2	6	12,66	Ramón Campaña y SN	Ángel Jaramillo
	7	17,59	Alberto Flores y Sucre	Juan Falcón
	8	17,59	Primero de Junio y Ramón Campaña	Osorio Barrionuevo
	9	66,13	Primero de Junio y SN	Hospital
	10	40,80	Gral. Enríquez y Simón Bolívar	Hotel Carrillo
3	11	47,84	Gral Enríquez y Calle 12	Cristóbal Barrionuevo
	12	45,02	Ramón Campaña y Calle 12	Wilson Candilejo
	13	73,16	Vía Moraspungo	Gasolinera
	14	19,70	Ramón Campaña y 1o. De Junio	Daisy Guerrero
	15	29,55	1o. Junio y calle 13	Luis Albarracín

4.1.4. Conexiones domiciliarias

Las conexiones domiciliarias también son un punto que provocan grandes desperdicios de agua cuando no son instaladas adecuadamente o cuando se realiza una reparación de la tubería de acometida.

En la Figura 18 se observan tres modalidades de las conexiones domiciliarias existentes en las que se han utilizado accesorios de varios tipos; se observan abrazaderas y pernos metálicos susceptibles a corrosión y deterioro provocando fugas a mediano plazo.

Cuando se produce una rotura en la tubería de acometidas domiciliarias, las reparaciones efectuadas no se realizan de manera adecuada, tal es el caso de la Figura 19 en donde se muestra que se reparó calentando la tubería y amarrando con alambre, desatando posteriormente una notable pérdida de agua.



Figura 18. Conexiones domiciliarias



Figura 19. Acometidas domiciliarias

Existe casos que cuando se ha producido roturas en las acometidas domiciliarias se realizan reparaciones provisionales cubriendo la fuga con ligas de caucho, pero éstas reparaciones quedan como definitivas, convirtiéndose en una proxima fuga a mediano plazo.

En muchos casos la tubería de acometida se encuentra al aire libre sin ninguna protección, por lo que es accesible acualquier transeúnte con el peligro latente de roturas que generalmente cuando están fuera del centro de la ciudad no son detectadas o denunciadas y se constituyen en otros puntos de pérdidas del agua. En la Figura 20 se presenta la tubería descubierta de una acometida sobre la vereda.

Existen actualmente 570 medidores instalados, una parte se encuentran fuera de servicio, estando su mayoría sin protección y expuestos a manipulación, daños, deterioro o sustracción. En las Figuras 21 y 22, se evidencian lo indicado.



Figura 20. Acometida domiciliaria al aire libre



Figura 21. Acometida sin protección



Figura 22. Acometida sin protección

Existen muchos predios que no tienen su correspondiente medidor como el caso de la Figura 23, en que un edificio de 06 departamentos apenas cuenta con 02 medidores para ellos. En este caso está a la vista la falta de medidores para los departamentos y no se trata de ninguna conexión clandestina.



Figura 23. Acometida edificio calle Sucre

El déficit de agua potable se acentúa por el uso que se le da, en muchos casos la desperdician o es utilizada en otras actividades diferentes al consumo humano, como el lavado vehículos de calles, espacios ornamentales riego de sembríos domésticos y tuberías rotas o desconectadas en terrenos que no tienen edificación. Algunos ejemplos se muestran en las Figuras 24 y 25.



Figura 25. Lavado de vehículos



Figura 24. Lavado de vehículos

4.2. Evaluación de pérdidas técnicas

Para la evaluación de las pérdidas técnicas y comerciales se realizó la medición de caudales a la salida de la planta de tratamiento y se cuantificó el caudal medido facturado mensual, de tal forma que se determine las pérdidas reales de agua en el sistema. A continuación en la Tabla 11 se presentan los caudales distribuidos y facturados mensualmente durante el año 2 017 (Ver Anexo 3).

Tabla 11.

Caudales mensuales producidos y facturados año 2 017

Caudales producidos y facturados (m ³ /mes)											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
31182	31234	31078	30715	31234	31959	31778	31130	31285	31156	31208	31104
9159	10144	8281	9557	10229	8762	10255	12041	9824	10942	11346	9845

El promedio mensual de los caudales de agua potable entregados a la red de distribución para el año 2 017 es de 31 255 m³/mes, mientras que para la facturación únicamente se registró un volumen de 10 032 m³/mes, lo que equivale a 21 223 m³/mes de pérdidas (8,19 L/s). En la Figura 26 se presenta los caudales producidos y facturados mensualmente para el año 2 017.

Las pérdidas técnicas inevitables se encuentran calculadas en función de la longitud de la red de distribución, conexiones domiciliarias, longitud de las acometidas y la presión promedio del sistema, como se explicó en la metodología. En la Tabla 12 se presenta el cálculo de estas pérdidas para cada uno de sus componentes.

Los valores de 25, 18 y 0,80 corresponden a los coeficientes de la fórmula de cálculo para hallar el caudal de las pérdidas inevitables. La red de distribución del sistema de agua potable El Corazón tiene una longitud de 6,10 km y una tubería de 3,47 km correspondiente a 694 acometidas.

El caudal calculado de pérdidas inevitables con relación a la tubería de distribución y accesorios es equivalente a 0,33 L/s.

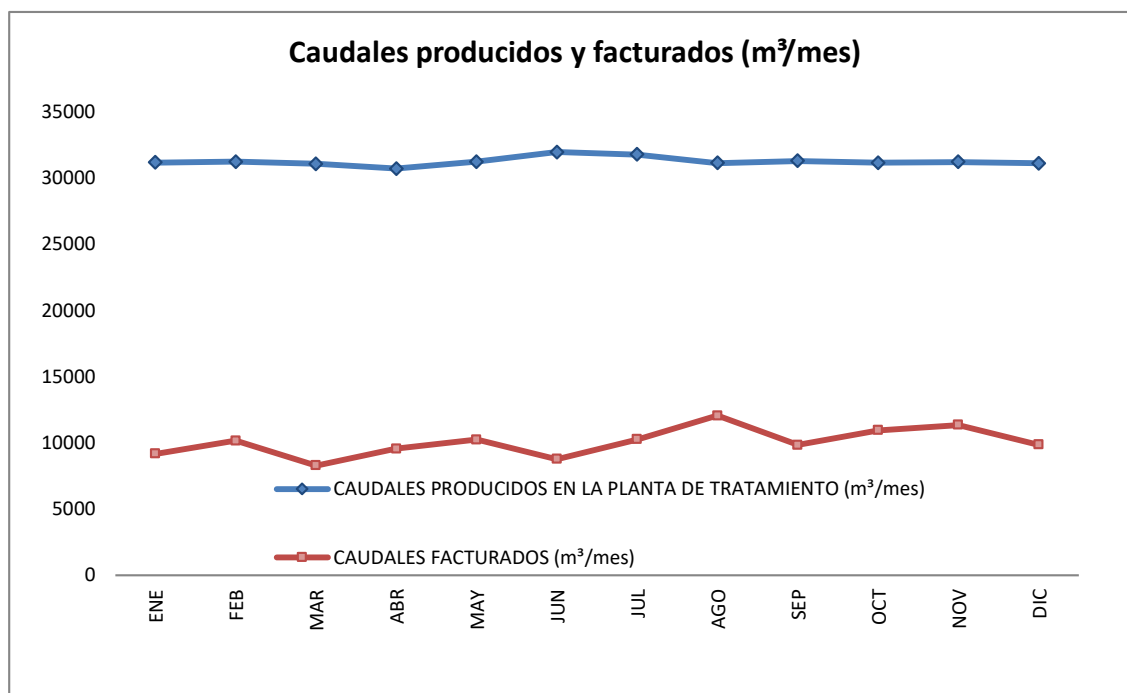


Figura 26. Caudales producidos y facturados

Tabla 12.

Cálculo de pérdidas inevitable

	Componentes			
	Red de distribución (Lred)	Conexiones domiciliarias (Nc)	Tubos de acometidas (Lacom.)	Presión promedio
Unidad	km	U	km	m.c.a.
Sistema de agua potable El Corazón				
Coef.	18	0,80	25	
Datos	6,10	694	3,47	37,97
Cálculo	109,80	555,20	86,75	
Pérdidas inevitables	L/día	28 543,95		
	L/s	0,33		

Para determinar las pérdidas técnicas reales se realizó un monitoreo del caudal a través de los macromedidores ubicados a la salida de la planta en un período de 24 horas. Los caudales en el transcurso del día son variables, pero en la noche llegan a estabilizarse manteniéndose desde las 20:00 horas hasta las 23:00 horas un caudal promedio de 8,30 L/s. Una vez que se mantiene el caudal constante se realizó el cierre de las llaves de paso de todas las acometidas para determinar el caudal de las pérdidas técnicas reales, el cual fue de 7,30 L/s, desde las 0:00 horas hasta las 03:00 horas que se mantuvo cerradas las llaves de paso. En la Figura 27 se muestra la variación del caudal distribuido en L/s para un período de 24 horas.

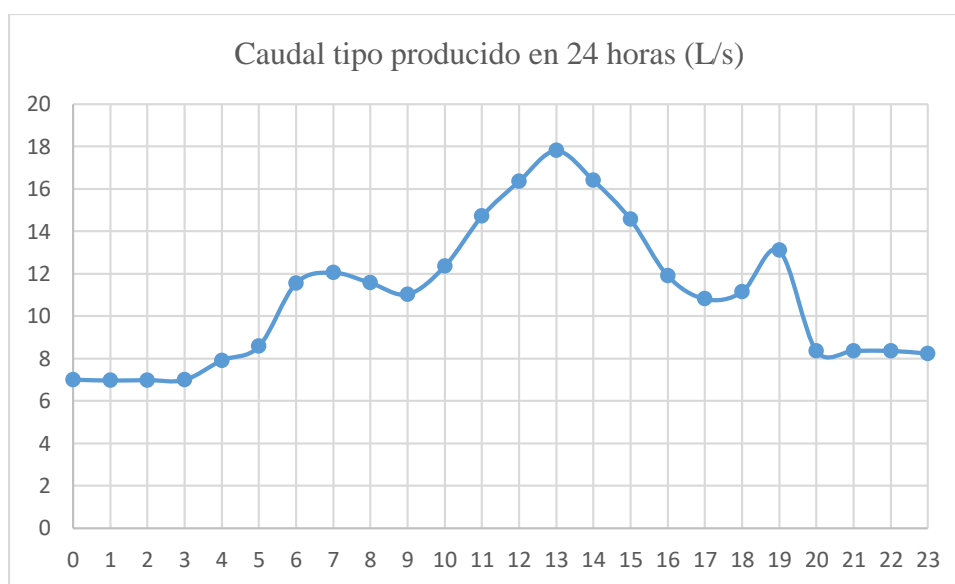


Figura 27. Caudal producido en 24 horas

Una vez calculado el caudal de pérdidas reales se realizó la corrección a través de la Ecuación 2, ya que fue calculado en horas de la noche en donde la presión es la máxima, sin embargo, las pérdidas se producen de manera continua. En la Tabla 13 se presenta el cálculo del caudal de pérdidas medias ajustado a la corrección de presión.

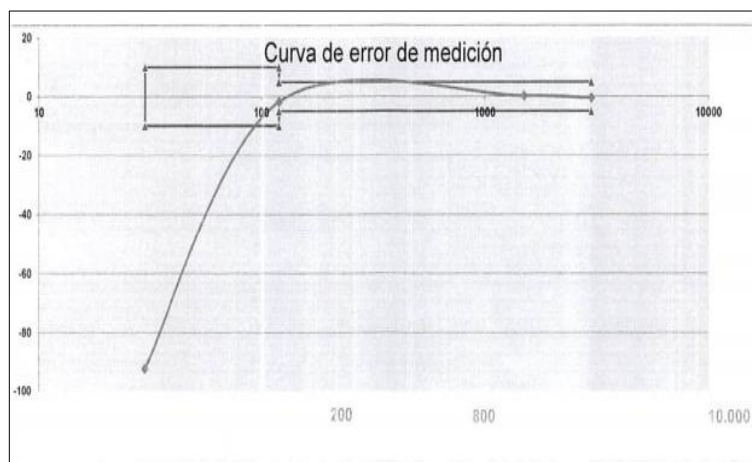
Tabla 13.*Presiones y pérdidas de agua*

Circuito	Presiones (m.c.a.)			Coeficiente		Pérdidas reales (L/s)	
	Min	Pro	Max	Puntual	Sector	Normal	Ajustada
C1	60,67	62,69	64,70	0,97			
C2	60,30	63,20	66,10	0,96	0,96	7,30	6,99
C3	65,34	69,24	73,14	0,95			

Para cada uno de los sitios de presiones máximas en los tres circuitos se hallaron las presiones mínimas, y en función de estos datos se calculó la presión promedio y puntual del sector para determinar el caudal de pérdidas reales corregido. Mediante la corrección por presión al caudal de pérdidas técnicas reales se determinó el valor de 6,99 L/s como pérdidas técnicas medias.

4.3. Evaluación de pérdidas comerciales

El ensayo de los medidores fue realizado en el laboratorio de la Empresa de Agua Potable de Quito EPMAPS, verificando el error de medición para caudal máximo, caudal nominal, caudal total y caudal mínimo. En la Figura 28, se presenta la curva de error de medición para un medidor tipo.

**Figura 28.** Curva de error de medición

El eje de las “x” corresponde a los caudales máximo (3.000 L/h), nominal (1.500 L/h), total (120 L/h) y mínimo (30 L/h) para los cuales fueron ensayados los medidores. En el eje de las “y” se grafica el valor del error correspondiente a cada caudal de prueba.

El error de medición se considera aceptable cuando se encuentra entre +- 5,00 L/h para caudales máximo, nominal y total, mientras que para caudales mínimos el error aceptable es de +- 10 L/h. En la Tabla 14 se presenta el resultado del ensayo de los medidores con su correspondiente serie, marca del medidor, diámetro y si cumple o no la prueba.

En la Tabla 14 de resultados se puede observar que el 50 % de los micromedidores ensayados no cumple con la prueba del Q mínimo.

Tabla 14.
Prueba de ensayo de medidores

N	Informe de ensayos	Nro Serie	Marca	Diámetro	Cumple
1	GCCL-2018-035	81167864	Bar meters	15 mm	No
2	GCCL-2018-036	81167912	Bar meters	15 mm	No
3	GCCL-2018-037	81168074	Bar meters	15 mm	No
4	GCCL-2018-038	A13N944220	Elster	15 mm	Si
5	GCCL-2018-039	81168563	Bar meters	15 mm	Si
6	GCCL-2018-040	A13N944249	Elster	15 mm	No
7	GCCL-2018-041	A13N944364	Elster	15 mm	Si
8	GCCL-2018-042	81167876	Bar meters	15 mm	Si
9	GCCL-2018-043	81169175	Bar meters	15 mm	No
10	GCCL-2018-044	81168584	Bar meters	15 mm	Si

El cálculo de consumo no medido autorizado, se determinó a partir de las 124 acometidas que no disponen de medidor para un consumo promedio de 18,24 m³/mes, obteniéndose un caudal de 2 261,76 m³/mes, equivalente a 0,86 L/s que corresponden a pérdidas comerciales.

4.4. Gestión del sistema de agua potable

El enorme gasto de agua potable en la ciudad tiene varios orígenes, cuyas principales causas se han detectado y han podido ser captadas y presentadas en el resumen de fotografías que anteceden a éstos párrafos.

Las pérdidas principales están localizadas en las tuberías de hierro antiguas, en las que abastecen a los hidrantes y en las acometidas domiciliarias de las redes de distribución. El desperdicio principal es el lavado de vehículos, calles de la ciudad y en las instalaciones interiores de edificios y viviendas que no poseen micromedidor. Los circuitos de agua potable no disponen de macromedición independiente y solo el circuito tres ha sido reparado en su totalidad hace aproximadamente 4 años, mientras que las demás redes de distribución ya han cumplido con su vida útil.

