UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON

SEDE SAN CARLOS

INGENIERÍA CIVIL

TESIS

SOMETIDA AL TRIBUNAL EXAMINADOR DE LA LICENCIATURA PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

ESTABLECIMIENTO DEL AGUA NO CONTABILIZADA EN LA ASADA DE PITAL MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN SIG, MEDIDORES DE CAUDAL Y UN CUADRO DE MANDO.

SUSTENTANTES:
CÉSAR ALEJANDRO MORALES JIMÉNEZ
ALDO ENRIQUE SALAZAR PICADO

DIRECTORA DE TESIS:
PAOLA VIDAL RIVERA

SAN CARLOS, COSTA RICA

SETIEMBRE 2025

Tribunal examinador

Este proyecto profesional fue aprobado por el Tribunal Examinador de la Licenciatura de Ingeniería Civil de la Universidad Isaac Newton.

LAURA REBECA PRENDAS CASTILLO (FIRMA)
Firmado digitalmente por LAURA REBECA PRENDAS CASTILLO (FIRMA)
Fecha: 2025.10.06 18:10:26 -06'00'

Licda. Laura Prendas Castillo.

Rectora de la Universidad Isaac Newton

PAOLA VIDAL RIVERA (FIRMA)
Firmado digitalmente por PAOLA VIDAL RIVERA (FIRMA)
Fecha: 2025.10.02 17:19:31 -06'00'

MSc. Paola Vidal Rivera.

Tutor

MARCOS VINICIO CHEVES CHEVES (FIRMA)
PERSONA FISICA [redacted]
Fecha declarada: 06/10/2025 05:05:38 p. m.
Esta es una representación gráfica únicamente, verifique la validez de la firma.

MSc. Marco Vinicio Chévez Chévez.

Lector

Universidad Isaac Newton
Escuela de Ingeniería Civil
Ingeniería Civil

DECLARACIÓN JURADA

Yo Cesar Alejandro Morales Jiménez cédula de identidad Nº [redacted] estudiante de la carrera Ingeniería Civil de la Universidad Isaac Newton, declaro bajo fe de juramento y conscientes de las responsabilidades de los civiles y penales de este acto, que este Trabajo Final de Investigación es de mi autoría y es presentado con la finalidad de obtener el grado de Licenciatura y tiene como título "Establecimiento del agua no contabilizada en la asada de Pital mediante la aplicación de un SIG, medidores de caudal y un cuadro de mando".

Declaro que en él no se han reproducido informaciones parciales o totales de otros autores, como si fueran de mi propia autoría, por el contrario, se han destacado en el uso de citas textuales las informaciones de otros autores, consignando su origen. Debido a lo anterior, libero a la Universidad Isaac Newton de cualquier responsabilidad en caso de que la declaración sea falsa.

Además, por este medio, autorizo la consulta de esta investigación para fines académicos por parte de la comunidad de usuarios de la Biblioteca de la Universidad Isaac Newton, bajo las modalidades de préstamo interno y a domicilio, así como su inclusión en repositorios o bases de datos digitales que la Universidad considere oportunas.

Entregado en las oficinas de la Dirección Administrativa de la Universidad Isaac Newton ubicada en Sede San Carlos a los 18 días del mes de Setiembre del 2025.

Firma 

Cesar Alejandro Morales Jiménez

Cédula [redacted]

Universidad Isaac Newton
Escuela de Ingeniería Civil
Ingeniería Civil

DECLARACIÓN JURADA

Yo Aldo Enrique Salazar Picado cédula de identidad Nº [redacted] estudiante de la carrera Ingeniería Civil de la Universidad Isaac Newton, declaro bajo fe de juramento y conscientes de las responsabilidades de los civiles y penales de este acto, que este Trabajo Final de Investigación es de mi autoría y es presentado con la finalidad de obtener el grado de Licenciatura y tiene como título "Establecimiento del agua no contabilizada en la asada de Pital mediante la aplicación de un SIG, medidores de caudal y un cuadro de mando".

Declaro que en él no se han reproducido informaciones parciales o totales de otros autores, como si fueran de mi propia autoría, por el contrario, se han destacado en el uso de citas textuales las informaciones de otros autores, consignando su origen. Debido a lo anterior, libero a la Universidad Isaac Newton de cualquier responsabilidad en caso de que la declaración sea falsa.

Además, por este medio, autorizo la consulta de esta investigación para fines académicos por parte de la comunidad de usuarios de la Biblioteca de la Universidad Isaac Newton, bajo las modalidades de préstamo interno y a domicilio, así como su inclusión en repositorios o bases de datos digitales que la Universidad considere oportunas.

Entregado en las oficinas de la Dirección Administrativa de la Universidad Isaac Newton ubicada en Sede San Carlos a los 18 días del mes de Setiembre del 2025.

Firma _____

Aldo Enrique Salazar Picado

Cédula [redacted]

CARTA DEL TUTOR

San José, 25 de Setiembre del 2025.

Señores
UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON
Presente

Estimados señores:

En mi calidad de tutora designada a la Tesis elaborada por los estudiantes Aldo Enrique Salazar Picado y Cesar Alejandro Morales Jiménez, titulados en licenciatura*, durante el período 2025*, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

Paola Vidal Rivera
Tutora de Tesis
Docente de la Universidad Isaac Newton

CARTA DEL LECTOR

San José 25 de Setiembre del 2025

Señores
UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON
Presente

Estimados señores:

En mi calidad de Lector designado a la Tesis elaborada por los estudiantes Aldo Enrique Salazar Picado y Cesar Alejandro Morales Jiménez, titulados en licenciatura*, durante el período 2025*, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

MARCOS VINICIO CHEVES CHEVES (FIRMA)
PERSONA FISICA [redacted]
Fecha declarada: 06/10/2025 05:06:59 p. m.
Esta es una representación gráfica únicamente,
verifique la validez de la firma.

Marco Vinicio Chévez Chévez
Lector de Tesis
Docente de la Universidad Isaac Newton

Dedicatoria

Para mi familia por todo el apoyo brindado durante esta etapa de mi vida.

-Cesar Alejandro Morales Jiménez-.

A mi familia, por el apoyo y confianza, además del cariño incondicional.

-Aldo Enrique Salazar Picado-.

Agradecimiento

Agradecemos enormemente a la profesora Paola Vidal, por toda la paciencia, sabiduría, conocimiento y dedicación mostrada hacia nosotros durante este proceso. Agradecemos a la Universidad Isaac Newton por la formación profesional brindada durante esta etapa estudiantil, tanto profesores, personeros administrativos como directores de carrera y rectores. Agradecimiento especial para los personeros de la ASADA de Pital, por toda la colaboración brindada, tanto Nerwin Nájera, Robert, Marifer, Estercita, Ruper, Melvin, Milena, Mary, Oscar, Matí, Nano y Sebas. Finalmente, y no menos importante, agradecer a nuestras familias que nos apoyaron y estuvieron presentes en todo momento.