El agua potable no contabilizada en el cantón Pangua para el sistema de agua El Corazón corresponde a la diferencia entre el volumen de agua que sale de la planta y volumen de agua facturado. Para efecto de este análisis se ha calculado el IANC en función del caudal promedio mensual del año 2017, obteniéndose un valor de 67,90%. Según la metodología de la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles recomienda mantener el IANC bajo el 30% para ser considerado como óptimo (Jaramillo Ochoa, 2017). En la Tabla 15 se presenta el cálculo del IANC.

Tabla 15.
Índice de agua no contabilizada

	No. Usuarios	Sist. de agua potable El Corazón	
		m ³ /mes	L/s
Q facturado		10 032	3,87
Q distribuido	694	31 255	12,06
IANC (%)		67,90	

Con el resultado anterior se cuantifica las pérdidas aparentes y a las pérdidas reales en función del índice de agua no contabilizada para lo cual se realiza el balance hídrico.

$$Q \text{ distribuido} = 12,06 \text{ L/s}$$

$$Q \text{ facturado} = 3,87 \text{ L/s}$$

$$Q \text{ pérdidas técnicas finales} = 0,33 \text{ L/s (pérdidas inevitables)} + 6,99 \text{ L/s (pérdidas técnicas)} = 7,32 \text{ L/s}$$

$$Q \text{ pérdidas comerciales} = 0,86 \text{ L/s (consumo sin medidor)} = 0,86 \text{ L/s}$$

$$Q \text{ dist.} = Q \text{ fact.} + Q \text{ pérdidas técnicas} + Q \text{ pérdidas comerciales}$$

$$12,06 = 3,87 + 7,32 + 0,86$$

En la Tabla 16 se presenta el cálculo del Índice estructural de fugas Illi para el sistema de agua El Corazón. Los valores correspondientes a ILI mayores de 16 se ubican dentro de la categoría D con malas condiciones de infraestructura y se considerarán como inaceptables dentro de los países en desarrollo, por lo que es necesario promover acciones inmediatas para disminuir el porcentaje de fugas existentes en la red de distribución.

Tabla 16.

Cálculo del índice estructural de fugas

Sistema	PR	PI	ILI
El Corazón	6,99	0,33	21,18

La Planta de Tratamiento se encuentra procesando aproximadamente un caudal promedio de 12 L/s durante las 24 horas que significan 1 036,80 m³/día y equivale a una dotación de 296,23 L/hab*día. De acuerdo a este estudio el consumo medio diario de la comunidad actual debe ser de 7,29 L/s que significan 629,86 m³/día, para una dotación de 180 L/hab*día.

La diferencia entre el volumen de agua producido en la planta de tratamiento y el consumo estimado de la comunidad es de 406,94 m³/día, siendo el desperdicio diario el 39,25% del volumen producido. Sin embargo, al no disponer del 100% de micromedición, la diferencia real entre el volumen captado y el volumen facturado indica unas pérdidas de 67,90%, que equivale a 707,77 m³/día (21 233,12 m³/mes).

Producir un metro cúbico de agua potable en Latino América cuesta en promedio \$ 0,40 ctvs. (ADERASA, 2013). En el cantón Pangua el costo es de \$ 0,36 ctvs. Se presenta en la Tabla 17 el análisis de dinero perdido.

Tabla 17.

Cálculo de pérdidas de agua potable en m³ y dólares.

	Mensual	Anual
Volumen producido (m ³)	31 255	375 060
Volumen facturado (m ³)	10 032	12 0384
Pérdida (m ³)	21 223	254 676
Pérdida (\$)	7 640,28	91 683,36

A nivel de Latino América el promedio de pérdidas de agua potable es de 42,22 % (ADERASA, 2013). En el cantón Pangua el porcentaje de pérdidas de agua es el 67,90% y esto representado en dinero corresponde a \$ 7 640,28 mensual y \$ 91 683,36 anual. Ahora calculando para el período de 5 años que dura una alcaldía el valor de la pérdida asciende a \$ 458 416,80, dinero que puede ser empleado en la ejecución de los planes y proyectos desarrollados en el Capítulo V, los cuales conllevarán a brindar un servicio de agua potable de calidad y con eficiencia.

CAPÍTULO V

PROGRAMA DE CONTROL DE PÉRDIDAS

5.1. Subprograma comercial

El subprograma comercial de control de pérdidas está conformado por los Proyectos de Instalación de Micromedidores, Censo de Usuarios y Catastro de Suscriptores, Detección y Control de Clandestinas.

5.1.1. Proyecto de instalación de micromedidores

5.1.1.1 Antecedentes

El GAD Municipal de Pangua a través de la Coordinación de Agua Potable y Alcantarillado, provee los servicios de agua potable a la ciudad de El Corazón. Esta Institución proyecta abastecer a todo el cantón del líquido vital, para tal efecto es necesario disponer de una infraestructura que permita mantener una dotación de agua continua y de óptima calidad, apta para el consumo humano y que abastezca a la totalidad de sus abonados.

Para cumplir este objetivo institucional planteado por la presente administración, se necesita optimizar todos los recursos existentes, tales como: infraestructura, humano, informático y financiero, este último debe contar con la debida disponibilidad económica presupuestada en base a los ingresos por la venta de los servicios básicos de agua potable y alcantarillado sanitario. Se deben buscar los mecanismos que permitan llegar al equilibrio entre la producción total de agua potable y la facturación mensual que se emite.

Para encontrar este equilibrio se necesitan que todos los clientes abastecidos se encuentren en la base de datos de clientes y que posean un instrumento de medición que registre el real consumo de agua, de esta manera no se perjudicará a los clientes ni la empresa. En la ciudad de El Corazón existen 694 conexiones de agua potable, de las cuales únicamente 570 disponen de

micromedidores obteniendo una medición real del consumo. Es decir solo el 82,13 % posee medición y el 17,87 % se emite factura de manera estimada por consumo básico mensual.

5.1.1.2 Justificación

La micromedición en el servicio de agua potable logra que los usuarios lleven a cabo un mejor uso del agua, así como el cuidado de la misma y distribución de acuerdo a las verdaderas necesidades de los usuarios, permitiendo de esta manera al Municipio de Pangua disponer de una mejor distribución de agua dentro de los volúmenes disponibles para la dotación per cápita en función de la infraestructura hidráulica y capacidad en la prestación del servicio a la comunidad.

La micromedición es la parte esencial de la medición de consumos, la cual tiene por objeto determinar el volumen consumido de agua potable periódicamente por los usuarios que disponen de una acometida domiciliaria. Esta información es importante para conocer el registro histórico de consumo de cada usuario y así determinar el cobro de acuerdo al volumen consumido de metros cúbicos durante el periodo registrado, en base a lo establecido en el pliego tarifario del Municipio de Pangua.

La ciudad de El Corazón tiene aproximadamente 800 predios catastrados en el municipio, de los cuales aproximadamente 694 predios se encuentran construidos, la Coordinación de Agua Potable y Alcantarillado tiene registradas 694 conexiones con 570 medidores operativos.

Con la adquisición e instalación del presente proyecto de 124 unidades de micromedición, la población de El Corazón dispondría de una cobertura de micromedición del 100 % reduciendo de esta forma los altos porcentajes de agua no contabilizada y por ende el GAD Municipal de Pangua mantendrá un control efectivo sobre el uso del agua potable.

5.1.1.3 Objetivo general

Instalar 124 medidores para cubrir con el 100% de micromedición de los predios abastecidos por el servicio de agua potable que brinda el municipio de Pangua.

5.1.1.4 Objetivo específicos

- ✓ Aumentar la cobertura y continuidad de manera eficiente en la prestación de los servicios públicos de agua potable que brinda el Municipio de Pangua, teniendo en cuenta la sostenibilidad ambiental.
- ✓ Asegurar la disponibilidad de Ingresos mediante la gestión comercial y financiera efectiva.
- ✓ Disminuir el porcentaje de agua no contabilizada y distribuir equitativamente el agua potable entre los usuarios.
- ✓ Incentivar la reducción de consumo de agua entre clientes mediante la implementación de un programa de Recompensas.

5.1.1.5 Desarrollo

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MEDIDORES:

Micromedidor: Se define como un dispositivo que mide el caudal de agua que pasa a través de una tubería, y pueden ser de accionamiento mecánico o electrónico para realizar el registro o contabilidad del volumen de agua que se esté consumiendo. De acuerdo con la norma NTE INEN-ISO 4064-1 2014, se define a los medidores como instrumentos destinados a medir continuamente, memorizar y mostrar el volumen de agua que pasa a través de su transductor de medida dentro de las condiciones de medición. En la Figura 29 se presenta un micromedidor.



Figura 29. Micromedidor de agua potable

A continuación se presentan los requerimientos técnicos mínimos para los medidores de agua (NTE INEN-ISO 4064, 2014):

REQUISITOS PARA MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN DE CONTADORES DE AGUA

El contador de agua se fabricará con materiales de resistencia y durabilidad adecuadas para el propósito para el cual se usará el medidor de agua. El contador de agua debe estar fabricado con materiales que no se vean afectados por las variaciones de la temperatura del agua, dentro del rango de temperatura de trabajo. Todas las partes del medidor de agua en contacto con el agua que fluye a través de él se fabricarán a partir de materiales que convencionalmente se conocen como no tóxicos, no contaminantes y biológicamente inertes.

El medidor de agua completo debe estar fabricado con materiales que sean resistentes a corrosión externa, o que están protegidos por un tratamiento superficial adecuado. Los dispositivos indicadores de agua estarán protegidos por una ventana transparente. Una cubierta de adecuado tipo también se puede proporcionar como protección adicional.

El contador de agua debe incorporar dispositivos para eliminar la condensación, donde existe el riesgo de formación de condensación en la parte inferior de la ventana del dispositivo. Los contadores de agua deben incluir dispositivos de protección que puedan sellarse para garantizar que, tanto antes como después de la instalación correcta del contador de agua, desmontaje o modificación del medidor y / o su dispositivo de ajuste no es posible sin dañar estos dispositivos. Basándose en la Norma NTE INEN-ISO 4064-1 2014, se detalla las características técnicas mínimas que deben cumplir los medidores: En la Tabla 18 y 19 se presenta la designación de los medidores y caudal.

Tabla 18.

Especificaciones de medidores y caudal

Designación de los medidores y caudal q3						
Diámetro Nominal (pulg-mm)	Q3 (m ³ /h)	R (Q3/Q1)	Posición	Q1 (m ³ /h)	Q2 (m ³ /h)	Q4 (m ³ /h)
01/02/2015	2,5	125	Horizontal	0,02	0,032	3,125

Fuente: (NTE INEN-ISO 4064, 2014)

Tabla 19.

Especificaciones técnicas de medidores

Transmisión	Magnética
Rango dinámico	R-125 (Chorro múltiple)
Registro	Extraseco
Tipo de lectura	Registro Inclinado a 45° o plano y con anillo de seguridad antifraude
Longitud	190 mm
Posición	Horizontal
Material de la carcasa o cuerpo	Aleación de bronce latonado

Fuente: (NTE INEN-ISO 4064, 2014)

Dentro de las características tecnológicas de los medidores idóneos a instalar deberán estar contruidos de tal manera que (NTE INEN-ISO 4064, 2014):

- Aseguren el servicio prolongado con garantía de no poder ser manipulados, impidiendo el fraude por parte de los usuarios.
- Deben ser tipo velocidad, chorro múltiple
- Soporten el reflujo accidental de agua, sin deterioro ni alteración de sus propiedades
- La parte interior del medidor deberá ser totalmente encajada a presión.
- La regulación del medidor deberá realizarse a través de un tornillo de ajuste o de regulación, construido con un material no oxidable
- El dispositivo indicador del consumo no estará en contacto con el agua del suministro
- Los medidores deben ser esfera extraseca o de tipo encapsulado al vacío, de modo que se elimine toda posibilidad de empañamiento
- Las carcasas de los medidores deberán ser construidas en una aleación de cobre según la Norma DIN 1709, ASTM B62 u otra Norma equivalente, con dimensiones del medidor y roscas. Además deberán poseer una flecha indicando el sentido de circulación del agua. Y la longitud de la carcasa será de 190 mm sin considerar los neplos o acoples.
- Los medidores DN 15mm deberán ser provistos de un filtro que detendrá las impurezas para evitar un desperfecto prematuro del medidor.
- Los medidores deberán ser de transmisión magnética y el dispositivo indicador ciclométrico deberá estar al vacío, el cual no podrá estar en contacto con el agua de distribución.
- El visor del medidor deberá estar constituido con un material resistente a la acciones de los rayos solares, al igual que el encuadre del dispositivo indicador y sus indicaciones. Además

deberá ser de un material templado o cristal debiendo resistir las condiciones de presión previstas por la (NTE INEN-ISO 4064, 2014) para medidores.

- Los medidores deberán poseer de fábrica un dispositivo que asegure su inviolabilidad, de tal manera que garantice que no pueda ser desarmado ni manipulado el mecanismo de regulación.
- Los medidores deberán ser garantizados por el fabricante contra cualquier defecto de fabricación o de material, durante mínimo dos años a partir de la fecha de entrega.

Los ensayos a realizar serán los correspondientes de acuerdo a la Norma ISO 4064-3 métodos de ensayo y se listan a continuación:

- Ensayo de estanqueidad o presión hidrostática
- Ensayo de pérdida de carga
- Ensayo de verificación de la curva de exactitud
- Ensayo de desgaste acelerado
- Ensayo de verificación de arranque

ACTIVIDADES DEL PROYECTO:

- Elaboración de perfil del proyecto de Adquisición de medidores
- Elaboración de términos de referencia
- Proceso de contratación - compras públicas
- Adquisición e instalación de 124 medidores
- Fiscalización de trabajo en campo
- Inspecciones de predios posterior a instalación de medidor, para prevención de facturación con consumos elevados.

- Levantamiento de informes - serie de medidores e ingresos al sistema informático.

PRESUPUESTO PARA INSTALACIÓN DE MEDIDORES

En la Tabla 20 se presenta las actividades y presupuesto para la instalación de medidores

Tabla 20.

Presupuesto instalación de medidores

Actividades y presupuesto	
GAD Municipal de Pangua	
Actividad	USD
Identificación de las acometidas sin medidor	150
Recopilación de información disponible	250
Organización del personal	200
Adquisición de los medidores	4340
Instalación de los medidores	2480
Ingreso de las acometidas al catastro	100
Total	7 520

PLAN DE RECOMPENSAS

Una vez que el 100% de las acometidas tienen instalados los micromedidores, se procede a la implementación del Programa de Recompensas, mediante el cual los usuarios que redujeran su consumo en más del 20% obtendrían un descuento del 30% en sus facturas de agua. Para los clientes que reduzcan su consumo entre el 10% y 15% se aplicará un descuento del 10%; quienes reduzcan entre 15% y 20% recibirán un descuento del 20%; y para aquellos que reduzcan su consumo más del 20% obtendrán el 30% de descuento. Este programa de recompensas se debe promocionar a través de las redes sociales y medios tradicionales. Para los clientes que aumenten el consumo del agua hasta en un 20% se aplicará una recarga del 40% y para los usuarios que aumentaren más allá del 20% se aplicará una recarga del 100% (BID, 2018).

5.1.1.6. Conclusiones y recomendaciones

- La colocación de los micromedidores reducirá las pérdidas comerciales de agua potable en el sistema de agua El Corazón.
- El implemento de la micromedición facilitará el análisis de las pérdidas técnicas de agua potable.
- El aumento de la cobertura de micromedición permitirá aumentar la continuidad del servicio público de agua potable que brinda el Municipio de Pangua de manera eficiente, teniendo en cuenta la sostenibilidad ambiental.
- Se disminuirá el porcentaje de agua no contabilizada y se distribuirá equitativamente el agua potable entre los usuarios.
- El implemento del plan de recompensas incentivará a los ciudadanos a reducir el consumo de agua potable.
- Se recomienda implementar este plan de mejora de la micromedición para mantener un registro continuo de los volúmenes medidos facturados.