Tabla de contenidos

Capítulo 1: Introducción 1

1.1 Planteamiento del problema de investigación 1

1.1.1 Contexto 1

1.1.2 Justificación 2

1.1.3 Problema de investigación 4

1.1.4 Estado del arte 5

1.2 Objetivos de la investigación 10

1.2.1 Objetivo general 10

1.2.2 Objetivos específicos 10

1.3 Las variables 11

1.3.1 Las variables 11

1.3.2 Matriz de la investigación 12

1.4 Alcances 12

1.5 Formulación de hipótesis de la investigación 13

Capítulo 2: Marco Teórico 14

2.1 Estado del conocimiento 14

2.1.1 Micromedición 14

2.1.2 Macromedición 14

2.1.3 Agua no contabilizada 15

2.1.3.1 Balance hídrico. 15

2.1.3.2 Cálculo de agua no contabilizada. 15

2.1.4 Pérdidas 16

2.1.5 Conceptos de Hidráulica 16

2.1.5.1 Presión de un fluido. 16

2.1.5.2 Peso específico del agua. 17

2.1.5.3 Altura o cabeza de presión. 17

2.1.5.4 Presión Atmosférica, Absoluta y Relativa. 17

2.1.6 Diseño de tuberías 17

2.1.6.1 Concepto de pérdida de carga. 18

2.1.6.2 Energía que posee un fluido. 18

2.1.6.3 Línea piezométrica. 19

2.1.7 Diseño de conducciones y redes 20

2.1.7.1 Tuberías en paralelo. 20

2.1.7.2 Fórmula de Hazen y Williams. 22

2.1.7.3 Diseño de una conducción. 24

2.1.7.4 Diámetro más económico. 25

2.1.7.5 Redes de tuberías. 25

2.1.8 Criterios de diseño 27

2.1.8.1 Población de diseño. 27

2.1.8.2 Consumo de tipo doméstico, comercial y público. 29

2 .1.8.3 Dotaciones..... 29

2.1.8.4 Periodos de diseño y vida útil de estructuras. 30

2.1.8.5 Factores de demanda máxima. 30

2.1.8.6 Caudal de incendio. 31

2.1.8.7 Caudal coincidente. 31

2.1.8.8 Conductos a presión. 32

2.1.8.9 Carga estática disponible. 32

2.1.8.10 Colocación de hidrantes. 32

2.1.8.11 Carga hidráulica. 32

2.1.8.12 Condición para caudal máximo horario. 33

2.1.8.13 Condición para atención de incendios. 33

2.1.8.14 Tanques de almacenamiento. 33

2.1.8.14.1 Volumen de regulación del consumo. 33

2.1.8.14.2 Volumen de reserva para incendios. 34

2.1.8.14.3 Volumen de reserva para interrupciones. 34

2.1.8.15 Tomas, captación y líneas de aducción. 34

2.1.8.16 Velocidad del agua en sistemas de agua potable. 34

2.1.8.17 Presiones. 34

2.1.8.18 Presión interna en tuberías. 35

2.1.9 Sistemas de información geográfica (SIG) 35

2.1.9.1 ¿Qué es un SIG? 35

2.1.9.2 Pequeña reseña histórica de los SIG. 36

2.1.9.3 Definición de un SIG. 37

2.1.9.4 Algunas aplicaciones en los que se utilizan los SIG. 37

2.1.9.5 Fundamentos de la cartografía y SIG 38

2.1.9.5.1 La geodesia. 38

2.1.9.5.2 Elipsoide y geoide. 38

2.1.9.5.3 Sistemas de coordenadas 39

2.1.9.5.4 Escala. 39

2.1.9.5.5 Datos e información. 40

2.1.9.5.6 Información geográfica horizontal y vertical. 40

2.1.9.5.7 Modelos de información geográfica. 40

2.1.9.5.8 Algunas fuentes principales de datos para un SIG 41

2.1.9.5.9 Bases de datos de un SIG. 42

2.1.9.5.10 Los metadatos. 43

2.1.9.5.11 Capas en los SIG. 43

2.1.9.5.12 Mapas web. 43

2.1.9.5.13 Cuadros de mando e información de forma inalámbrica. 44

2.1.9.5.14 Las aplicaciones de SIG 44

2.1.9.5.15 QGIS. 45

2.1.10 Cálculos hidráulicos con EPANET 45

2.1.11 Medidor de caudal 46

2.1.11.1 Medidor de agua ultrasónico a granel B39 VW-M. 46

2.1.11.1.1 Antecedentes. 46

2.1.11.1.2 Características. 47

2.1.11.1.3 Aplicaciones. 47

2.1.11.1.4 Dimensiones. 48

2.1.11.1.5 Especificaciones técnicas. 49

2.1.12 Elaboración de Dashboards o paneles de control con el programa Power BI 49

2.1.12.1 ¿En qué consiste el programa Power BI? 49

2.1.12.2 Panel de control o dashboard de Power BI 50

2.1.12.3 Ventajas de los paneles de control o dashboards 50

2.2 Marco legal 51

2.2.1 Ley 8228: Ley del Benemérito cuerpo de bomberos de Costa Rica; Ley 8641: Ley declaratoria del servicio de hidrantes como servicio público 51

2.2.2 Ley 7593: Ley de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) 52

2.2.3 Decreto 42582: Reglamento de las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS) 52

2.2.4 Resolución RJD-101-2014: Reglamento técnico: prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado sanitario e hidrantes. 53