5.1.2. Proyecto de censo de usuarios y catastro de suscriptores

5.1.2.1. Antecedentes

El GAD Municipal de Pangua no dispone de un catastro de usuarios de agua potable actualizado. El catastro de usuarios comprende el conjunto de registros y procedimientos que permiten la exacta identificación y localización de los usuarios de los servicios de agua potable.

Posee toda la información necesaria de los usuarios activos, factibles, potenciales y clandestinos. Este registro contiene datos del usuario y del predio, las características técnicas de

las conexiones de agua potable, así como datos complementarios de los servicios y del predio. Por ello, el catastro se mantiene en una base de datos informática.

5.1.2.2. Justificación

El catastro de usuarios actualizado es de vital importancia para el análisis de las pérdidas comerciales de agua potable. Ya que por su intermedio se puede detectar conexiones clandestinas, actualizaciones de categoría, ubicar físicamente los predios y dar atención y soluciones a los usuarios de manera inmediata.

5.1.2.3. Objetivo general

Realizar el censo de usuarios para localizar físicamente cada predio con sus respectivas conexiones mediante la asignación de códigos catastrales.

5.1.2.4. Objetivos específicos

- Actualizar la base de datos de los usuarios de los servicios de agua potable
- Registrar el 100% de usuarios activos, factibles y potenciales de los servicios.
- Identificar la actividad económica que desarrollan los usuarios para aplicar la adecuada categorización de los servicios.

5.1.2.5. Desarrollo

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA PLANOS

El catastro tiene tres componentes entrelazados, los cuales no deben ser manejados de forma separada, estos son: Planos, Información y Sistema Informático que permite administrar la base de datos de forma eficaz.

PLANOS: Son la base cartográfica que posibilita la localización física de los predios sobre la cual se levanta las informaciones. Es necesario disponer de planos catastrales de predios para

establecer esta planificación. El GAD Municipal de Pangua dispone del plano de catastro de predios urbanos actualizado a Junio de 2014, el cual se utiliza de base para el desarrollo de esta actividad.

INFORMACIÓN Son datos recogidos a través de una ficha y deben ser todos los que requiera la entidad prestadora para realizar la gestión comercial. Los tipos y cantidad de datos dependerán de las necesidades reales. La información debe dar cuenta de los usuarios activos factibles, potenciales y clandestinos a fin de registrarlos y tener un conocimiento real del mercado actual. Además define y agrupa datos dentro de una ficha catastral. Entre las informaciones básicas podemos señalar las siguientes:

Identificación del usuario: Es un código numérico atribuido a cada usuario en orden cronológico de inscripción como usuario activo. Es de carácter intransferible y definitivo pues identifica al usuario para la atención de los servicios así como para realizar los procesos de catastro, facturación y cobranza.

Localización del predio: Es el código numérico que facilita y agiliza la ubicación física del predio a través de datos obtenidos de los planos que componen la base geográfica. El código de localización no solo permite la ubicación física del predio sino también puede ser utilizado como acceso a las demás informaciones del catastro, facturación y cobranza. La composición de este código podrá ser adaptada a las necesidades y peculiaridades de cada entidad prestadora.

Datos del usuario: Nombre del usuario, dirección del predio, nombre del responsable del predio, teléfono, dirección de correspondencia y otros datos que la entidad prestadora considere necesario.

Datos del inmueble: Datos del predio y sus características: tipo y material de construcción, actividad del predio, unidades de uso, tipo de servicio, número de pisos, número de personas que habitan, existencia de piscina, entre otros.

Datos de la conexión de agua potable: Características técnicas de las conexiones domiciliarias de agua potable: fecha de instalación, existencia de caja del medidor o conexión directa, estado de las conexiones, otros.

Datos del medidor de agua: Datos del número, marca y estado del medidor.

Datos de la caja: Ubicación, material, tapa.

PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL CENSO

ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL Y DEFINICIÓN DE FUNCIONES

- Coordinador del Censo: Coordinador de Agua Potable GADMUPAN
- Supervisor de campo: Funcionario capacitado en labores de supervisión
- Procesamiento de datos: Responsable de la facturación y/o digitador
- Encuestadores: Técnicos catastrales, revisores de redes, inspectores de obra, bachilleres, estudiantes o policías municipales debidamente capacitados
- Asistencia técnica: Entidad o funcionario especializado que cumpla la función de apoyo al sector agua potable y saneamiento.

Funciones del coordinador:

Es el responsable de dirigir la realización del Censo de usuarios, sus principales funciones son:

- Definir y aprobar la ejecución del Censo
- Aportar el recurso humano necesario para su desarrollo.

- Suministrar los recursos materiales indispensables.
- Brindar las instrucciones necesarias para que las dependencias municipales suministren toda la información básica requerida.
- Ordenar y procesar la información diaria derivada de las encuestas.
- Tomar diariamente las decisiones que sobre las situaciones anormales que se presenten y ordenar su procesamiento.
- Proporcionar la información cartográfica
- Suministrar los listados de catastro y usuarios.
- Disponer las instalaciones e implementos de trabajo
- Dirigir y dar instrucciones al personal

Funciones del Supervisor: Es el encargado de la supervisión y control del proceso operativo y de campo del censo. Igualmente debe coordinar y verificar en el terreno la toma de la información, sus principales funciones son:

- Demarcar las rutas del recorrido de acuerdo con el listado de usuarios en los planos urbanos generales y detallados.
- Efectuar la promoción del Censo de usuarios, para que la comunidad tenga conocimiento sobre su realización.
- Elaborar los Formatos de Control Diario de Encuestadores
- Programar los recorridos diarios para la toma de las encuestas.
- Asignar las labores diarias al personal a su cargo
- Controlar diariamente el trabajo ejecutado tanto en el campo como en la oficina.

- Verificar por muestreo en terreno la calidad y veracidad del contenido de las encuestas realizadas.
- Ubicar en terreno a los diferentes grupos de encuestadores de acuerdo con los tramos de recorrido asignados
- Ubicar en terreno los predios
- Apoyar a los encuestadores a ubicar las conexiones.
- Inspeccionar la ejecución y calidad de la encuesta.
- Resolver inquietudes a los encuestadores.
- Recolectar las encuestas realizadas diariamente por los grupos de encuestadores revisarlas y entregarlas al Coordinador o Supervisor del Censo.

Funciones de los responsables del procesamiento de datos: Encargado diariamente y en la oficina, del procesamiento de toda la información derivada del censo y de velar por la calidad en la conformación de la base de los datos catastrales, sus principales funciones son:

- Asignar las labores diarias específicas, al personal a su cargo, verificar y controlar su ejecución
- Supervisar la confrontación de las encuestas con el listado de usuarios vigentes en el servicio y con los planos catastrales disponibles.
- Velar por la incorporación de la información censal al computador o en su defecto en el registro manual.
- Generar los listados requeridos para la evaluación y análisis de los resultados del Censo.
- Producir listados de resultados y cuadros

Funciones de los Encuestadores: Son los encargados de efectuar, previo su entrenamiento, el levantamiento de las encuestas, mediante la toma de información veraz y oportuna sobre cada uno de los conceptos definidos en ella, con la ayuda de planos de ruta y bajo el control de los supervisores de campo, sus principales funciones son :

- Recolección de datos siguiendo los pasos indicados en el Formulario de Encuesta.
- Contactar al usuario del servicio en el predio e invitarlo a suministrar la información indicada en el Formulario de Encuesta.
- Seguir la secuencia indicada durante el proceso de entrenamiento para hacer el diligenciamiento total de la encuesta, registrando cada dato en la respectiva casilla con letra clara y legible

La organización puede variar en el número de personas de acuerdo con el tamaño de la población y el número de encuestas programadas. A continuación se presenta un ejemplo para el cálculo del número de encuestadores requeridos:

- Población = 3 500 habitantes
- Número de habitantes por vivienda (promedio)= 5 habitantes por vivienda
- Número estimado de usuarios = Población / habitantes por vivienda = $3\ 500 / 5 = 700$ usuarios
- Promedio de encuestas/día = 100 (rendimiento normal por pareja de encuestadores)
- Número de días requeridos = $700 / 100 = 7$ días / pareja de encuestadores
- Duración del censo = 1 semana

FORMULARIO DEL CENSO

El formulario del censo tiene como objetivo identificar y recolectar información correspondiente a los servicios de agua potable y alcantarillado. En la Tabla 21 se presenta el formulario del censo.

Tabla 21.
Formulario del censo

Censo de Usuarios de Agua Potable y Alcantarillado											
Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pangua											
Fecha:											
Encuestador:											
Ruta	Localización	Apellidos y nombres del usuario	Número de cédula	Uso / Categoría	Redes existentes		Medidor			Número de personas	Observaciones
					Agua potable	Alcantarillado	Existe	Marca	Estado		
Firma encuestador											



En este formato de encuesta existen componentes que recopilarán información correspondiente a estratificación socioeconómica de los consumidores, lo cual conjuntamente con el resto de información servirá para la conformación de base de datos.

PLANO PRELIMINAR DE RUTA PARA EL LEVANTAMIENTO DE ENCUESTAS

El plano urbano de la ciudad El Corazón (ver Figura 1), servirá como insumo para la definición de rutas para el levantamiento de las encuestas.

PROMOCIÓN DEL CENSO

Comprende todas las actividades que tienen por finalidad comunicar a los usuarios de los servicios la realización del censo, mediante su promoción en los diferentes medios de comunicación de la localidad (hablados o escritos). Se busca con esta actividad eliminar o vencer un eventual rechazo de la comunidad a las acciones del censo y obtener su apoyo para facilitar las labores especialmente de los encuestadores.

PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN CATASTRAL Y DE USUARIOS

Plano general de la población

Este procedimiento tiene como finalidad disponer de un Plano General de Información local que permita ubicar en un solo plano, la representación geográfica y urbana del Municipio. El plano debe destacar el contorno urbano por manzanas.

Este plano, será la base para ubicar el área urbana y elaborar las rutas para la ejecución del censo de usuarios, realización de lecturas de medidores, distribución de la facturación y atención al cliente.

Listado actualizado de usuarios de los servicios

El listado de usuarios de los servicios es información importante y de uso restringido al supervisor y coordinador del censo, pues se utilizará para confrontar la información catastral obtenida en el censo, con la existente en el municipio. El listado debe contener: el nombre del usuario y la dirección del inmueble completa, también la clase o uso del servicio y el estrato.

DISEÑO DE RUTAS

Se denomina ruta de recorrido para catastro de usuarios a la línea que se traza sobre el Plano de la localidad y que señala el camino y la dirección en que se debe ejecutar el trabajo de levantamiento de las encuestas, así como también para manejar las actividades comerciales de lectura de los consumos, distribución de la facturación y contacto con el usuario.

Este sistema de trazar rutas permite que cada una de ellas cubra varias manzanas o bloques de casas y edificios, lo cual hace que el rendimiento de los encuestadores sea mayor. Es necesario que antes de trazar una ruta se recorra el terreno y se verifique la posibilidad del diseño.

SELECCIÓN DE ENCUESTADORES

Si se va a contratar encuestadores se sugiere que tengan experiencia previa en cualquiera de estas actividades: revisores de redes o inspectores de obra, así como policías municipales, bachilleres o estudiantes de colegios. Es importante que este personal sea de la localidad y que haya tenido alguna relación previa con la municipalidad de preferencia en el área de catastro.

Luego de seleccionado el personal se debe realizar talleres de capacitación, en donde se le explica el procedimiento de trabajo, el contenido del formulario del censo y el glosario de términos. Se debe explicar detalladamente las rutas definidas y se debe hacer una práctica completa en el terreno. Se debe recalcar la importancia de la labor a desarrollar y motivar la ejecución de un trabajo serio y responsable, para el beneficio de la localidad en general.

PROGRAMACIÓN DE ENCUESTAS

La programación de las encuestas tiene que ver con la adecuada organización del tiempo, de las personas y de los materiales de trabajo, para garantizar la ejecución del censo en el tiempo previsto en el cronograma de trabajo.

Distribución del personal:

El supervisor deberá elaborar una tabla mediante la cual asigne a cada pareja las rutas y el número de predios que debe encuestar cada uno de los días que durará el censo. Se deberán conformar parejas que sean compatibles. Cada pareja deberá levantar un mínimo de 100 encuestas diarias.

Fijación de horarios:

Para la fijación de horarios se debe tener en cuenta las características climáticas de la localidad a censar y el tiempo necesario para cumplir con la meta asignada. En cualquier caso, es importante que el censo se lleve a cabo aprovechando la luz del día.

Preparación de material y formularios:

Esta labor es fundamental, pues el material y los formularios son los recursos a utilizar para documentar y registrar la información a recolectar. El material que debe estar listo antes de adelantar las actividades de campo es el siguiente:

- a) Fotocopias del formulario de encuesta, en un número igual al número de predios de la localidad, dividido por el número de renglones en el formulario, más un diez por ciento (10%)
- b) Tablas y ganchos para cada uno de los recolectores
- c) Forros plásticos para proteger las encuestas en caso de lluvia
- d) Lápices y borradores para cada uno de los encuestadores
- e) Copias del plano general de la localidad para cada pareja de encuestadores
- f) Carnet de identificación para cada uno de los encuestadores

LEVANTAMIENTO DE LAS ENCUESTAS

Una vez entrenados los encuestadores, se programa el lugar, la fecha y la hora de iniciación para la entrega de la Ficha del Censo. Se entregará a cada pareja de encuestadores el plano de rutas y los formularios que se requerirán durante la jornada de trabajo. Los encuestadores deben aplicar el formulario del censo, a mano, a lápiz y en letra de imprenta.

VERIFICACIÓN Y CONFRONTACIÓN DE LOS DATOS

La verificación y confrontación de datos es indispensable para garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos. Esta actividad se realiza diariamente, al finalizar la recolección completa de la información y consiste en analizar la información de los posibles cambios catastrales, compararla con la base de datos que maneja la Municipalidad, de manera de validar y depurar aquellos datos que no sean correctos.

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Una vez terminada la actividad de revisión y confrontación de datos, el supervisor debe consignar su visto bueno en cada una de las líneas del formulario de la encuesta y entregarlo al digitador(es) quienes deberán registrar la información bien sea en la base de datos o en las fichas individuales de cada suscriptor y actualizar los planos de rutas.

Sistema de registro: Los sistemas de registro individual de la información de los suscriptores y usuarios del servicio deben ser ágiles, sencillos y confiables. Esta información se puede organizar tanto en archivos manuales como automatizados.

Los medios utilizados para la organización de los catastros de usuarios son las fichas o tarjetas individuales y las bases de datos automatizadas. Estos medios se complementan con los planos de rutas.

Tabla 22.
Cronograma de actividades

Cronograma de actividades				
GAD Municipal de Pangua				
Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
Reconocimiento del sitio	■			
Recopilación de información disponible	■			
Organización del personal		■		
Definición de funciones		■		
Socialización de los formularios del censo		■		
Promoción del censo		■		
Preparación de la información catastral		■		
Diseño de rutas			■	
Selección de encuestadores			■	
Programación de encuestas			■	
Levantamiento de las encuestas			■	
Verificación y confrontación de datos			■	
Procesamiento de datos			■	■
Presentación de resultados				■

Tabla 23.
Presupuesto y actividades

Presupuesto de actividades	
GAD Municipal de Pangua	
Actividad	USD
Reconocimiento del sitio	120
Recopilación de información disponible	250
Organización del personal	200
Definición de funciones	300
Socialización de los formularios del censo	300
Promoción del censo	500
Preparación de la información catastral	300
Diseño de rutas	500
Selección de encuestadores	300
Programación de encuestas	500
Levantamiento de las encuestas	1000
Verificación y confrontación de datos	300
Procesamiento de los datos	1000
Presentación de resultados	100
Total	5 670

En la Tabla 22 se presenta el cronograma de actividades a desarrollarse para la ejecución del censo, el mismo que tiene una duración aproximada de cuatro meses.