2.2.5 Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial. 53

Capítulo 3: Marco metodológico 55

3.1. Tipo de investigación 55

3.1.1 Naturaleza de la investigación: mixta 55

3.1.2 Carácter de la investigación: correlacional 57

3.2 Sujetos y fuentes de información 58

3.2.1 Sujetos de información 58

3.2.2 Fuentes de información: primarias o secundarias 58

3.3 Muestra y población 59

3.3.1 Tipo de muestra 60

3.3.2 Descripción de la muestra 60

3.3.3 Descripción estadística de la población en estudio 61

3.4 Instrumentos y técnicas de recolección de datos 61

3.4.1 Diseño de instrumentos 61

3.4.1.1 Herramientas del GIS 61

3.4.1.2 Programa de dibujo AutoCAD 62

3.4.1.3 EpaCAD 62

3.4.1.4 Simulaciones hidráulicas en EPANET 62

3.4.1.5 Hojas de Cálculo 62

3.4.1.5.1 Cálculo de la población futura 63

3.4.1.5.2 Cálculo de la demanda (caudal) 63

3.4.1.5.3 Cálculo de agua no contabilizada 64

3.4.1.5.4 Cálculo de posibles previstas producto del agua no contabilizada 65

3.4.1.5.5 Gráficos de las tabulaciones 65

3.4.1.6 Medidores de caudal 65

3.4.1.7 Cuadros de mando para determinar el agua no contabilizada 65

3.4.2 Procedimiento de intervención 66

3.4.2.1 Primera etapa: QGIS 66

3.4.2.2 Segunda etapa: modelación hidráulica y análisis hidráulico 67

3.4.2.3 Tercera etapa: medición y cálculos 67

3.4.2.4 Cuarta Etapa: elaboración del cuadro de mando 68

3.5 Estrategia de análisis de datos 69

3.5.1 Presentación y análisis de los datos 69

3.5.2 Cronograma 70

Capítulo 4: Descripción del acueducto de la ASADA Pital 71

4.1 Componentes del acueducto de Pital 71

4.1.1 Fuentes de agua 71

4.1.2 Red de conducción 72

4.1.3 Red de distribución 73

4.1.4 Tanques de almacenamiento 75

4.1.5 Válvulas e hidrantes 76

4.2 Particularidades de este sistema de abastecimiento 77

4.2.1 Adición del sistema 2 (San José y Cerro Cortés de Aguas Zarcas) 77

4.2.2 Unión de ramales de forma circundante 78

4.3 Macromedición y micromedición implementada en el acueducto 80

Capítulo 5: Análisis e interpretación de los resultados 83

5.1 Análisis de los resultados obtenidos 83

5.1.1 Mapeo en el programa QGIS y determinación de los puntos estratégicos 83

5.1.1.1 Mapeo de la red hidráulica y conversión de archivos para la simulación hidráulica 83

5.1.1.2 Dibujo de AutoCAD en formato .dxf del acueducto de Pital necesario para el EpaCAD 85

5.1.1.3 Generación de archivos para modelación hidráulica 86

5.1.2 Cálculos hidráulicos y simulación hidráulica del acueducto de Pital 87

5.1.2.1 Población de diseño de la ASADA de Pital 87

5.1.2.1 Consumo y dotación más elevados presentes en el ASADA de Pital 87

5.2.2.2 Simulaciones hidráulicas en el programa EPANET 90

5.2.2.2.1 Presiones del acueducto de Pital. 91

5.1.3 Resultado de la macromedición de la ASADA de Pital 93

5.1.4 Comparación entre la macromedición y la micromedición. 95

5.1.5 Porcentaje de agua no contabilizada de la ASADA Pital 96

5.1.6 Posible población que pudiese abastecerse con el agua no contabilizada 98

5.1.7 Cuadro de mando interactivo del agua no contabilizada en los puntos estratégicos 101

5.2 Aceptación o rechazo de la hipótesis 105

Capítulo 6: Limitaciones, conclusiones y recomendaciones 107

6.1 Limitaciones 107

6.2 Conclusiones 108

6.3 Recomendaciones 109

Referencias 111

Apéndices 116

Apéndice A: hojas de cálculo para los cálculos hidráulicos y de ANC 116

Apéndice B: Panel de control elaborado con el programa Power BI 118

Apéndice C: Mapeo en el programa QGIS 119

Apéndice D: Modelación hidráulica en el programa EPANET 122

Apéndice E: Dibujo y corrección en el programa AutoCAD 123

Índice de tablas

Tabla 1.1: Matriz de la investigación 12

Tabla 2.1: Índices de agua no contabilizada 16

Tabla 2.2: Servicios equivalente según tipo de actividad a desarrollar 28

Tabla 2.3: Valores mínimos de consumo y demanda 29

Tabla 2.4: Periodos de diseño en sistemas de agua potable 30

Tabla 2.5: Factores de demanda máxima 31

Tabla 3.1: Los sujetos de información 58

Tabla 3.2: Fuentes de información 59

Tabla 3.3: Cronograma de actividades, parte 1 70

Tabla 3.4: Cronograma de actividades, parte 2 70

Tabla 4.1: Distancias de tuberías respecto al diámetro 74

Tabla 4.2: Tanques de almacenamiento del acueducto de Pital 75

Tabla 5.1: Resumen del cálculo de la población de diseño 87

Tabla 5.2: Resultados de caudales de diseño 90

Tabla 5.3: Rango de presiones y cantidad de nodos de la simulación hidráulica 93

Índice de figuras

Figura 2.1: Ecuación de la energía de una tubería 19

Figura 2.2: Sistema de tuberías en paralelo 21

Figura 2.3: Varias tuberías en paralelo 21

Figura 2.4: Coeficiente de rugosidad (C) según material de tubería 23

Figura 2.5: Diseño de una conducción..... 25

Figura 2.6: Esquema típico de una red de tuberías 26

Figura 2.7 Dimensiones para medidor de caudal de la serie B39 VM-M..... 48

Figura 2.8 Especificaciones técnicas del medidor de caudal B39 VM-M 49

Figura 4.1: Ubicación de la naciente del acueducto de Pital 72

Figura 4.2: Detalle de la línea de conducción..... 73

Figura 4.3: Red de distribución del acueducto de Pital 74

Figura 4.4: Tanques de almacenamiento del acueducto de Pital 76

Figura 4.5: Válvulas e hidrantes del acueducto de Pital 77

Figura 4.6: Sistema 2 de San José y Cerro Cortés 78

Figura 4.7: Ejemplo de unificación de ramales en sector de Cuatro Esquinas 79

Figura 4.8: Macromedidores de 10 y 8 81

Figura 4.9: Macromedidor de 6 82

Figura 5.1: Esquema de elaboración del mapeo del acueducto de Pital 84

Figura 5.2: Esquema de conversión de QGIS a AutoCAD..... 85

Figura 5.3: Esquema para la obtención de la modelación hidráulica 86

Figura 5.4: Gráfico de micromedición de la ASADA de Pital 88

Figura 5.5: Gráfico de dotaciones del año 2024 de la ASADA de Pital..... 89

Figura 5.6: Simulación hidráulica, condición dinámica del acueducto de Pital 92

Figura 5.7: Macromedición de la ASADA de Pital 94

Figura 5.8: Diferencia entre macromedición y micromedición de la ASADA Pital 95

Figura 5.9: Porcentaje de agua no contabilizada obtenida en cada macromedidor 96

Figura 5.10: Posible población que podría ser abastecida con el agua no contabilizada.. 99

Figura 5.11: Cantidad total de posibles previstas si se contabilizara el total de la macromedición..... 100

Figura 5.12: Resultado final del panel de control elaborado para el acueducto de la ASADA de Pital de San Carlos, rango ideal. 101

Figura 5.13: Resultado final del panel de control elaborado para el acueducto de la ASADA de Pital de San Carlos, rango bajo. 102

Figura 5.14: Resultado final del panel de control elaborado para el acueducto de la ASADA de Pital de San Carlos, rango medio. 103