PRESUPUESTO DE GASTOS

En Tabla 23 se muestra las actividades y el costo de cada una de ellas, estimando así el costo del proyecto de USD 5 670,00.

5.1.2.6. Conclusiones y recomendaciones

- Se identificará a los usuarios con conexión, desagregados en los conectados legalmente y los ilegales.
- Se dispondrá del listado de caracterización de suscriptores ordenado por ruta, además de un consolidado de usuarios por uso y estrato.
- A partir del análisis presentado en los cuadros anteriores el supervisor conjuntamente con el coordinador del censo elaborarán las recomendaciones del caso para la implementación de los resultados del censo. Estas recomendaciones se orientarán a producir un listado de los predios en los cuales se deben adelantar las siguientes actividades:
 - a) Incorporación de usuarios clandestinos identificados mediante el operativo del censo;
 - b) Incorporación de usuarios para el cobro de servicios no facturados
 - c) Ajustes en el catastro de suscriptores por cambio de uso o estrato de los predios

5.1.3. Proyecto de detección y control de clandestinas

5.1.3.1. Antecedentes

Las conexiones clandestinas de agua potable es un fenómeno que se da a nivel mundial y generalmente en países en desarrollo como el Ecuador. Las consecuencias de los hurtos de agua potable son varias; afecta a la economía de los entes prestadores del servicio por no emitir facturas

de grandes cantidades de agua potable e incrementa los costos de producción. Afecta también a la cobertura del servicio de agua potable al no disponer de suficiente líquido vital para abastecer a todos los usuarios (Ress & Roberson, 2016).

Las conexiones clandestinas incrementan el volumen de agua no contabilizada al no facturarse y también debido a que la mayoría de estas conexiones son realizadas antitécnicamente de tal manera que se producen fugas. Las conexiones clandestinas pueden afectar también a los consumidores a través de las altas sanciones económicas y legales si son descubiertos, así como con una baja calidad del servicio. Esto repercute indirectamente con los usuarios legales ya que a través de sus pagos subsidian a los usuarios ilegales y por ende una baja recaudación para la entidad prestadora del servicio (Ress & Roberson, 2016).

En el Municipio de Pangua no existe ningún proyecto o plan de reducción de pérdidas comerciales de agua potable. Actualmente se encuentra desarrollando una consultoría para la actualización del catastro urbano de la ciudad de El Corazón, pero dicha información aún no se encuentra disponible. En lo referente al catastro de agua potable y alcantarillado no se realizado ninguna actualización desde el año 2010.

5.1.3.2. Justificación

Las conexiones clandestinas son acometidas que difícilmente se pueden identificar, estas pueden causar desabastecimiento del servicio de agua potable ya que no existe un control del uso del agua potable. Por tal motivo se considera necesario e indispensable identificarlas para realizar las correcciones y regularizaciones correspondientes según las leyes cantonales establecidas en la Ordenanza de agua potable y alcantarillado del Municipio de Pangua.

5.1.3.3. Objetivo general

Detectar conexiones clandestinas en el sistema de agua potable El Corazón, para luego regularizarlas según la Ordenanza de agua potable y alcantarillado del Municipio de Pangua.

5.1.3.4. Objetivos específicos

- Identificar los diferentes tipos de conexiones
- Establecer un control de pérdidas para el caso de conexiones clandestinas
- Mantener control sobre usuarios inactivos

5.1.3.5. Desarrollo

TIPOS DE CONEXIONES CLANDESTINAS

Las conexiones clandestinas de agua potable se presentan de distintos tipos, por lo cual los métodos de combatir son diversos. A continuación se presentan una tipificación de las conexiones clandestinas.

TIPO A: Estas conexiones clandestinas corresponden a los usuarios que no es su intención robar el agua, sino que no cumplen con los requisitos legales para obtener una acometida o a su vez el costo elevado de instalación. Por lo tanto la conexión y el uso del agua son clandestinos.

Existen varias formas a través de las cuales se pueden conectar los usuarios clandestinos; conexiones directas de la red, derivaciones de conexiones internas de los vecinos y conexiones a redes provisionales como por ejemplo las líneas de inducción a piletas públicas.

A continuación se listan varios motivos de las conexiones clandestinas:

- ✓ Costo elevado de la conexión, el cual es cobrado por los prestadores del servicio
- ✓ Pocas facilidades de pago
- ✓ Excesivos y costosos permisos municipales

- ✓ Excesivos trámites burocráticos
- ✓ Ilegalidad de los predios

Una de las formas de combatir este clandestinaje consiste en brindar las facilidades del acceso al agua a las familias que viven dentro de la jurisdicción de la entidad prestadora del servicio. Además se debe visitar al cliente y brindar amplias facilidades de pago para su regularización.

TIPO B: A este grupo pertenecen aquellos usuarios que disponen de una conexión legal que ha sido cortada, ya sea por falta de pago o por solicitud propia del usuario y que en lo posterior haya sido reconectada por el usuario de manera no oficial. De esta manera se considera conexiones clandestinas partiendo inicialmente de una conexión legal. Esta estrategia es utilizada por los usuarios que no pueden pagar el servicio.

Técnicamente podrían utilizar varias formas para robar le agua, pero en realidad predominan otras como la de sobornar al operador del servicio de agua potable para que no corte o inmediatamente rehabilite el servicio, lo cual resulta casi imposible cortar estas conexiones a futuro ya que por ser enterradas no se las logra ubicar sobre todo cuando existen bypass.

La forma más óptima para combatir este clandestinaje consiste en un conjunto de acuerdos para ofrecer facilidades de pago, así como el control de conexiones cortadas y la realización de cortes drásticos como por ejemplo el corte tras la caja con retiro de la tubería.

TIPO C: En este grupo se cuenta con una conexión formal con medidor instalado, pero el clandestinaje corresponde a evitar que el agua consumida sea medida y facturada, es decir se trata de clientes con conexión formal y pagos al día, pero que sin autorización del prestador del servicio de agua potable consumen más agua de lo que mide el medidor. Esta modalidad no se desarrolla

con frecuencia pero ocasiona un perjuicio económico importante para el prestador. En este grupo se encuentran grandes consumidores como hoteles, colegios privados e industrias.

Técnicamente existen varias maneras de evitar que el medidor marque correctamente el consumo realizado por el usuario. Un primer tipo de acciones consiste en mantener el medidor funcionando, de tal manera que al realizar la inspección no es posible detectar la manipulación lo cual se puede conseguir invirtiendo el medidor, extrayéndolo temporalmente y retrocediendo la lectura del medidor con aire a presión.

Otro tipo de clandestinaje consiste en evitar que el medidor deje de funcionar parcial o totalmente y se consigue manipulando el medidor para desgastar los dientes de engranaje del medidor o la turbina. Se da también cuando se destruye el medidor perforándolo con una aguja caliente o introducir alambres u objetos por el tubo de agua en la turbina del medidor y cuando existe vandalismo o autorrobo del medidor.

Las formas de robo anteriormente descritas se pueden evitar con gran eficiencia mediante el uso de cajas de seguridad conjuntamente con un dispositivo de anclaje del medidor en el piso. Estos hurtos pueden ser detectados mediante métodos estadísticos tales como historiales y padrones de consumo o a su vez mediante controles de lecturas diarias o en un período de días, a los principales consumidores.

Existen formas adicionales del clandestinaje, dentro de estas se puede mencionar a la servidumbre vecinal, bypass, conexión adicional, etc. Estas últimas formas de clandestinaje resultan difícilmente de detectar, se trabaja bajo sospecha justificada y se procede a la excavación.

PÉRDIDAS Y CONTROL DE CONEXIONES CLANDESTINAS

Uno de los ejes fundamentales para efectuar de manera efectiva el control y la reducción de pérdidas por consumo de agua por conexiones clandestinas es la actualización de catastro comercial

de servicios. El catastro debe contener todos los usuarios de forma ordenada para cada sector comercial, ruta, manzana, para su fácil ubicación. Con apoyo del padrón de usuarios se debe analizar la condición de cada consumidor para la respectiva evaluación.

Para el control de las conexiones clandestinas se debe planificar programas de legalización de conexiones fraudulentas con equipo conformado para esta finalidad, bajo la dirección comercial de la entidad prestadora del servicio. La cantidad de conexiones clandestinas pueden estimarse por muestreo, investigándose una cierta parte de las redes de distribución y extrapolándose los resultados para el resto del sistema.

Existen casos en donde las conexiones clandestinas o fraudulentas son conocidas, pero sin embargo no han sido regularizadas por implicaciones políticas sociales. Para estos casos es suficiente identificar dichas conexiones y proceder de la misma manera que para las conexiones sin micromedición obteniendo finalmente una estimación por consumo.

Se considera necesario ubicar los predios de las conexiones ilegales e inventariarlos de acuerdo a cada ruta, para inmediatamente promover su regularización ante el prestador del servicio. Conexiones clandestinas se pueden considerar también cuando una vivienda se abastece mediante manguera o tubería desde viviendas vecinas, a esto se lo denomina clandestinaje encubierto, ya que el predio de donde se abastecen se encuentra registrado y paga su consumo. Para estimar el volumen consumido por conexiones clandestinas se lo calcula a través de la siguiente fórmula (Ortega & Campaña, 2016).

$$V_{ce} = V_{pc} \times U_c \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Dónde

V_{ce} = Volumen clandestino estimado (m^3)

V_{pc} = Volumen promedio por conexión (m^3)

Uc= Número de usuarios clandestinos estimados

La cantidad de usuarios clandestinos estimados se basa en un % de conexiones existentes, el mismo que se deberá ir ajustando en función de la actualización de información. Es necesario catastrar todos los espacios públicos que cuenten con conexiones ya sea con o sin medidor para una primera aproximación del gasto.

La estimación de estos volúmenes es difícil debido a que no se cuenta con información suficiente de estas conexiones y se consideran como pérdidas ya que no son facturadas por la razón de pertenecer a la municipalidad que es la entidad prestadora del servicio de agua potable.

Existen diferentes métodos y materiales que se utilizan para la detección de conexiones clandestinas, dentro de estos los más comunes son: GPR (Ground Penetrating Radar) o Georadar, el cual consiste en una emisión de ondas electromagnéticas al suelo y la captación de señales de rebote, lo cual faculta detectar irregularidades, diferencias en la densidad del suelo, pero su desventaja es cuando trabaja en suelo arenoso seco. En la Figura 30 se presenta el equipo mencionado.

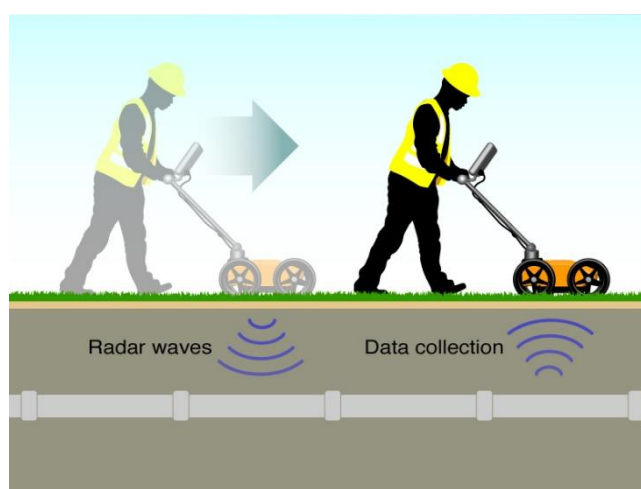


Figura 30. Ground Penetrating Radar

Otro método que se utiliza es la inspección de las redes de agua a través de una cámara guiada por fibra óptica dentro de la red, lo cual resulta un método muy eficaz pero tiene limitaciones para la detección de clandestinas como inspeccionar tubos de bajo diámetro, dicho método se ha utilizado en Alemania para actualizar catastros técnicos orientados a la detección de conexiones clandestinas.

Con la tecnología anteriormente descrita puede ser utilizada para detectar conexiones clandestinas. En el primer lugar se trata de aquellas conexiones pertenecen a usuarios que se encuentran en morosidad y que no han sido cortados debido a la imposibilidad de ubicar la acometida generalmente por que se encuentra enterrada.

El segundo lugar comprende a los usuarios con bajo consumo, en los cuales ya se ha comprobado el buen funcionamiento del medidor. Una de las formas para detectar si su consumo es real, se puede efectuar a través de métodos estadísticos tales como historial de análisis de consumo mensuales y análisis de padrones de consumo comparando con negocios del mismo tipo. (Ortega & Campaña, 2016).

Para el control de usuarios inactivos es necesario ubicarlos y aplicar las mismas políticas de control que para la depuración del padrón de usuarios. La diferencia que existen entre estos usuarios y los clandestinos corresponden a:

- La deuda elevada imposible de pagar.
- Predios abandonados con corte temporal del servicio
- Dobles cuentas generadas para evadir deuda contraída, adquiriendo un nuevo contrato con el prestador del servicio.

PRESUPUESTO DE GASTOS

En Tabla 24 se muestra las actividades y el costo de cada una de ellas, estimando así el costo del proyecto de USD 8 450,00.

Tabla 24.
Presupuesto y actividades

Presupuesto de actividades	
GAD Municipal de Pangua	
Actividad	USD
Recopilación de información disponible	250
Identificación del catastro de usuarios	300
Ubicar predios con conexiones ilegales	7400
Establecer Plan de facilidades de pago	400
Ingreso de las acometidas al catastro	100
Total	8450

5.1.3.6. Conclusiones y recomendaciones

- Las directrices emitidas en este plan de mejora servirán para encontrar las conexiones clandestinas existentes en el sistema de agua El Corazón.
- Se identifica los diferentes tipos de conexiones para determinar las conexiones clandestinas.
- Se establece un mecanismo para regularizar localizar y regularizar las conexiones clandestinas.
- Se mantiene el control sobre usuarios inactivos

5.2. Subprograma técnico

El subprograma Técnico de control de pérdidas de agua potable está conformado por los Proyectos de: Fugas Visibles y no Visibles, Catastro de Redes de Agua Potable, Instalación de Macromedidores y Sectorización de Redes de Distribución.

5.2.1. Proyecto de control de fugas visibles y no visibles

5.2.1.1. Antecedentes

Actualmente en el GAD Municipal de Pangua no existe ningún programa o proyecto de reducción de pérdidas. Sin embargo se ha establecido que en promedio existe alrededor del 68% de pérdidas de agua potable entre la salida de la planta y la micromedición.

El control de fugas representa gerenciamiento dentro de una entidad prestadora de servicio de agua potable, para mantener un control y monitorear los niveles de fugas en la conducción y distribución y direccionar acciones técnicas – económicas para reducir las fugas obteniendo niveles aceptables.

5.2.1.2. Justificación

Los planes y programas de control de pérdidas físicas son de trascendental importancia para el control de las pérdidas ocurridas en el sistema de distribución de agua potable. Además sirven para diagnosticar las causas de las pérdidas y seleccionar las acciones respectivas para reducirlas y mantenerlas bajo niveles aceptables o en función de las metas propuestas por el ente prestador de servicio.

Las acciones tomadas deben obtener resultados importantes como: la reducción de los desperdicios de agua debido a la operación y mantenimiento, aumento del volumen de agua para distribución, aumento de la vida útil de las estructuras, mayores ingresos y mejor sustentación económica – financiera.

5.2.1.3. Objetivo general

Elaborar un Plan de Mejora para controlar las fugas visibles y no visibles del sistema de agua potable EL Corazón.

5.2.1.4. Objetivos específicos

- Evaluar la planta de tratamiento para diagnosticar las posibles fugas de agua potable
- Evaluar el sistema de distribución para detectar las posibles fugas de agua potable.
- Establecer fichas técnicas para el levantamiento de información relacionada a fugas de agua potable.