Resumen

La presente investigación se centra en la determinación del agua no contabilizada (ANC) en la Asociación Administradora del Sistema de Acueducto y Alcantarillado (ASADA) de Pital de San Carlos, Costa Rica. El ANC representa una de las problemáticas más relevantes en los acueductos rurales, ocasionada por fugas en tuberías, conexiones ilícitas, fallos en los sistemas de presión, rebalses de tanques y limitaciones en la micromedición. Reducir este fenómeno resulta prioritario ante la creciente presión sobre los recursos hídricos y la necesidad de una gestión sostenible del agua potable. El objetivo principal fue diseñar un sistema basado en tecnologías de información geográfica (SIG), modelación hidráulica y telemetría, capaz de calcular y monitorear el porcentaje de ANC de manera eficiente. Para ello, se emplearon QGIS para la modelación de la red de distribución, EPANET 2 para la simulación hidráulica y medidores de caudal inteligentes que registraron datos en tiempo real. Estos resultados fueron integrados en un tablero interactivo en Power BI, lo que permitió una visualización clara de caudales, dotaciones, macromedición, micromedición y volúmenes no contabilizados. Los hallazgos confirmaron la existencia de un porcentaje considerable de agua no contabilizada, así como la estimación del número de usuarios adicionales que podrían abastecerse con el recurso perdido. Se aceptó la hipótesis inicial al comprobar que la integración de SIG, modelación hidráulica y telemetría facilita un control más preciso y eficiente del recurso hídrico. En síntesis, este estudio aporta una herramienta tecnológica innovadora para la gestión de acueductos comunales, que favorece la eficiencia operativa, la sostenibilidad económica y la conservación del recurso hídrico, estableciendo una base replicable para otras ASADAS en Costa Rica.

Palabras clave: Agua no contabilizada (ANC), ASADA, Sistema de Información Geográfica (SIG), QGIS, EPANET, Medidores inteligentes, Power BI, Gestión hídrica.

Abstract

This research focuses on the determination of non-revenue water (NRW) in the Administradora del Sistema de Acueducto y Alcantarillado (ASADA) of Pital de San Carlos, Costa Rica. NRW represents one of the most relevant issues in rural aqueducts, caused by pipeline leaks, illegal connections, pressure system failures, tank overflows, and limitations in micro-metering. Reducing this phenomenon is a priority given the increasing pressure on water resources and the need for sustainable potable water management. The main objective was to design a system based on geographic information technologies (GIS), hydraulic modeling, and telemetry, capable of efficiently calculating and monitoring the percentage of NRW. QGIS was used to model the distribution network, EPANET 2 for hydraulic simulation, and smart flow meters that recorded real-time data. These results were integrated into an interactive dashboard in Power BI, which allowed a clear visualization of flows, allocations, macro-metering, micro-metering, and unaccounted volumes. The findings confirmed the existence of a considerable percentage of non-revenue water, as well as the estimation of the number of additional users who could be supplied with the lost resource. The initial hypothesis was accepted by demonstrating that the integration of GIS, hydraulic modeling, and telemetry facilitates more precise and efficient control of water resources. In summary, this study provides an innovative technological tool for the management of community aqueducts, promoting operational efficiency, economic sustainability, and water resource conservation, establishing a replicable basis for other ASADAS in Costa Rica.

Keywords: Non-Revenue Water (NRW), ASADA, Geographic Information System (GIS), QGIS, EPANET, Smart Meters , Power BI, Water Management.

Capítulo 1: Introducción

La determinación del agua no contabilizada en un acueducto es un aspecto que las ASADAS e instituciones encargadas de brindar el servicio de agua potable a nivel nacional, no han considerado de manera importante para medir la productividad de los acueductos. En la actualidad uno de los mayores problemas a nivel mundial es la escasez de agua potable.

Existen muchas maneras para poder determinar el agua no contabilizada en un acueducto, desde formas teóricas como la implementación de instrumentos hasta formas empíricas como la medición manual, sin embargo, son pocas las formas de conocer estos datos de forma remota o desde una computadora y además de forma precisa.

Con la utilización de un sistema de información geográfica (SIG) como lo es el software de QGIS, se puede georreferenciar la tubería de agua potable y con la implementación de medidores de caudal en puntos estratégicos, se puede obtener un registro actualizado en el momento, que se pueda llegar a determinar el agua no contabilizada en la red hidráulica de una ASADA como lo es la de Pital de San Carlos, la cual se tomará como fuente de estudio para esta tesis, tomando en cuenta un SIG y los medidores de caudales en la toma de decisiones, para determinar la manera más eficiente para obtener el agua no contabilizada.

1.1 Planteamiento del problema de investigación

1.1.1 Contexto

Pital es el distrito 06 del cantón 10 San Carlos, provincia de 02 Alajuela, ubicado al norte de Costa Rica. El acueducto de Pital fue creado en 1969, en ese tiempo era abastecido por las nacientes que actualmente utiliza la comunidad de Veracruz de Pital, las cuales están ubicadas al

sur de Pital. Fueron cambiados por Acueductos y Alcantarillados (AyA), ya que no tenía el caudal suficiente para abastecer el crecimiento poblacional de Pital, por ello se empezó a utilizar las nacientes que hasta el día de hoy abastecen a la población, ubicadas en Pitalito de Aguas Zarcas.

En el 2016 la ASADA de Pital asumió las comunidades de Cerro Cortés y San José de Aguas Zarcas debido al desabastecimiento que estas comunidades presentaban. Actualmente y según los datos que maneja la Asada de Pital, esta cuenta con 4158 abonados, de los cuales 3785 son domiciliarios y 373 son comerciales, para una población calculada de 15844 habitantes (suponiendo 3.81 habitantes por prevista) a los que la ASADA les brinda el servicio. La ASADA abastece de agua potable a Pital centro, dos caseríos de Cuatro Esquinas, Puerto Escondido y varias urbanizaciones que circundan el centro de Pital, además de las ya mencionadas comunidades de Cerro Cortés y San José de Aguas Zarcas.

El recurso humano que conforma la ASADA Pital es de 11 personas, las cuales 4 de ellas se encuentran en el área administrativa, conformada por el administrador, 2 cajeras y la miscelánea. La parte operativa está formada por 7 personas, 6 fontaneros y 1 operario de *back-joe* que también realiza trabajos de fontanería. Recientemente también se contrató los servicios de un ingeniero en riegos que pueda ocuparse de las labores ingenieriles de la ASADA.

1.1.2 Justificación

En los sistemas de tuberías de agua potable siempre existirán problemas en donde se disminuye la cantidad de agua potable que abastece a la población, respecto al agua que se produce desde las nacientes. En las ASADAS a nivel nacional, se puede mencionar que algunos de los mayores problemas que generan esta diferencia entre producción y consumo son las fugas de agua potable por sistemas obsoletos, conexiones ilícitas, nulo registro de agua perdida por reparaciones

o mantenimiento, y bajas presiones en los sistemas de agua potable, rebalse de tanques de almacenamiento, entre otros.

Este problema se le conoce como agua no contabilizada, el cual se le ha prestado más atención últimamente, dado la poca expectativa de recurso hídrico disponible de los últimos años, producto de factores como el cambio climático, la sobrepoblación, y las buenas prácticas en la gestión integral del recurso hídrico que instituciones como el AyA y ARESEP han impulsado a las ASADAS del territorio nacional.