5.2.1.5. Desarrollo

FACTORES CONDICIONANTES

Para el desarrollo de un proyecto de control de fugas es necesario disponer de varios elementos como:

- Catastro de usuarios, macromedición, micromedición, etc.
- Infraestructura adecuada
- Recurso humano

EQUIPOS DE TRABAJO

Cada área de trabajo específica debe responsabilizarse por los procesos competentes, es así que para las pérdidas de agua potable en la planta de tratamiento y tanques de almacenamiento la responsabilidad es netamente del área de operación y mantenimiento y debe asumirlo con un grupo de profesionales conformado por al menos un ingeniero, un técnico y dos auxiliares.

Para evaluar las pérdidas en las redes de distribución es necesario disponer de un equipo de profesionales que se encarguen del control de las fugas visibles y no visibles, el quipo debe estar compuesto de al menos un ingeniero, un técnico y dos auxiliares.

COMPONENTES DE EVALUACIÓN

Existen varios componentes para la cuantificación de pérdidas físicas de agua potable y se describen a continuación.

Planta de tratamiento: Las diferentes estructuras que conforman la planta de tratamiento generan pérdidas de agua generalmente por mantenimiento y limpieza de filtros, floculadores, sedimentadores, válvulas, tanque de almacenamiento. Las pérdidas mencionadas son relativamente importantes pero sin embargo no forman parte del volumen de agua potable no contabilizada.

Reservorio: Las principales pérdidas de agua se producen por la estructura de cimentación, por las paredes y por el sistema de rebose, además cuando se realiza la limpieza.

Para cuantificar las pérdidas en el almacenamiento es necesario cerrar las válvulas de entrada y salida del reservorio de 400 m³ ubicado en el barrio Muligua, las cuales deben ejecutarse de acuerdo a una planificación periódica para evaluación de rutina de las fugas de agua. La información encontrada conllevará a tomar las acciones necesarias correctivas.


Pérdidas por fugas no visibles en Redes: Las principales fugas en las redes pueden ser a causa de deterioro de los materiales, mala calidad de los materiales, inadecuada instalación. Se considera indispensable que el Municipio de Pangua previo al desarrollo del programa de control de fugas la instalación de equipos macromedidores a la salida del tanque de almacenamiento de 400 m³ que se encuentra localizado en la planta de tratamiento y al inicio de los circuitos 1, 2 y 3 que dispone la ciudad de El Corazón. De manera conjunta y paralela a la instalación de macromedidores es indispensable colocar en el 100% de acometidas micromedidores, de tal manera que sea cuantificable las pérdidas de agua potable por fugas no visibles en redes.

En el plan de control de fugas se debe utilizar instrumentos de detección de fugas para los sitios de la red de distribución en donde ocurren pérdidas de agua potable no visibles, y valorar

técnica-económicamente las medidas necesarias a tomar para reducir las fugas de agua, así como los beneficios a obtenerse.

Con ayuda de los circuitos de redes de distribución y en función de las pérdidas de agua identificadas, se debe seleccionar al sector más crítico en relación a fugas definiendo así áreas prioritarias a ser intervenidas. Para esta identificación es necesario disponer de planos de la red identificando los tramos de la tubería con gran número de ocurrencia de fugas, áreas con presiones elevadas, redes que ya han cumplido su vida útil, etc. Adicionalmente a la anterior información descrita se debe considerar registros históricos de fugas reparadas, sectores con mayor tránsito de vehículos y tipo de suelo. A continuación se presenta la Tabla 23 para sistematizar la información correspondiente a la ocurrencia de fugas.

Tabla 25.
Registro de fugas

 GAD Municipal de Pangua Registro de fugas	
Parámetro	Observación
Dirección	
Fecha reparación	
Localización en el plano	
Tipo de tubería	
Antigüedad de la tubería	
Diámetro de la tubería	
Tipo de falla	
Tipo de uniones	
Estado y conservación	
Tipo de pavimento	
Tipo de tránsito	
Profundidad de la tubería	

Se considera necesario anexar descripción al registro de datos sobre la causa de la rotura de tubería, ya que están pueden ser por: corrosión, incrustación, asentamiento del suelo, falla de uniones, calidad de materiales, antigüedad, etc. Identificado el sector de fugas a ser intervenido

prioritariamente, el GAD Municipal de Pangua cuenta con su propio equipo de detección acústica de fugas invisibles, el mismo que en la actualidad no se le da uso debido a la falta de conformación de equipo de trabajo para tal fin.

Los equipos destinados a la detección de fugas utilizan el sonido para ubicar la fuga. Las fugas de agua ocasionan pérdida de energía la cual se transforma en ondas de sonido, de tal manera que el operador del equipo detector puede oírlos e identificar con claridad el sitio de la pérdida de agua. Para llevar a cabo este trabajo es necesario disponer de planos catastrales de redes, un equipo detector de fugas y un operador entrenado para realizar este trabajo. En la Figura 31 se presenta el equipo de detección de fugas.



Figura 31. Equipo detector de fugas de agua potable

FUGAS DE AGUA VISIBLES

Es indispensable contar con la participación activa de la ciudadanía y de los operadores del sistema de agua informando sobre la ocurrencia de fugas en la red de agua potable. Dentro de las acciones a tomar con la ciudadanía se encuentra la formulación de una campaña de Educación Sanitaria para capacitar a la comunidad de tal manera que participen como informantes de la

Coordinación de Agua Potable del GAD Pangua. Cuando existe una fuga de agua la comunidad debe estar dispuesta a informar al GAD Municipal de manera inmediata o llamar a la central telefónica de la institución.

El servicio de atención al cliente del Municipio debe motivar la participación de la comunidad. Cada ciudadano informante debe ser incentivado a continuar colaborando y difundiendo este ejemplo en su barrio. El programa de Educación Sanitaria debe contemplar campañas de divulgación, charlas, carteles, etc. Además se debe analizar la posibilidad de brindar una central telefónica de atención al cliente de manera gratuita.

Luego de recibir la información de la existencia de una fuga de agua potable en la red de distribución, es necesario registrarla y emitir una orden de reparación inmediata al personal operativo. En dicha orden deberá constar dirección del sitio de la fuga, el tipo de equipo que deberá ejecutar el servicio, el tiempo de atención y ejecución para de esta manera medir la eficiencia de atención al cliente.

El equipo operativo destinado a reparaciones de fugas en las redes de distribución con base a la orden emitida por atención al cliente, analizará información adicional necesaria como el catastro de usuarios, ejecutará el trabajo y emitirá los informes respectivos.

Es importante incorporar indicadores en el sistema de información del GAD Municipal, que permitan evaluar la calidad de atención al cliente y prestación de servicios de reparación de fugas. Para una respuesta efectiva ante la ocurrencia de fugas e inmediata reparación es necesario disponer de cuadrillas de mantenimiento con los equipos necesarios y el conocimiento suficiente para ejecución de los trabajos en el corto plazo.

En cuanto a las pérdidas ocasionadas por el mantenimiento del sistema deben evaluarse de manera continua para reducir gradualmente el exceso uso del agua utilizada en dicho mantenimiento. Estas pérdidas no deben pasar de un 5% del volumen producido.

En la Tabla 26 se presenta el presupuesto referencial para el Proyecto de Control de Fugas Visibles y no Visibles.

Tabla 26.
Presupuesto referencial fugas

Presupuesto de actividades	
GAD Municipal de Pangua	
Actividad	USD
Recopilación de información disponible	250
Evaluación física del sistema de distribución	1 000
Elaboración de fichas técnicas	400
Identificación de fugas mediante equipos	8 000
Talleres de educación ciudadana	100
Total	9 750

5.2.1.6. Conclusiones y recomendaciones

- Este plan de control de fugas permitirá detectar las potenciales fugas que forman parte del agua no contabilizada del sistema de agua.
- Con la identificación de fugas se procederá a la reparación de las mismas con el fin de disponer mayor cantidad de agua al servicio de los usuarios
- La reducción de fugas de agua potable permitirán el ahorro del recurso agua y de recursos económicos invertidos en su tratamiento.

5.2.2. Proyecto de catastro de redes del sistema de agua potable

5.2.2.1. Antecedentes

Los programas de control de pérdidas constituyen la estrategia principal de las entidades prestadoras del servicio de agua potable, a través de la cual se busca reforzar la gestión de este servicio para alcanzar las metas propuestas dentro del contexto de sostenibilidad financiera y ambiental.

Este Proyecto pretende establecer una guía básica para el levantamiento de información sobre las redes de distribución de agua potable con sus accesorios, representando todo su conjunto en planos, permitiendo levantar información técnica para su mejor operación y control. En esta guía se detallarán los procedimientos a seguir para elaborar cada uno de los planos necesarios y su respectiva actualización.

La información actualizada del catastro de redes servirá de insumo para realizar cualquier planificación de actividades para la operación y/o mantenimiento del sistema de agua potable, ya que el catastro muestra una radiografía actualizada de las redes de distribución del sistema, permitiendo ubicar de manera referenciada a cada uno de sus componentes.

El catastro actualizado de redes permitirá diagnosticar los sitios de pérdidas de agua, de tal forma que se establezcan propuestas para minimizar estas pérdidas, dichas propuestas deberán fundamentarse en criterios técnicos y económicos.

Actualmente el GAD Municipal de Pangua no dispone de un catastro de redes de distribución para todo el sistema de agua potable, sino únicamente para el circuito 3.

5.2.2.2. Justificación

El catastro de redes de distribución de agua potable se considera un elemento indispensable para el desarrollo del plan de control de pérdidas de agua potable y por ende para la reducción del agua no contabilizada.

El desconocimiento de la ubicación de las redes de agua potable y sus respectivos accesorios dificulta la operación y el mantenimiento del sistema. Con un catastro de redes y accesorios actualizados facilita la reparación inmediata de cualquier desperfecto del sistema de distribución, brindando así un servicio con continuidad y calidad.

5.2.2.3. Objetivo general

Disponer de un sistema de registro y archivo de información técnica estandarizada y relacionada con detalles técnicos de ubicación e identificación de accesorios de una red de distribución de agua potable.

5.2.2.4. Objetivos específicos

- Conocer detalles técnicos y de operación en todo el sistema de agua potable
- Crear/actualizar el catastro de tuberías y accesorios de agua potable
- Colaborar con la detección y localización de fugas para su oportuna reparación
- Disponer de un diagnóstico para el análisis, evaluación, formulación y desarrollo de programas de control de pérdidas para fortalecer la gestión técnica del GAD Municipal
- Servir como base para la elaboración de planes de ordenamiento territorial y proyectos de inversión.

5.2.2.5. Desarrollo

ELABORACIÓN DEL CATASTRO DE REDES:

Dentro de la elaboración del catastro de redes de agua potable existen 4 etapas necesarias que se listan a continuación:

- 1.- Elaboración de planos
- 2.- Elaboración de fichas técnicas
- 3.- Elaboración del plano para el control operacional
- 4.- Diseño e implementación del procedimiento para actualizar planos y fichas técnicas

ELABORACIÓN DE LOS PLANOS

Los planos que conforman el catastro de redes de agua potable son: Plano maestro, zonal y esquinero.

El Plano Maestro es el plano base para la elaboración del catastro de redes, constituyéndose en una representación geográfica-urbana de la zona de estudio, en donde se resalta la ubicación de calles, parques, áreas residenciales, espacios públicos, etc.

Para la elaboración del plano maestro es necesario disponer de un plano actualizado a escala 1:5000 que contenga el área urbana de estudio y a su vez sectorizarlo por sub áreas, e cual deberá colocarse en un lugar visible y encontrarse a disposición del equipo de operadores de agua potable. Es indispensable que el plano maestro se actualice permanentemente con el propósito de incorporar en el todas las modificaciones de los usos prediales o nuevos asentamientos urbanísticos.

Los Planos Zonales son parte del plano maestro para cada zona específica, en la cual se representa a mayor detalle las tuberías y accesorios de la red de distribución de agua potable. Para la elaboración de los planos zonales es necesario recopilar información de memorias técnicas del tendido de la red, posteriormente se debe realizar el recorrido por campo para la verificación del

trabajo de escritorio conjuntamente con los operadores de agua potable con más experiencia y permanencia en el GAD Municipal.

Además se considera necesario realizar excavaciones aleatorias para identificar las características técnicas de las tuberías y accesorios. A continuación se procede a sub dividir el plano zonal en cuatro sectores del mismo tamaño identificando cada sector con una letra, posteriormente se desarrolla la representación gráfica del trazado de la red de distribución.

En los Planos Esquineros se ubican a detalle las tuberías, accesorios e interconexiones que forman parte de la red de distribución de agua potable del GAD Municipal.

Cada accesorio identificado se procede a referenciarlo con su respectivo tipo, material, ubicación, profundidad y estado físico en que se encuentra. La representación del trazado de la red con sus accesorios se recomienda que sea a escala 1:200 y para cada plano esquinero se debe utilizar como nomenclatura de referencia para su identificación la primera letra del nombre del accesorio.

ELABORACIÓN DE FICHAS TECNICAS

Las fichas técnicas tienen como objetivo conformar el archivo de registro de datos y detalles técnicos más importantes de cada accesorio que se encuentre incorporada a la red de distribución del sistema de agua potable. Se debe disponer para cada elemento una ficha técnica, para el caso en que se incorporen, retiren o se hagan modificaciones, se actualice inmediatamente la ficha correspondiente.

Los operadores del sistema de agua potable deben tener comunicación constante con el personal técnico y realizar una vigilancia permanente a través del área de operación y mantenimiento del sistema de agua potable para que cada vez que se ubique un accesorio se apunten sus datos en la ficha técnica. Además también para informar sobre el estado físico y actual funcionamiento de cada accesorio y su necesidad de reemplazarlo, contenido de la ficha técnica:

Localización

Zona: Identificación de la zona en donde se encuentra ubicado el accesorio

Esquina: Identifica la esquina del plano zonal en el cual se encuentra el accesorio

Características

Material: Material de fabricación del accesorio

Diámetro: Diámetro del accesorio

Profundidad: Identificación de la profundidad a la que se encuentra el accesorio

Fecha de instalación: Se muestra la fecha de instalación del accesorio

Tipo de Unión / Tubería / Ubicación / Rasante: Marcar con una “x” según corresponda. En la Tabla 27 se muestra la Ficha Técnica del Catastro de Redes de Agua Potable.

Así como se presentó la ficha técnica para accesorios, a continuación en la Tabla 28 se presenta la ficha técnica para tuberías, ya que se considera necesario disponer de información de los diferentes tramos de la red de distribución.

La ficha técnica de tuberías está compuesta por: tramo, diámetro, material, longitud, unión, profundidad, rasante, fecha de instalación, estado. Adicionalmente para el control y mantenimiento de tuberías se debe registrar: tramo, fecha, deficiencias, trabajo realizado, sustitución y observaciones.

Para elaborar las fichas del inventario de tuberías, se debe disponer información de redes en los planos zonales y posteriormente verificar la información en campo.

Las fichas técnicas servirán para cada vez que se haga inspección de la red de distribución indicar el tipo de acción realizada, para de esta manera conservar información técnico operativo actualizada.