La ASADA de Pital es una de estas instituciones que se esmera por disminuir el agua no contabilizada en su acueducto, con intenciones de aportar buenas prácticas en la gestión integral del recurso hídrico. El acueducto actual cuenta con deficiencias que le permitan a la ASADA de Pital brindar el servicio de agua potable de forma adecuada, sin embargo, dentro de las mejoras efectuadas consisten en sustitución de tramos de tuberías viejas, implementación de tecnología en la ASADA buscando eficiencia en la toma de datos del acueducto.

Un detalle importante es que la ASADA de Pital, no cuenta con un registro de agua no contabilizada, y aunque cuenten con mejoras implementadas, entre ellas, el uso de tecnologías de medición inteligente (medidores de caudal ultrasónicos), no ha sido capaz de obtener este parámetro de suma importancia frente a la buena voluntad presentada por la ASADA.

Es por ello que nace la iniciativa de esta tesis de investigar la posibilidad de integrar dichos medidores de caudal a un SIG y poder así determinar el agua no contabilizada producto de los problemas antes mencionados en la red de tuberías de agua potable, y tomando como objeto de estudio la ASADA de Pital, la cual podrá ser un punto de comparación más que adecuado respecto al resto de acueductos en general.

1.1.3 Problema de investigación

Las instituciones encargadas en brindar el servicio de agua potable en la mayoría del territorio nacional, son entidades acostumbradas a un rol operacional en la administración de sus acueductos que no suelen cambiar por técnicas o prácticas más modernas. En algunas ASADAS, sobre todo las que están ubicadas en zonas rurales, se cuenta con administraciones compuestas por personas con baja escolaridad y que no se imaginan o no confían en los beneficios por implementar tecnología en sus redes hidráulicas. Otro aspecto es la falta de recursos que estas instituciones presentan por parte del gobierno o la mala administración de sus ASADAS.

La determinación del agua no contabilizada por medio de un SIG en conjunto con medidores de caudal es un método poco conocido y que por el momento no se ha utilizado en Costa Rica, por lo que es evidente que esta investigación es novedosa, pero no significa que sea del todo posible de llegar a concretarse, dado que las instituciones tienen que valorar muchos aspectos para llegar a implementar un sistema de este tipo.

El mayor problema que se presenta es la incorporación de los medidores de caudal a un SIG, pues los medidores de caudal es un instrumento que se coloca en la tubería de agua potable de forma física, mientras que un SIG como lo es la aplicación QGIS se utiliza mediante un ordenador. Por lo anterior es que se llega a la siguiente pregunta de investigación.

¿Es posible integrar un sistema de detección de agua no contabilizada en un acueducto mediante la utilización de un SIG, cuadros de mando y medidores de caudal con lecturas de forma remota?

1.1.4 Estado del arte

La medición del agua no contabilizada en redes de tuberías no es un tema novedoso, al contrario, es un aspecto fundamental de considerar por toda empresa que necesite transportar fluidos (petróleo, gas, agua potable, aguas residuales, entre otros) a través de tuberías, y la detección del agua no contabilizada de forma oportuna y rápida, concepto vital para disminuir dichas pérdidas económicas.

Uno de los trabajos que evidencia lo anterior es el realizado por Calderón (2012), el cual realiza una combinación de técnicas para detección de fugas mediante el balance de línea y velocidad de onda, esto aplicado en redes de oleoductos, gasoductos y poliductos (p.IIV). Al final el sistema de detección de Calderón (2012) permitió detectar fugas entre 1% y el 100% del flujo de envió, y evidencia que en el caso del transporte de combustibles es importante la detección de fugas, esto por el elevado costo del combustible, la perdida de fluido de este tipo genera pérdidas millonarias a una empresa petrolera (p.85). Aunque este trabajo trate sobre combustibles se puede comparar con el transporte del agua potable y el desperdicio de agua que pueda tener una ASADA, a causa de agua no contabilizada.

Mencionando trabajos relacionados con este, se encuentra el de Herrera, León, López, Puello, y Ramírez (2022), quienes desarrollaron un software de acceso libre Arduino vinculado con otro software comercial *LabVIEW* para detectar fugas en la red de agua potable de Irapuato Estado de Guanajuato, México (p.1).

Herrera *et al* (2022), implementaron sensores en la red para realizar las pruebas del sistema de detección de fugas. Estos sensores se encargaban de las mediciones de caudal y otros aspectos, los cuales permitieron conocer la ubicación aproximada de las fugas de agua potable (p.15).

Evidentemente dichos sensores son el equivalente de los medidores de caudal con los que cuenta la ASADA para detección de agua no contabilizada.

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado (2020), creó un programa para reducir el porcentaje de agua no contabilizada en acueductos del Gran Área Metropolitana, además de lugares como Liberia, Limón, Guácimo, Pérez Zeledón, Puntarenas, Alajuela y San Ramón. Determinaron que el porcentaje de agua no contabilizada en estos acueductos se encuentra entre los 47% y 57%, por lo que tomar medidas como sustitución de tuberías, implementación de medición inteligente, detección de fugas y conexiones ilícitas son parte de este plan de reducción de agua no contabilizada (párr 4, 7, 8, 9 y 10). En esta ocasión se presentan medidas necesarias para disminuir el agua no contabilizada, asemejándose a este proyecto de investigación en la implementación de medición inteligente y con el propósito de determinar el agua no contabilizada.

Se dice que la implementación de un SIG para la gestión de los acueductos es el futuro para la eficiencia de las operaciones de las instituciones encargadas de brindar el servicio de agua potable y es algo que Carbonell y Martínez (2006) lo afirmaban desde hace 16 años atrás. Ellos realizaron una investigación en donde implementan un SIG alimentado con datos hidráulicos actualizados, en donde el mismo sistema ayudaba a gestionar de forma eficiente y adecuada la red hidráulica de agua potable.

Asimismo, resaltan que no solo los SIG funcionan en un acueducto como forma de ubicación de la red de tuberías de agua potable, sino también como base de datos de los cálculos hidráulicos. En el caso de este trabajo de investigación se intenta buscar que además de una fuente de datos también ayude, en este caso, a la ASADA de Pital a detectar el agua no contabilizada que se está generando.

Fragoso, Flores, Juárez, y Ruiz (2013), también realizan el mismo tipo de investigación, donde implementan un SIG a la red de agua potable de las localidades de Bellavista y Nueva España, en Tehuacán Puebla, México (párr.1). Fragoso *et al* (2013) consideraron que tal implementación del sistema de información geográfica llegaría a ayudar a dichas comunidades a poder contar una mejor gestión en la toma de decisiones referidas al servicio de agua potable por parte de las instituciones (párr.91).

Otro proyecto realizado para la detección de fugas fue el realizado por Herrera, Mamani, y Rodríguez (2019), donde también implementan sensores encargados de medir el caudal y las presiones del agua en las tuberías utilizando sistemas embebidos y tecnología Arduino para mostrar los resultados en una aplicación de escritorio (p.1041).

En el mismo trabajo se logró obtener variaciones en el caudal y la presión de las tuberías, y detectando dichas variaciones mediante la aplicación de escritorio, la cual fue capaz de emitir un aviso de la situación de fuga. A su vez el sistema de detección de fugas resultaba ser de un costo bajo por lo que le agregaba un aspecto atractivo para su futura implementación (Herrera, Mamani, y Rodríguez, 2019, p.1060).

Se tiene lo realizado por Coronel, Gómez, y Jaramillo (2020), los cuales confeccionaron un sistema de detección de fugas, basado en el método de balance de masa utilizando generador de residuos. Este sistema fue creado para la detección de fallas o fugas en oleoductos, sin embargo, es capaz de detectar una falla en tiempo real gracias a la implementación de sensores y un instrumento virtual (p.44).

Gonzales (2015) en su tesis, realiza un análisis sobre el acueducto del Gran Área Metropolitana, desarrollando una metodología para organizar los sistemas que lo componen en un

orden de prioridad, de acuerdo a las necesidades de mejoramiento hidráulico de cada sector, así como de sus necesidades de inversión (p.20).

Gonzales (2015) concluye que es de importancia contar con registros de un porcentaje de ANC para cada sistema, a pesar de no ser el objetivo principal de la misma, ya que sin datos como este y el de la dotación, se dificulta el procedimiento necesario para el balance hídrico o de masas para cada sistema, dificultando aún más el orden de dichos sistemas a través de la utilización de un índice de priorización, necesario para tomar decisiones ya sea a corto, mediano o largo plazo (p.172). Al final, las pérdidas de agua no contabilizada para el caso del acueducto Metropolitano resultaron con un ANC del 45%.

Por otra parte, Sánchez (2012) en su tesis, elabora un análisis hidráulico del acueducto del Gran Puntarenas, a través de la determinación de puntos específicos en la red de distribución con presiones inferiores a los 15 m.c.a. para poder determinar faltantes de agua en el sistema, y demás deficiencias de abastecimiento en la zona, con la ayuda del programa EPANET 2.0, con la participación de dos sistemas uno que produce su agua a través de una planta de tratamiento y un segundo sistema que se alimenta de 8 pozos, para de esta forma establecer las mejoras necesarias que le permitirán satisfacer al gran Puntarenas hasta el año 2035 según la proyección ejecutada (p.IX.).

Este concluye que, el sistema 1 (La Punta) está saturado poblacionalmente debido a que no cuenta con posibilidades de expandirse más debido a la limitación costera del terreno y la poca capacidad de los suelos para construcciones verticales, con lo cual considera la disminución del %ANC que es de un 50% aproximadamente siendo la mitad de la producción, mientras que para el sistema 2, este porcentaje alcanza un 38% siendo un dato mejorable si se toman las medidas adecuadas (p.93).

Castro (2021) realiza un análisis de abastecimiento para el acueducto de Las Juntas de Abangares mediante la elaboración de un modelo hidráulico de la red de distribución, la cual cuenta con un caudal suficiente para abastecer a su población, pero presenta deficiencias en la distribución del recurso hídrico, además de inconvenientes como la falta de estabilidad y continuidad del servicio, no se llega a los requerimientos mínimos de presión, velocidad y desinfección. Lo anterior sumado al constante crecimiento poblacional que va agravando el problema (p.1).

Este concluye que se cuenta actualmente con un 68% y va en crecimiento de acuerdo a datos que tienen desde el 2002 en donde era del 51%. Insisten mucho en establecer un sistema de reducción de agua no contabilizada proyectando el crecimiento poblacional hacia el 2040 y teniendo como meta un 30% de ANC. (p.138).

Algunos de estos trabajos mencionados denotan que es posible la detección de fugas, mediante la implementación de sensores, que en este caso consistirán en medidores de caudal, en conjunto con un software o SIG, utilizando el programa QGIS, y gracias a los avances tecnológicos y la conectividad presente en el país, es posible realizarlo de forma inalámbrica, para obtener el porcentaje de agua no contabilizada en la ASADA de Pital.

Además, cabe señalar que a pesar de que dichos trabajos tratan sobre la detección de fugas también se debe considerar la parte económica implícita en este tipo de proyectos, pues lo que tratan de resolver es el hecho de evitar el desperdicio y altos gastos en mantenimiento debido a la fuga constante de agua no contabilizada.

Queda retratado que a nivel latinoamericano y en España se utilizan métodos similares al que se plantea implementar en esta investigación, ya que trabajos como los de Calderón (2012),

Fragoso, Flores, Juárez, y Ruiz (2013) y Herrera, León, López, Puello, y Ramírez (2022) son de México, el trabajo de Herrera, Mamani, y Rodríguez (2019) de Argentina, el de Coronel, Gómez, y Jaramillo (2020) perteneciente a Colombia y el de Carbonell y Martínez (2006) a España.

Los trabajos que tienen una mayor similitud a este son los realizados por Castro (2021), González (2015) y Sánchez (2012), sin embargo, ninguno se plantea la misma metodología de estudio al vincular directamente los medidores de caudal inteligentes, con un SIG, el programa EPANET y un cuadro de mando, por consecuente, se puede mencionar que es un trabajo hasta cierto punto novedoso.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema basado en información geográfica que determine el agua no contabilizada en la ASADA de Pital de San Carlos mediante el uso de medidores de caudal de forma remota y un cuadro de mando interactivo.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Modelar la red de conducción y distribución del acueducto de Pital, a través del sistema de información geográfica QGIS.
2. Calcular los caudales alrededor de toda la red hidraulica con el programa EPANET 2 y las formulas hidraulicas relacionando el modelado de QGIS.
3. Relacionar los datos generados por los medidores de caudal de forma remota en conjunto con la micromedición para la obtención del agua no contabilizada en la ASADA de Pital.
4. Generar un cuadro de mando donde se visualice el porcentage de agua no contabilizada de forma interactiva y ordenada.

5. Determinar la cantidad de posibles usuarios que se podrian abastecer con base al agua no contabilizada resultante.

1.3 Las variables

1.3.1 Las variables

La variable independiente: Los medidores de caudal.

La variable dependiente: El porcentaje de agua no contabilizada en el acueducto de Pital

La variable interviniente: Pérdida de agua en el acueducto de Pital.

1.3.2 Matriz de la investigación

Tabla 1.1: Matriz de la investigación

Hipótesis	Conceptos	Variables	Indicadores
Es posible determinar el agua no contabilizada de la ASADA de Pital, gracias a la implementación de los medidores de caudal en conjunto del QGIS gracias a la facilidad tecnológica de poder conectar medidores de caudal electrónicos que alimenten al cuadro de mando.	Pérdidas: se refieren a las pérdidas de caudal y el agua no contabilizada.	Caudal, número de habitantes, ganancias del servicio de agua potable.	Medidores de caudal, medidores de los abonados.
	Dotación: cantidad de agua que se obtiene en un tiempo determinado para abastecer una población.	Caudal, número de habitantes.	Medidores de caudal, medidores de los abonados.
	SIG: sistema de información geográfica que ayuda a ubicar de forma geográfica objetos o puntos de interés.	Caudal.	Red hidráulica de la ASADA.
	Cuadro de mando: Herramienta utilizada para representar datos.	Caudal, Numero de ha Caudal, número de habitantes, ganancias del servicio de agua potable, agua no contabilizada .	Medidores de caudal, medidores de los abonados, facturación del servicio por parte de los abonados.