Tabla 27.
Ficha técnica catastro de agua potable


Ficha técnica catastro de redes de agua potable


Localización		
Zona		
Esquina		
Características		
Accesorio		
Material		
Diámetro		
Profundidad		
Fecha de instalación		

Tipo de unión	Tubería	Ubicación	Rasante
Bridada	PVC	Acera	Tierra
Soldada	HG	Vía	Asfalto
Rosca	HF		Concreto
Mecánica	AC		Otro

Fecha	Funciona	Deficiencia	Trabajo realizado	Sustitución	Observaciones

Revisó:	Aprobó:
---------	---------

Tabla 28.
Ficha Inventario de Tuberías



Inventario de tuberías
GAD Pangua



Tramo	Diam	Material	Longitud	Unión	Profund	Rasante	Fecha	Estado

Control y mantenimiento de tuberías

T.						
Tramo	Fecha	Funciona	Deficien	realiz	Sustitución	Observaciones

Revisó:

Aprobó:

ELABORACIÓN DEL PLANO DE CONTROL OPERACIONAL

Una vez realizado los planos zonales, se elaborará el plano de control operacional cuya finalidad es ubicación de válvulas e hidrantes para su manejo. Dicho plano se deberá colocar en un lugar visible con accesibilidad al departamento técnico. Se ha procedido a designar colores a cada accesorio para señalar la situación en que se encuentran:

- Válvula totalmente abierta: Color verde
- Válvula parcialmente abierta: Color amarillo

- Válvula cerrada: Color rojo
- Válvula dañada: Color negro
- Válvula en reparación: Color blanco
- Hidrante en funcionamiento: Color azul
- Hidrante dañado: Color: azul y negro
- Hidrante en reparación: Color azul y blanco

Esta nomenclatura permite identificar en el plano la situación general del sistema de agua potable y por consiguiente se podrá maniobrar adecuadamente las válvulas para equilibrar el sistema. Además este tipo de planos permite sectorizar el sistema y evitar que al efectuar una reparación en la red de distribución se suspenda el servicio a toda la población.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA ACTUALIZAR PLANOS Y FICHAS TÉCNICAS

La red de distribución del sistema de agua potable está expuesta a grandes cambios para su operación y mantenimiento en cuanto a válvulas y accesorios se refiere. Por lo descrito anteriormente se recomienda actualizar los planos maestro, zonal, esquinero y fichas técnicas cada vez que se realice una maniobra sobre los accesorios y a su vez revisados como mínimo cada tres meses.

Para la actualización de los planos y fichas técnicas se requiere de un proceso constante de coordinación y comunicación entre los operadores del sistema de agua potable y la oficina de operación y mantenimiento del GAD Municipal de Pangua. La actualización del plano maestro debe realizarse cada vez que se aumente la cobertura del sistema de agua y varíe el conjunto urbano original.

Para la actualización de los planos zonales el sistema se debe someter a un proceso de continuo monitoreo y mantenimiento para que sean incorporados todos los cambios que se hayan realizado en la red de distribución y sus accesorios. Las actualizaciones se desarrollarán en función de las inspecciones llevadas a cabo en campo e informes de trabajo por parte de los operadores del sistema.

La actualización de los planos esquineros se basa principalmente en el levantamiento de información sobre los accesorios de la red de distribución en cada esquina o cruce de calles. Una vez que haya sido modificado el sistema actual, el plano esquinero debe ser actualizado o sustituido por otro para luego someterse a aprobación del equipo técnico y posteriormente servir como insumo para la actualización del plano zonal.

La actualización de las fichas técnicas se basa en el levantamiento de nueva información sobre características técnicas de válvulas, hidrantes y demás accesorios de la red de distribución mostrados en el respectivo plano esquinero. El procedimiento de la actualización se debe realizar de manera permanente cuando se realice cualquier modificación de las características técnicas registradas originalmente.

Para cada accesorio que se integre a la red de distribución se debe crear una nueva ficha técnica en donde se registre todas sus características. Para la actualización del plano de control operacional debe permanecer en continua vigilancia operativa, de tal forma que cualquier cambio se registre de manera inmediata. Este es el plano bajo el cual se mantiene el monitoreo a todas las operaciones y cambios que se efectúen sobre la red de distribución.

El equipo de operación y mantenimiento debe realizar un informe semanal justificando los cambios realizados en el sistema y a su vez mantener actualizados y expuestos los planos y fichas técnicas.

ESTIMACIÓN DE RECURSOS PARA EL CATASTRO DE REDES

Para el efectivo desarrollo de la estimación de recursos del catastro de redes se asume que no se dispone de información básica necesaria tales como planos generales, zonales, esquineros y fichas técnicas. Por tal motivo es indispensable realizar el levantamiento completo de información de las redes de distribución de agua potable.

PERSONAL REQUERIDO

Para el levantamiento de información del catastro de redes de distribución de agua potable se considera la participación de un equipo humano mínimo, conformado por los siguientes integrantes:

- Ingeniero civil o sanitario, responsable de la coordinación para la elaboración de los planos maestro, zonales, esquineros y fichas técnicas.
- Auxiliar de ingeniería, responsable de apoyo para las actividades de oficina y campo.
- Técnico/operador, responsable de la localización de redes, accesorios y recolección de información para la elaboración de planos.
- Dos Obreros, para apoyo a los técnicos en la localización de la red y accesorios.
- Dibujante, responsable de elaborar los planos definitivos del catastro, con base a la información levantada de campo.

Estimación de costos para la ejecución del catastro:

La estimación de costos directos para la ejecución del catastro de redes de agua potable facilita realizar la programación de los recursos financieros en función del desarrollo de las distintas actividades. A continuación se presenta en la Tabla 29, la estimación de costos para el desarrollo del catastro de redes.

Tabla 29.
Costos y personal requerido

Personal	Cantidad	Tiempo de participación (meses)	Valor servicios (\$/mes)	Costo total (\$)
Ingeniero Civil o Sanitario	1	2	1 200,00	2 400,00
Técnico inspector	1	2	800	1 600,00
Obreros	2	2	386	772
Auxiliar de ingeniería	1	2	800	1 600,00
Dibujante	1	1.5	600	900
Total (\$)				7 272,00

5.2.2.6. Conclusiones y recomendaciones

- El catastro actualizado de redes servirá de insumo para disminuir y controlar el agua potable que se pierde por fugas.
- Se dispondrá de información actualizada sobre las redes de agua potable para iniciar el proceso diagnóstico de pérdidas de agua.
- Mantener información documentada sobre el manejo de los sistemas y la ubicación y manipulación de sus accesorios reduce los inconvenientes que se presentan cuando la persona dueña de este conocimiento se encuentra ausente.

5.2.3. Proyecto de instalación de macromedidores

5.2.3.1. Antecedentes

El agua es un recurso natural fundamental para el desarrollo de la vida en el mundo, además satisface las necesidades de la población brindando agua para consumo humano, agrícola e industrial tal como lo establece la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamientos del Agua en nuestro país.

El agua se ha convertido en un elemento básico para el desarrollo de la vida a través del tiempo, convirtiéndose en uno de los recursos de mayor presión que es enfrentado actualmente debido al gran crecimiento poblacional. Por tal motivo hoy en día la población se ve obligada al establecimiento de políticas, estrategias y metas que alcancen una adecuada gestión de los recursos hídricos de manera, local, regional y mundial.

En las últimas décadas se han desarrollado políticas que tienen la finalidad de promover la gestión del recurso hídrico fundamentada en el uso sostenible, mejoramiento de la calidad del servicio y cuidado del ambiente. Para el desarrollo de las políticas mencionadas es necesario partir de la herramienta de medición de caudales, que permite determinar la cantidad de agua disponible y plantear metas en función de indicadores de gestión.

La correcta gestión del agua se fundamenta en la medición de los caudales que circulan en las diferentes estructuras de un sistema de abastecimiento de agua potable tales como; captación, tratamiento, almacenamiento y distribución. A partir del registro de caudales se debe evaluar el volumen de agua disponible y desarrollar planes, programas y estrategias para el mejoramiento continuo del sistema. El GAD Municipal de Pangua no dispone de macromedición en las fuentes de captación, ni tampoco en los circuitos de distribución, únicamente se miden los caudales a la salida de la planta de tratamiento de agua potable.

5.2.3.2. Objetivo general

Implementar la macromedición como una herramienta indispensable para la medición del líquido vital en sistemas de abastecimiento.

5.2.3.3. Objetivos específicos

- Determinar volúmenes de agua no facturados, para desarrollar programas y reducir costos

- Planificar programas de mantenimiento correctivo de redes y plantas de tratamiento
- Evaluar condiciones hidráulicas reales de un sector o circuito
- Evaluar el sistema de micromedición existente
- Formular y ejecutar políticas de comercialización

5.2.3.4. Justificación

Según las Naciones Unidas, para el año 2 050 la crisis del agua afectará tres cuartas partes de la población mundial, siendo insuficiente para la producción de alimentos y el sustento de los ecosistemas del planeta, ya que se deberá incrementar en un 60% la producción de alimentos en la tierra para el año 2 030 (FAO, 2003), afectando a todos los sectores sociales y económicos y colocando en peligro la sostenibilidad de los recursos naturales (FAO, 2007).

Por esta razón han surgido organizaciones como la Asociación Mundial para el Agua (Global Water Partnership, GWP), la cual tiene como objetivo principal, promover el Manejo Integrado del Recurso Hídrico, entendido como un “proceso para el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales” (GWP. 2000).

La inexistencia de equipos de medición impide a las autoridades competentes realizar un control a las autorizaciones de agua, además del adecuado cobro correspondiente a la tasa por utilización del agua. El artículo 140 de la Ley de Recursos Hídricos menciona que: “la entrega de la cantidad mínima vital de agua cruda establecida por la Autoridad Única del Agua para la provisión de servicios de agua potable no estará sujeta a tarifa alguna”.

Solamente cuando se exceda el volumen mínimo se aplicará la tarifa. Por tal razón es necesario que se mida los caudales captados, producidos y facturados en los sistemas de agua de las entidades prestadoras del servicio de agua potable, ya que en su mayoría a nivel nacional no existe información sobre instalación y registros de sistemas de medición.

5.2.3.5. Desarrollo

LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES DE MEDICIÓN

Para determinar los sitios prioritarios en donde es necesario instalar macromedición se debe partir de un diagnóstico del sistema de macromedición actual, analizando la operatividad en los sitios donde existe macromedición y los sitios complementarios propuestos. Dentro de un sistema de agua potable es necesario disponer de macromedición en cada uno de sus procesos:

- **Captación:** Es recomendable disponer de macromedidores en obras de captación de las fuentes, para controlar que ingresa al sistema de conducción.
- **Conducción:** Es recomendable disponer de instalaciones intermedias en la conducción para identificar tramos con conducciones clandestinas y fugas.
- **Potabilización:** En las plantas potabilizadoras es necesario disponer de macromedición a la entrada y salida de las mismas, para conocer con exactitud la cantidad de agua que se pierde en retrolavados, calcular la dosificación exacta de coagulantes, desinfectante y para determinar la eficiencia hidráulica de la planta potabilizadora.
- **Distribución:** Para los sitios en donde exista red de distribución sectorizada es necesario contar con un sistema de macromedición para cada uno, con la finalidad de que su operación pueda ser comparada con el registro de micromedición de consumos y a su vez facilite la detección de pérdidas físicas y comerciales.

- Otros sitios de la infraestructura: Otros puntos importantes de la macromedición para la finalización del proceso son las entradas a las plantas de aguas residuales.

MEDICIÓN DE CAUDAL

Tabla 30.

Tipo de medidores

En conductos a presión		En canales (gravedad)		
Volumétricos	Volumétricos velocidad-área	Canaletas de tirante crítico	Vertedores	Otros métodos
Desplazamiento (+)	Mecánicos de vel.	Garganta corta	Pared delgada	Velocidad - área
Disco nutativo	Turbina	Parshall	Triangulares	Molinetes
pistón oscilante	Propela o hélice	Khafagi	Rectangulares	Flotadores
		Garganta cortada	Proporcional	Ultrasónico
		Aforador H	Parabólico	Acústico
			Trapazoidal	Electromagnético
	Electromagnéticos	Garganta larga	Cresta ancha	Dilución
	Carrete	Rectangular	Rectangular	Trazador químico
	Inserción	Trapezoidal	Triangular bid.	Trazador radioactivo
		Triangular	Triangular V	Trazador fluorescente
		Palmer Bowlus	Cresta redondeada	
		Sección U		
	Ultrasónicos	Otros	Otros	Otros
	Tiempo en tránsito			Área - pendiente
	Efecto Doppler			
	Inserción			
	Electromagnéticos			
	Microturbina			
	Presión diferencial			
	Venturi			
	Placa de orificio			
	Tobera			
	Pitot			
	Annubar			
	Área variable			
	Rotámetros			
	Otros			

Fuente: (Ress & Roberson, 2016)

Existe una gran variedad de sistemas de medición de caudal para todo tipo de fluidos, pero para los sistemas de agua en donde se implican flujos a presión y flujos a superficie libre, es necesario medir con equipos más apropiados según el caso. A continuación se presenta en la Tabla 30 el tipo de medidores en función del flujo.

Los instrumentos diseñados para medir caudales en tuberías a presión se fundamentan en la medición específica de la velocidad localizada en dicha área transversal de la tubería y en relacionar con la velocidad media del flujo. Sin embargo cada equipo dispone de principios diferentes de funcionalidad para obtener la velocidad local y posteriormente la velocidad media del flujo.

Los principales instrumentos de medición de caudal en tuberías de presión son medidores de velocidad, volumétricos, ultrasónicos y electromagnéticos.

Medidores de velocidad: Su funcionamiento se encuentra fundamentado en el accionar de la turbina mediante un chorro tangencial de agua, siendo la velocidad de la turbina directamente proporcional a la velocidad de impacto sobre esta, es por esto que cualquier alteración a este proceso afectará directamente a la medida del caudal y provocará un error de medición (Arregui, 2007). Generalmente los medidores de velocidad se encuentran divididos en medidores de chorro único y chorro múltiple, la sustancial diferencia entre estos dos instrumentos radica en que los de chorro único el agua toca a la turbina en un solo punto, mientras que los de chorro múltiple tocan a la turbina en toda su periferia.

Medidores Volumétricos: Se basa principalmente en la determinación del volumen a través del llenado y vaciado de cámaras de volumen conocido y estos pueden ser de disco o de pistón.

Medidores por ultrasonido: Comúnmente se los conoce como caudalímetros de ultrasonido. Utilizan la variación de velocidad de sonido y el cambio de frecuencia de la onda sonora al reflejarse en un cuerpo en movimiento y ser observada por un sensor (Arregui, 2007).

Medidores electromagnéticos: Para determinar la velocidad el medidor opera a través de bobinas magnéticas y electrodos que se encuentran en contacto con el fluido. Su operación se fundamenta en el principio de la ley de Faraday, que dice “el voltaje inducido en un conductor que se desplaza a través de un campo electromagnético es proporcional a la velocidad de ese conductor”.

En la Figura 32 se presenta la variación de la exactitud de los medidores en relación con la antigüedad.