Fuente: Elaboración propia (2025).

1.4 Alcances

El principal alcance que se quiere con esta investigación es el de crear un sistema capaz de determinar el agua no contabilizada que pueda generar en un acueducto debido a múltiples problemas en la red de agua potable, por lo que se pretende que el sistema detecte el agua no contabilizada de forma adecuada.

Se aspira a que este trabajo sirva de brecha para que todas las instituciones encargadas de brindar el servicio de agua potable a la población de las distintas comunidades del país, implementen este tipo de tecnologías para magnificar la eficiencia de dichas instituciones tanto económicas, como operacionales.

1.5 Formulación de hipótesis de la investigación

Es posible determinar el agua no contabilizada de la ASADA de Pital, gracias a la implementación de los medidores de caudal inteligentes que permiten lecturas de forma remota, en conjunto del QGIS, el EPANET y un cuadro de mando que registre el porcentaje de agua no contabilizada y el desperdicio de agua que esto genera.

Capítulo 2: Marco Teórico

Puesto que este trabajo se basa en la obtención del agua no contabilizada en la ASADA de Pital, es necesario conceptualizar algunos términos necesarios para el entendimiento de los temas aquí tratados. El grueso de este marco teórico comprende teoría hidráulica necesaria para el cálculo de las pérdidas de caudal en la red de distribución de agua potable.

Otro tema importante de comprender son los SIG, pues se utilizará del programa QGIS para la gestión de la red hidráulica y el cual tomará un papel importante dada su versatilidad para integrarse en conjunto de los demás programas a utilizar en este trabajo de investigación. También se considera necesario entender sobre el programa a utilizar para los cálculos hidráulicos el cual será EPANET 2, así como del mismo QGIS encargado de la parte geoespacial y de gestión.

2.1 Estado del conocimiento

2.1.1 Micromedición

Según Abarca y Rodríguez (2017) la micromedición es “el volumen de agua consumida por los usuarios” (p.10), y que además es registrada por los medidores de caudal que se instalan en las conexiones de los hogares. Contribuye a medir el agua utilizada por los usuarios para el consumo humano, para que así el operador del servicio de agua potable pueda facturar en base a los datos obtenidos de los medidores en un periodo de tiempo determinado.

2.1.2 Macromedición

Abarca y Rodríguez (2017) esta “es un sistema de medición de grandes caudales en un punto específico. Tiene como objetivo medir un proceso de producción de agua en el acueducto”

(p.20). En otras palabras, es la medición del caudal destinado en un acueducto para el abastecimiento del agua potable a una población especifica.

2.1.3 Agua no contabilizada

Esta es "el agua que ingresa a un sistema de distribución pero que no es contabilizada (medida)" (Abarca y Rodríguez, 2017, p.32). Esto quiere decir que el agua no contabilizada comprende un problema de desabastecimiento de agua potable ya que no se está facturando el agua que está ingresando al sistema desde las nacientes de agua, pozos o captaciones y se está escapando de alguna forma de la red hidráulica.

2.1.3.1 Balance hídrico.

Como menciona Abarca y Rodríguez (2017) el balance hídrico "tiene como objetivo rastrear y contabilizar cada componente de agua que se añade y se deduce de un sistema de abastecimiento de agua dentro de un periodo definido" (p.34). Explicado de otra manera más simple, es la diferencia entre la macromedición y la micromedición.

2.1.3.2 Cálculo de agua no contabilizada.

Se utiliza la siguiente fórmula para calcular y determinar el porcentaje de agua no contabilizada.

$$Índice\ de\ agua\ no\ contabilizada\ (IANC) = \frac{Volumen\ de\ entrada\ al\ sistema - Volum\quad de\ agua\ contabilizada}{Volumen\ de\ entrada\ al\ sistema} * 100 \qquad Ecuación\ 2\text{-}1$$

Tabla 2.1: Índices de agua no contabilizada

Índice	Rango
Menos o igual a 33%	Ideal
34% - 41%	Bajo
42% - 46%	Medio
47% - 52%	Alto
Mayor al 52%	Muy Alto

Fuente: Abarca y Rodríguez (2017, p.37).

2.1.4 Pérdidas

Estas pérdidas se refieren al agua no registrada por el acueducto mediante los sistemas de medición, como por ejemplo los medidores de los módulos habitacionales o macro medidores. Existen dos tipos las cuales son las pérdidas no físicas o comerciales que comprenden las no registradas, pero si es agua consumida o aprovechada de alguna forma, y las perdidas físicas representan las perdidas ocurridas por fallas (fugas en la red hidráulica) o desperdicio del agua por parte de la población (Corcho y Duque, 2005, p.5).

2.1.5 Conceptos de Hidráulica

2.1.5.1 Presión de un fluido.

"Es la fuerza por unidad de área ejercida por un fluido sobre" la tubería (Granados, 2002, p.1). Esta fuerza puede ser ejercida sobre la tubería por varias razones, como el mismo peso específico del agua o inclusive por instrumentos como bombas. Se puede calcular con la fórmula:

$$P = \frac{F}{A} \quad \textit{Ecuación 2-2}$$

P= Presión.

F= Fuerza.

A= Área.

2.1.5.2 Peso específico del agua.

"Es el peso por unidad de volumen de un fluido (Granados, 2002, p.1), y para el agua se tiene el valor de peso específico de $\gamma = 1000\,{}^{kg}/_{m^3}$.

2.1.5.3 Altura o cabeza de presión.

Se conoce la altura o pie de cabeza al nivel al que se eleva el agua producto de la presión del mismo peso del agua, por lo que la división entre el peso específico y la presión del fluido dan como resultado la columna o altura del agua (Granados, 2002, p.2). En un sistema de acueducto en Costa Rica, generalmente se emplea la gravedad o pendiente para transportar el agua por lo que en su mayoría existirá una presión por el mismo peso del agua.

2.1.5.4 Presión Atmosférica, Absoluta y Relativa.

La presión atmosférica es la que está presente en el medio ambiente, producto del peso de la misma atmosfera del planeta Tierra. Cuando se toma la presión atmosférica como referencia para medir la presión de un punto, a esta presión se le conoce como presión relativa, y cuando se suman ambas presiones, el producto se denomina presión absoluta (Granados, 2002, p.3).

2.1.6 Diseño de tuberías

Para este apartado se aplican los conceptos de hidráulica vistos anteriormente para el diseño de tuberías. No solamente se diseña un diámetro de una tubería, sino también las cargas admisibles

y perdidas por los accesorios, siempre y cuando se tomen en cuenta algunos criterios del diseño que se analizarán más adelante.