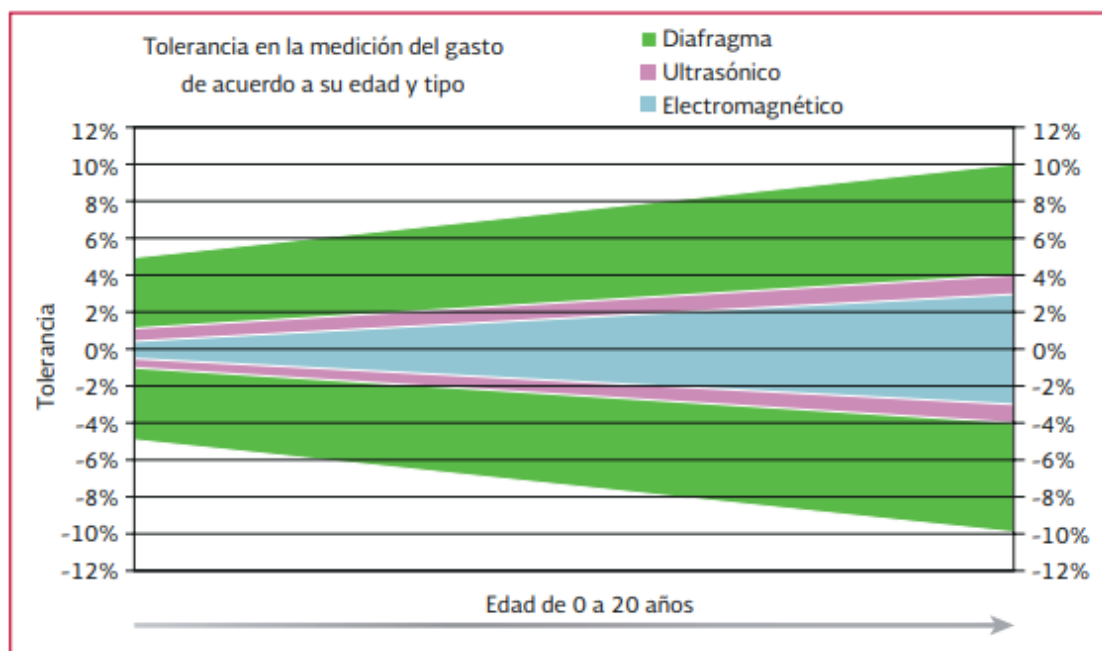


Figura 32. Tolerancia de medición en función de la antigüedad

Fuente: (Ress & Roberson, 2016)

Para la selección del equipo de medición óptimo es necesario tener en cuenta ciertos factores:

- ✓ Medición permanente o eventual
- ✓ Propiedades físicas y químicas del agua a ser medida
- ✓ Volumen del flujo de agua
- ✓ Temperatura y presión

- ✓ Continuidad del flujo
- ✓ Ubicación del sitio de medición y accesibilidad para el respectivo mantenimiento
- ✓ Precisión requerida en la medición
- ✓ Presupuesto para adquisición

Los medidores de caudal se calibran generalmente para condiciones de referencia de fábrica, en laboratorios o centros de calibración con fluidos de propiedades determinadas. Los laboratorios están diseñados para evaluar a los medidores en condiciones normales de funcionamiento.

SISTEMA DE INFORMACIÓN DE LA MACROMEDICIÓN

La macromedición no solamente consta de los aparatos de medición, sino también incluye el sistema de información para complementar y cumplir con los objetivos previstos para finalmente incorporar los datos al organismo operador. Es bastante común encontrar infraestructura de agua potable con macromedición instalada y sin un sistema de información respectivo.

Un sistema de información básica de macromedición consta de tres fases:

- Entradas: Se fundamenta en la recolección y recibo de datos e información. La frecuencia del registro de la lectura del caudal obedece principalmente a las necesidades de control de operación de la infraestructura de abastecimiento de agua, pero sobre todo enmarcadas en satisfacer las necesidades de las demandas diarias, horarias y estacionales para cada una de las zonas de distribución de una población. Para el control de fugas es necesario disponer de información horaria, de consumos máximos y de nivel de los tanques de almacenamiento.

- **Procesos:** Cálculos, procesamiento y almacenamiento de datos. El procesamiento puede ser automatizado o a su vez generar alertas de valores que se encuentren fuera del rango normal para verificar si es problema de lectura, del medidor o de cualquier otro tipo. En sistemas pequeños la toma de lecturas en medidores puede ser directamente con un registro manual y en formatos papel. Cuando los prestadores de servicio son medianos pueden implementar tecnología para la toma de lecturas tales como: celulares, tablets, etc. Para prestadores de servicios desarrollados, la información se puede adquirir de manera automática a través de sistemas informáticos, la adquisición de datos consiste en la toma automática de lecturas de los sensores instalados.
- **Salidas:** Divulgación y disponibilidad de información. Corresponden a reportes de las distintas áreas medidas que se utilizaran en el monitoreo y posterior ejecución de acciones. Las acciones a tomar mediante el control de esta información pueden ser de trascendental importancia y de forma inmediata como la detención de una bomba, rotura de tubería. Además se debe enviar reportes inmediatos a las distintas áreas de operación responsables para la toma de decisiones, siendo este proceso conocido como divulgación de datos y reportes de medición. Los reportes mensuales se utilizan generalmente para el análisis del balance del agua y cuantificar las pérdidas físicas y comerciales.

COMUNICACIONES Y TELEMETRÍA

Para la telemetría existen varias herramientas consideradas como hardware, pero sin embargo el problema se encuentra en los protocolos de comunicación para transferir los datos del micromedidor hacia el modem, debido a que cada medidor puede disponer de diferente protocolo de comunicación el mismo que es especificado por el fabricante del instrumento.

Este proceso requiere de un modem que emita o reciba información a través de una radio frecuencia, bluetooth, celular internet o vía satelital. El precio de los módems depende básicamente de la capacidad de almacenamiento, configuración y puertos de comunicación.

Actualmente la facilidad del internet inalámbrico constituye una alternativa para la rápida transmisión de datos, permitiendo desde un computador (con internet) tener acceso al medidor y recepat los datos del sistema de medición. El medidor se conecta directamente al modem satelital y los datos son incorporados a la red del servidor en donde se almacenan y son observados gráficamente.

La radio frecuencia es utilizada también como sistema de telemetría en donde la distancia a cubrir en el enlace es un parámetro importante en la toma de decisión de los equipos a implementar, también es necesario considerar la topografía del terreno para determinar las distancias de alcance.

La ampliación de la cobertura de la telefonía celular constituye una herramienta indispensable para la trasmisión de datos siendo la forma más común vía GPRS, permitiendo enviar mensajes instantáneos a un servidor. Para la transmisión de datos a través de celular se necesita que el dispositivo de medición se conecte al modem GPRS vía puerto USB.

Para efectuar la transmisión satelital se utilizan satélites con dos tipos de órbitas; órbitas terrestres y geoestacionaria. Los satélites se encuentran en constante movimiento alrededor de la tierra para minimizar problemas de cobertura global y se utilizan en sitios que cuenten con internet o telefonía celular.

UBICACIÓN DE LOS MACROMEDIDORES

Las áreas que poseen macromedición deben ayudar a identificar la problemática y necesidades importantes de varios aspectos que intervienen como: recursos humanos, físicos,

materiales, financieros, de planificación, administración y control, para el correcto funcionamiento de la macromedición en la captación, conducción, almacenamiento y distribución del agua para la población como se muestra en la Figura 33.

El sistema de agua potable de la ciudad de El Corazón no dispone de macromedición en ninguna de sus tres captaciones, por lo que se recomienda la instalación inmediata del sistema de macromedición.

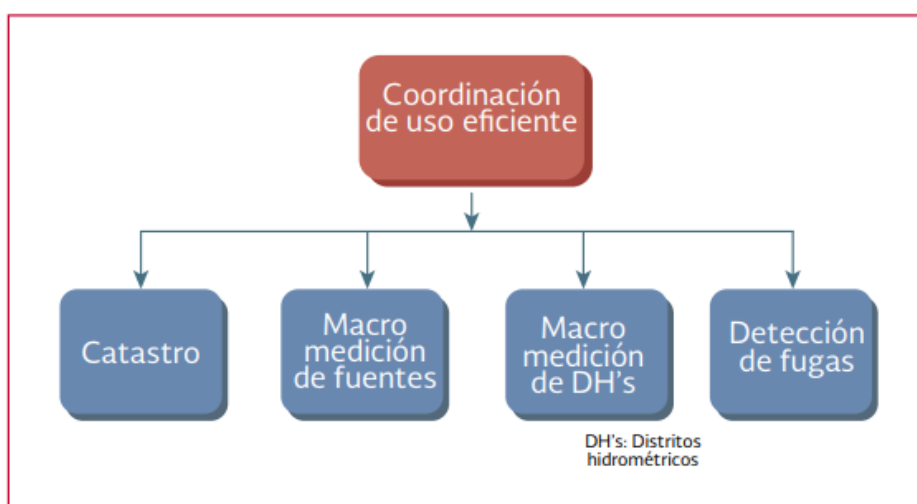


Figura 33. Uso eficiente del agua

A la entrada de la planta de tratamiento ubicada en el sector de Muligua tampoco dispone de macromedición, únicamente a la salida del tanque de almacenamiento que se encuentra dicha planta existen instalados 2 macromedidores que registran el gasto diario.

El sistema de distribución se encuentra sectorizado en tres circuitos pero ninguno tiene macromedición, por lo que se recomienda instalar los medidores de caudal a la entrada de la planta de agua, así como también al inicio de cada uno de los tres circuitos, ya que esto servirá de insumo para determinar el porcentaje de pérdidas de agua en cada sector y posteriormente poder planificar y ejecutar acciones para mitigar las pérdidas de agua potable.

5.2.3.6. Conclusiones y recomendaciones

- Al implementar la macromedición facilitará el análisis del agua no contabilizada y ayudará a identificar los sectores en los cuales existe pérdidas.
- Por medio de la macromedición se identificará volúmenes de agua no facturados, para desarrollar programas de mejoras y reducir costos.
- El uso de los macromedidores permite evaluar condiciones hidráulicas reales de un sector o circuito para poder ejecutar planes de mejora en función del mejoramiento del sistema de agua.

En la Tabla 31 se presenta las actividades y el presupuesto referencial para la instalación de 6 macromedidores en la conducción de agua desde la captación hasta la planta de tratamiento.

Tabla 31.

Presupuesto Instalación de macromedidores

Presupuesto de actividades	
GAD Municipal de Pangua	
Actividad	USD
Recopilación de información disponible	250
Evaluación física del sistema de conducción	7000
Identificación de equipos a instalar	400
Instalación de macromedidores	2100
Elaboración de fichas para la toma de lecturas	100
Total	9850

5.2.4. Proyecto de sectorización de redes de distribución

5.2.4.1. Antecedentes

El cantón Pangua se encuentra ubicado al suroeste de la provincia de Cotopaxi y su cabecera cantonal El Corazón dispone de un servicio de agua potable cuyas pérdidas de agua se encuentran alrededor del 70%. Actualmente las redes de distribución de agua están divididas en tres circuitos,

los cuales operan de manera deficiente, presentando una gran cantidad de fugas asociadas a variaciones de presión debido a la forma de operación e interconexiones entre tuberías, considerando también la irregularidad de la topografía de la zona.

Las redes de distribución de los sistemas de agua potable para ofrecer un servicio eficiente deben estar sectorizadas. La sectorización considerada como una planificación en función de la homogenización del servicio de agua potable define la subdivisión de las redes con una entrada de agua controlada. Dentro de las principales ventajas se encuentra la facilidad con la que se detecta cualquier situación respecto al funcionamiento de la red, permitiendo aplicar técnicas particulares de control de fugas y modelos de gestión diversos.

5.2.4.2. Objetivo general

Construir una propuesta para la sectorización de la red de distribución de agua potable de la ciudad de El Corazón, tomando en consideración criterios hidráulicos, geográficos.

5.2.4.3. Objetivos específicos

- Distribuir la red de agua potable por sectores para la operación y mantenimiento del sistema de agua.
- Homogenizar las presiones de agua potable en cada circuito
- Controlar el índice de agua no contabilizada

5.2.4.4. Justificación

La red de distribución de agua potable de la ciudad de El Corazón se encuentra distribuida en tres circuitos. El circuito 1 comprende desde la planta de tratamiento en el barrio Muligua hasta el borde Este del parque central, el circuito 2 va desde el borde Este del parque central hasta la calle

Primero de Junio y el circuito 3 comprende desde la calle Primero de Junio hasta el sector de la Gasolinera vía a Moraspungo.

Los circuitos descritos no se encuentran distribuidos de la mejor manera y existe invasiones entre sus límites. El circuito 3 se encuentra ubicado en la parte más baja de la ciudad y sus redes son abiertas, es decir no forman una malla lo cual no permite equilibrar las presiones.

5.2.4.5. Desarrollo

ETAPAS DE LA SECTORIZACIÓN

La sectorización se considera una etapa en la cual interviene recursos humanos y económicos, por lo que se necesita iniciar desde una planificación estratégica definida para la ciudad. Las principales etapas de la sectorización se listan a continuación:

- Planeación; Catastro de las redes de distribución de agua potable
- Análisis de los sitios destinados para la interconexión y abastecimiento de cada una de las subredes de agua
- Diseño de un sector piloto, incluyendo los accesorios necesarios como válvulas para el control de caudales e identificación de presiones
- Construcción de un modelo de simulación hidráulica en base al sector piloto diseñado
- Realizar ajustes del sector piloto en función del modelo simulado
- Construcción e instrumentación
- Operación y mantenimiento
- Ampliación del proyecto piloto a toda la red de distribución de agua potable

CRITERIOS DE SECTORIZACIÓN

Para realizar la sectorización es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Presión: La sectorización no debe afectar a la presión de servicio, por lo que debe construirse una malla cerrada de red de distribución
- Calidad del agua: La sectorización debe garantizar la óptima distribución del servicio de agua potable considerando mantener la calidad del agua, para lo cual se evitará la formación de finales de red de tal forma que el agua pueda circular sin restricciones en todo el sistema evitando la pérdida del agente desinfectante, acumulación de sedimentos.
- Sectores: Los sectores deben estar conformados por una extensión de red que permita determinar la localización temprana de las fugas.
- Caracterización de los circuitos: Los circuitos o sectores se realizarán en función de consumos similares de acuerdo a las categorías. Los sectores deben ser fácilmente reconocibles, tener límites hidráulicos definidos en función de la topografía.
- Monitoreo: El objetivo de la sectorización es dividir la red en circuitos para controlar de manera efectiva el abastecimiento de agua potable. Para el correcto monitoreo se emplearán accesorios y equipos que permitan facilitar la información necesaria.
- Mantenimiento: El mantenimiento se debe efectuar a través de estructuras by pass, con la finalidad de que los trabajos a ejecutarse no afecten al servicio.

El asentamiento poblacional generalmente no obedece a una planificación de asentamientos humanos, sino más bien a las necesidades y estrato económico de la población. Es así que el diseño de sectores de redes de distribución de agua potable ante el crecimiento poblacional busca subsanar problemas locales de abastecimiento.

En varias redes de agua potable las fuentes de abastecimiento no se encuentran dentro de la ciudad. Esto hace inviable el establecimiento de microsectores de redes con una fuente exclusiva.

Se pueden establecer únicamente macrosectores con una fuente exclusiva, pero luego estos serían poco útiles para los objetivos de un plan de control activo de fugas, en vista que se dispondría de menor grado de sensibilidad para registrar cambios anómalos de caudal. De allí que sea necesario establecer sectores de menor tamaño que se abastezcan partir de puntos conectados a una red troncal (Campbell González, 2013).

El control activo de fugas es ampliamente reconocido como una gran ventaja de la sectorización de redes. El mayor volumen de fugas en las redes de agua potable se reporta en las líneas y accesorios de conexión de menor diámetro.

SECTORIZACIÓN PROPUESTA

La sectorización que se propone tomando en cuenta los lineamientos anteriores contempla 3 sectores de la zona urbana. A continuación se definen los sectores propuestos indicando la ubicación, delimitación y características de los accesorios de la red de agua a instalar.

CIRCUITO 1 Antiguo Palacio Municipal, Zona Residencial

En la Figura 34 se muestra la ubicación física del circuito 1.

El sector del antiguo Palacio Municipal posee una extensión de aproximadamente 19 Ha, se ubica en la zona alta del centro urbano, desde la planta de tratamiento de agua potable hasta la calle García Moreno. Se habilitará una única entrada desde la planta de tratamiento de agua potable la cual dispondrá de un macromedidor, válvulas reguladoras de presión, válvulas de corte.

CIRCUITO 2 Parque Central, Zona Comercial

El sector del Parque Central posee una extensión de aproximadamente 13 Ha, se ubica en la zona media del centro urbano considerado como zona comercial, y comprende desde la calle García Moreno hasta la calle Primero de Junio. Se habilitará una única entrada desde la planta de

tratamiento de agua potable la cual dispondrá de un macromedidor, válvulas reguladoras de presión, válvulas de corte. En la Figura 35 se presenta el circuito 2 propuesto.

CIRCUITO 3 Hospital, Zona Residencial

El sector del Hospital posee una extensión de aproximadamente 15 Ha, se ubica en la zona baja del centro urbano considerado como zona residencial, y comprende desde la calle Primero de Junio hasta la Gasolinera. Se habilitará una única entrada desde la planta de tratamiento de agua potable la cual dispondrá de un macromedidor y válvulas reguladoras de presión. En la Figura 36 se presenta el circuito 3 propuesto.

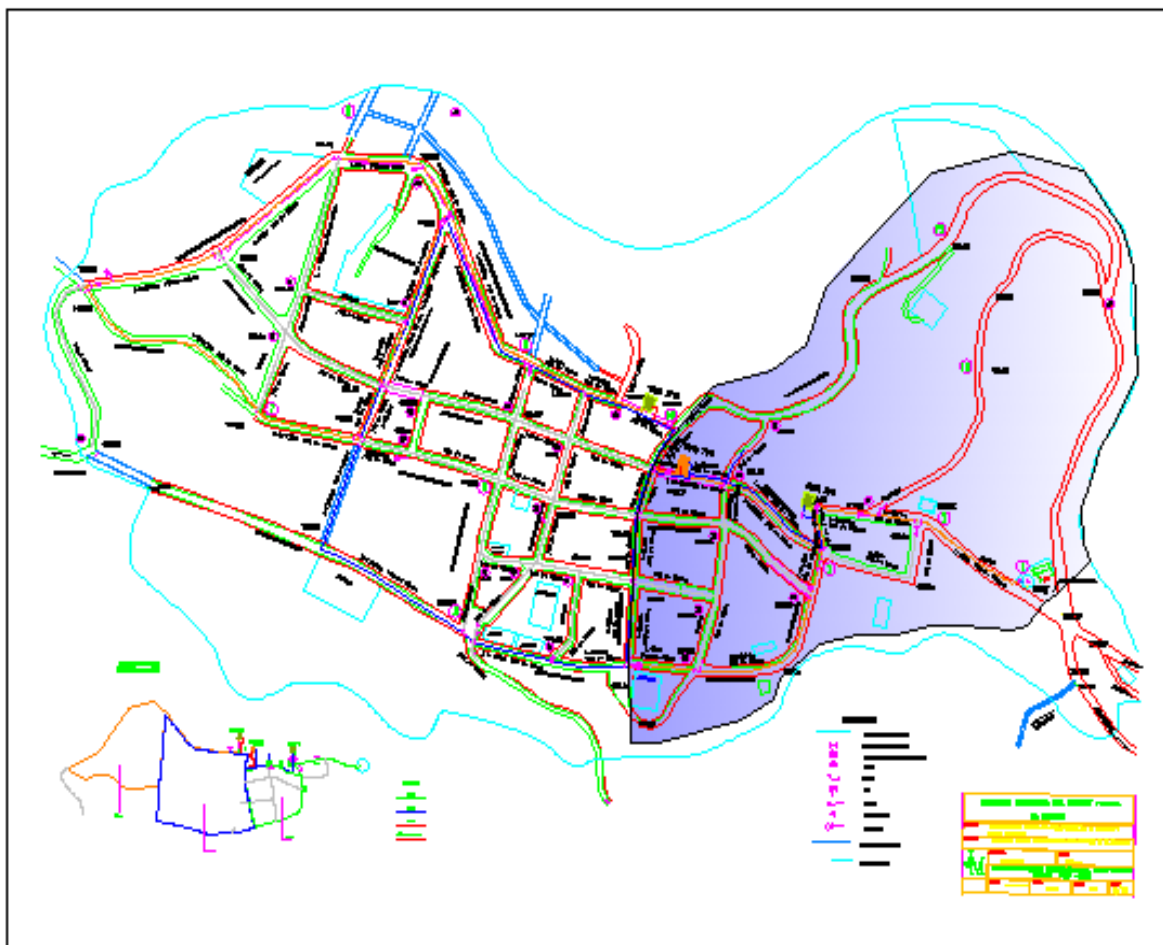


Figura 34. Circuito 1



Figura 35. Circuito 2

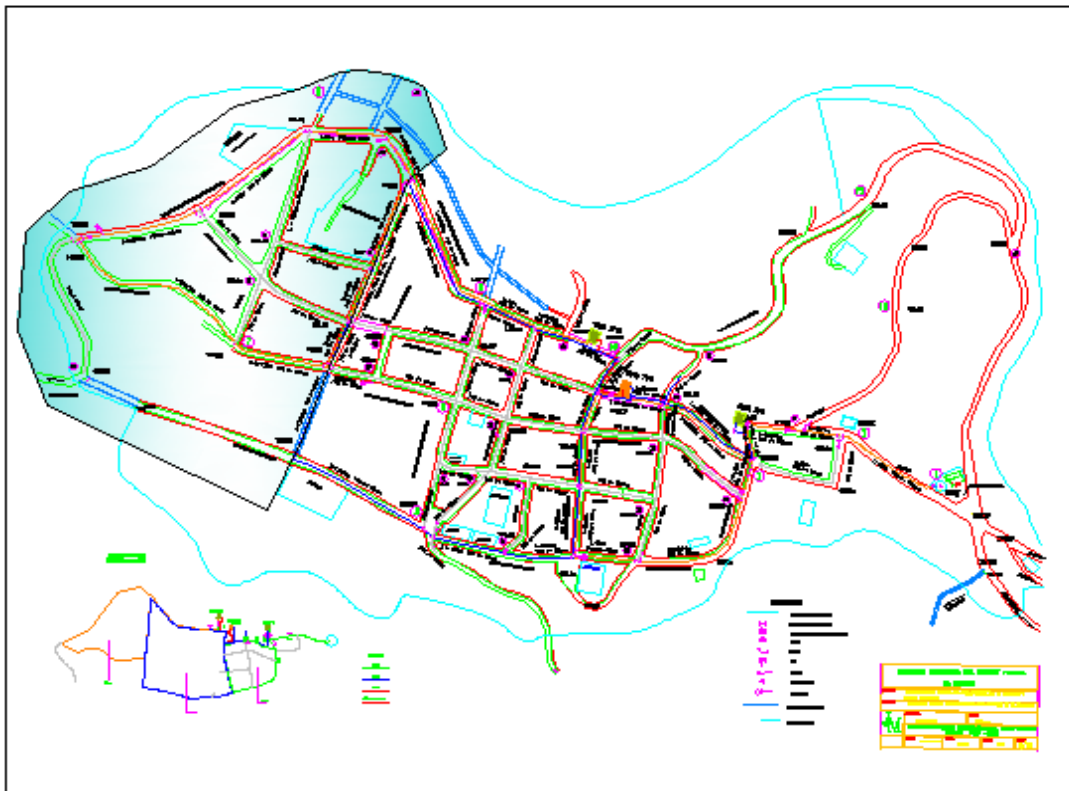


Figura 36. Circuito 3

Las válvulas a instalar serán de tipo compuerta normalizadas, de cierre elástico, conexiones brida-brida y PN 16. En la Figura 37 se presenta la válvula tipo.

Los equipos de monitorización se utilizan para registrar el caudal y presión, enviando la información recopilada vía SMS/GPR y funcionar con baterías de vida útil aproximadamente 5 años. Estos equipos disponen de dos canales uno para caudal y otro para presión. En la Figura 38 se muestra el equipo.



Figura 38. Sección válvula de compuerta



Figura 37. Equipo de Monitorización

Tabla 32.

Presupuesto sectorización de redes de distribución

Presupuesto de actividades	
GAD Municipal de Pangua	
Actividad	USD
Recopilación de información disponible	200
Evaluación física del sistema de distribución	5000
Conformación de circuitos	1000
Modelación del sistema a diseñar	3000
Presentación de la propuesta	100
Total	9 300

En la Tabla 32, se presenta el presupuesto referencial para la propuesta de sectorización de redes de distribución.

5.2.4.6. Conclusiones y recomendaciones

- La sectorización de las redes de agua potable representa una opción estratégica que puede llevarse a cabo con múltiples objetivos mejorando el servicio y controlando la calidad del agua.
- Disponer de una red sectorizada favorece el tratamiento de algunos problemas en la misma (fugas, calidad del agua, reparación, etc.), debido a la reducción dimensional implícita en ella (sectorización); sin embargo, su implantación cambia su comportamiento hidráulico, dado que al implicar el cierre de válvulas (tuberías), se rompe el principio de redundancia hidráulica que tienen las redes malladas, haciéndolas más vulnerables a entrar en escenarios de desabastecimiento ante la falla de uno (o más) de sus elementos.

En la Tabla 33 se presenta el resumen del presupuesto referencial de los Planes de Mejora propuestos en este estudio.

Tabla 33.

Resumen presupuesto referencial de Planes de Mejora

Proyecto	Objetivo	Costo USD
Instalación de micromedidores	Instalar 124 micromedidores	7 520
Censo de usuarios y catastro de suscriptores	Realizar el censo de usuarios	5 670
Detección y control de clandestinas	Detectar conexiones clandestinas	8 450
Control de fugas visibles y no visibles	Elaborar Plan para el control de fugas	9 750
Catastro de redes del sistema de agua potable	Disponer detalles técnicos de ubicación redes	7 250
Instalación de macromedidores	Implementar macromedición en conducción	9 850
Sectorización de redes de distribución	Sectorizar la red de distribución	9 300
Total		57 790

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El porcentaje de agua no contabilizada en el cantón Pangua para el sistema de agua potable El Corazón es de 67,90%, porcentaje que representa a las pérdidas técnicas y comerciales para el año 2017. Estas pérdidas representadas en dinero corresponde a \$ 7 640,28 mensual y \$ 91 683,36 anual. Calculando para el período de 5 años que dura una alcaldía el valor de la pérdida asciende a \$ 458 416,80, dinero que puede ser empleado en la ejecución de los planes de mejora.
- Mediante el levantamiento de información técnica comercial se diagnosticó el sistema de agua potable, sus estructuras principales y su funcionamiento desde las captaciones hasta las redes de distribución. Procediendo posteriormente a obtener los volúmenes de agua potable producidos y facturados que sirvieron como insumo para determinar el índice de agua no contabilizada.
- El caudal distribuido de agua potable a la ciudad de El Corazón de 12,06 L/s, el caudal de pérdidas totales de agua potable es de 8,19 L/s, siendo 7,32 L/s correspondiente a pérdidas técnicas y 0,86 pérdidas comerciales.
- Las pérdidas principales están localizadas en las tuberías de hierro antiguas, en las que abastecen a los hidrantes y en las acometidas domiciliarias de las redes de distribución.
- El desperdicio principal de agua potable se encuentra en el lavado de calles y estructuras municipales de la ciudad y en las instalaciones interiores de edificios y viviendas que no poseen micromedidor.

- El aumento de la cobertura de micromedición permitirá aumentar la continuidad del servicio público de agua potable que brinda el Municipio de Pangua de manera eficiente, teniendo en cuenta la sostenibilidad ambiental.
- La elaboración de los Programas de Control de Pérdidas o Planes de Mejora permitirá a través de la ejecución de dichos planes disminuir el porcentaje de agua no contabilizada y se distribuir equitativamente el agua potable entre los usuarios, promoviendo la sostenibilidad financiera y ambiental.
- La reducción de fugas de agua potable permitirán el ahorro del recurso agua y de recursos económicos invertidos en su tratamiento.
- Al reducir las pérdidas de agua potable, la infraestructura instalada sería suficiente para atender a toda la población y los niveles de presión se equilibrarán en toda la red.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda implementar el Programa de Control Técnico y Comercial para la reducción del índice de agua no contabilizada y llevar las pérdidas de agua potable hasta valores mínimos admisibles, promoviendo la sostenibilidad financiera.
- Se recomienda al GAD Municipal de Pangua crear una política de reemplazo de medidores que hayan cumplido la vida útil de 10 años o 3 000 m³, sin que presente necesariamente anomalías visibles.

BIBLIOGRAFÍA

- ADERASA. (2013). *Asociación de entes reguladores de agua potable y saneamiento de Las Américas. Grupo Regional de Trabajo de BENCHMARKING*. Buenos Aires.
- Arreguín, F., & Ochoa, L. (1997). Evaluation of Water Losses in Distribution Networks. *Journal of Water Resources Planning*. México.
- BID. (2018). *El agua en tiempos de sequía*.
- Bourguett, & Ochoa, L. (2001). *Reducción integral de pérdidas de agua potable*.
- Campbell González, E. (2013). *Propuesya de sectoriazación de redes de abastecimiento de agua potable*. Valencia.
- CEPIS. (1981). *Control de las perdidas de agua de abastecimiento de agua potable*. Lima, Perú.
- CONAGUA. (2009). *Manual de incremento de eficiencia, hidraulica y energetica en sistemas de agua potable*. México: Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Mejora de Eficiencia Física*. México.
- Delgado , V. (2011). *Aplicación del método de jerarquías analíticas a la gestión de pérdidas de agua en redes de abastecimiento*. Valencia.
- Duran, L. (2014). *Plan de acción para la reducción de pérdidas comerciales de agua no contabilizada en el acueducto Metropolitano de Bucaramanga*. Bucaramanga.
- Empresa de Servicios Publicos de Buenavista. (2011). *Proyecto de Indice de Agua No Contabilizada (IANC) del Municipio de Buenavista*. Córdoba.
- EPMAPS. (2018). *Evaluación de Pérdidas Reales en Sectores Materializados*. Quito.
- ETAPA. (2006). *Programa de control de agua no contabilizada*. Cuenca.
- GAD PANGUA. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. El Corazón.
- GAD PANGUA. (2017). *Abastecimiento de Agua Potable El Corazón*. El Corazón.
- GAD PANGUA. (2017). *Ordenanza que regula el servicio y el cobro de las tasas por la dotación de agua potable y alcantarillado del cantón Pangua*. El Corazón.
- INEC. (2010). *Censo de Población y Vivienda*. Quito.

- International Water Association. (2003). Leak detection practices and techniques: a practical approach. *Water 21* .
- Jaramillo Ochoa, C. E. (2017). *ESTUDIO DE METABOLISMO URBANO DE LA CIUDAD DE CUENCA*. Cuenca.
- Jouravlev, A. (2004). *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*. Santiago de Chile.
- Maestu, J. (2010). Las Naciones Unidas y el Agua. *Ingeniería y Territorio*.
- MIDEPLAN. (1997). *Reducción de Pérdidas en Sistemas de Agua Potable*. Santiago de Chile.
- MIES. (2008). *Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección contra Incendios del Ministerio de Inclusión Económica y Social*. Quito.
- Molina, S. (2009). *Metodología para la reducción de pérdidas técnicas en el sistema de distribución de agua potable del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil.
- NTE INEN-ISO 4064. (2014). *Medidores de agua para agua potable fría y caliente. Requisitos metrológicos y técnicos*. Quito.
- Ochoa, L., & Bourguett, V. (2001). *Reducción integral de perdidas de agua potable*. México.
- ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Ortega, W., & Campaña, J. (2016). *Evaluación de la red de distribución de agua potable para determinar pérdidas y fugas de la urbanización La Colina del cantón Rumiñahui*. (E. P. Nacional, Ed.) Quito.
- OSE. (2014). Ampliación de la cobertura de saneamiento y mejoramiento y mejoramiento de la calidad del servicio de agua potable. *Administración de Obras Sanitarias del Estado*.
- Ramirez, D. (2014). *Análisis de las pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento*. Santiago de Cali.
- Ress, E., & Roberson, A. (2016). Agua no contabilizada. *Journal of the American Water Works Association*, 105.
- Sanchez , L., Florez , M., & Mejía , P. (2003). *Caracterización de pérdidas de agua en el sistema de distribución de Acueducto* . Cali.

- SENAGUA. (2014). *La Norma para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1.000 habitantes* . Quito.
- SENAGUA. (2014). *Normas Para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 habitantes* . Quito.
- SENAGUA. (2015). *Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento*. Quito.
- SENPLADES. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo*. Quito.
- UNAD. (2014). *Cálculo de pérdidas en el sistema de acueducto*. Bogotá.