2.1.6.1 Concepto de pérdida de carga.

Según lo explicado, si se analizan dos secciones de una tubería y se aplica la ecuación de la energía entre ambas, hay una parte de la energía que no se transforma en presión, velocidad o elevación, en otras palabras, se pierde. Esta se denomina pérdida de energía o pérdida de carga, producto del consumo de energía a través de la fricción con las paredes de la tubería, y se denomina como h_f (Rocha, 2007, p.136).

2.1.6.2 Energía que posee un fluido.

Los fluidos poseen tres tipos de energía los cuales son la energía potencial, la energía cinética y la energía de presión, la energía resultante es la suma de estas tres energías (Granados, 2002, p.5). La energía potencial es la que sucede por el propio peso del agua respecto a una altura de referencia, la energía cinética sucede por el peso del agua a la velocidad que se desplaza y la de presión al estar el fluido en una tubería. La fórmula de la energía es la siguiente:

$$E.total = \frac{P}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g} \qquad \textit{Ecuación 2-5}$$

En donde:

P= Presión del fluido.

γ= Peso específico del agua.

Z= Altura del nivel de referencia.

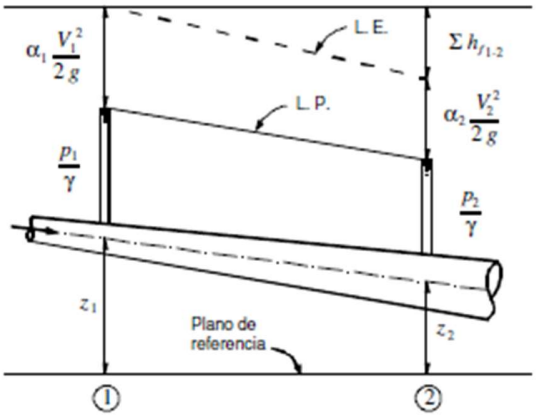
V= Velocidad del fluido.

g= Gravedad.

También se puede aplicar el concepto de la ley de la conservación de la energía en dos secciones de la tubería.

$$\sum h_{f_{1-2}} = \frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V^2}{2g} \qquad \textit{Ecuación 2-6}$$

Figura 2.1: Ecuación de la energía de una tubería



Fuente: Rocha (2007, p.135).

2.1.6.3 Línea piezométrica.

Rocha (2007) menciona que "A la línea que resulta de unir las elevaciones a las que sube el fluido en una serie de piezómetros instalados a lo largo de la tubería se le denomina línea piezométrica o línea de gradiente hidráulica (L. P.)". (p.136). Según indica Rocha (2007), la línea de energía que es diferente a lo indicado sobre la línea piezométrica, corresponde a la formada por los valores de energía de velocidad designados en cada sección sobre la cota piezométrica. De esta forma en lo que respecta al movimiento uniforme, la línea de energía y la piezométrica serán paralelas. Algunos datos importantes por destacar sobre estas líneas de energía y gradiente hidráulico son:

- Salvo que se coloque una bomba, la línea de energía siempre desciende en dirección del escurrimiento, mientras que la de gradiente hidráulico no siempre toma esa dirección.
- Ambas coinciden en la superficie libre para un líquido en reposo (Rocha, 2007, pp.136-137).

Las pérdidas de carga existentes pueden ser continuas o locales, en donde la primera tiene como causa la fricción y es calculada a través de la fórmula de Darcy (Rocha, 2007, p.137):

$$h_f = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} \qquad \textit{Ecuación 2-7}$$

Mientras que las perdidas locales, se dan debido a las características de cada singularidad, por ejemplo, perdidas por accesorios como válvula, codo, entre otros (Rocha, 2007, p.137).

2.1.7 Diseño de conducciones y redes

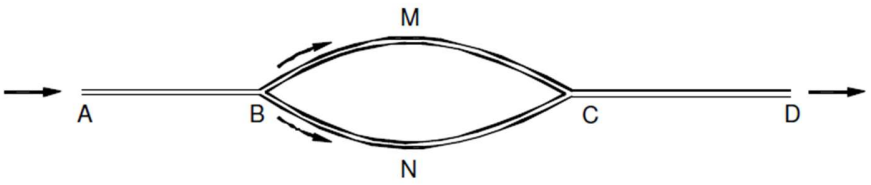
Para este caso de diseño de redes, es la continuación del diseño de tuberías, sin embargo, se debe de conocer que en los acueductos existen ramificaciones en los sistemas de agua potable, también conocidos como redes de tuberías, en donde se deben determinar las pérdidas y caudales que absorbe cada ramificación del total del abastecimiento.

2.1.7.1 Tuberías en paralelo.

Tomando en cuenta la **Figura 2.2** , Rocha (2007) describe el sistema como una ramificación de la tubería, en la que para este caso se bifurca, formando los ramales BMC y BNC, que son los que están en paralelo, uniéndose en el punto C para continuar con el flujo a lo largo de la tubería (p.193). Rocha (2007) indica que, ambos ramales, inician en B, con la misma energía, al igual que en el punto C, ambas tienen la misma energía, permitiéndose cumplir el principio:

"La energía disponible determina, de acuerdo a la naturaleza del contorno y del fluido, las características del escurrimiento. La energía disponible se transforma en energía de velocidad, de presión y elevación" (Rocha, 2007, pp.193-194). Como en todo sistema de tuberías, generalmente existe alguna pérdida de carga. De acuerdo con Rocha (2007), "En un conducto horizontal muy largo con velocidad relativamente pequeña se puede considerar que la energía disponible da lugar íntegramente a la pérdida de carga continua" (p.194). "Como las tuberías en paralelo se caracterizan por tener la misma energía disponible se producirá en cada una de ellas la misma pérdida de carga" (Rocha, 2007, p.194). Varias tuberías en paralelo se pueden representar como en la **Figura 2.3.**

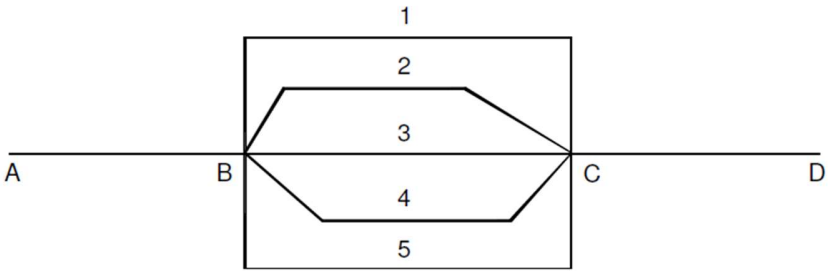
Figura 2.2: Sistema de tuberías en paralelo



Fuente: Rocha (2007, p.193).

Energía disponible para BMC = Energía disponible para BNC (p.193).

Figura 2.3: Varias tuberías en paralelo



Fuente: Rocha (2007, p.194)

De acuerdo a la figura anterior, según Rocha (2007), debería cumplirse que (p.194):

$$h_{f\,1} = h_{f\,2} = h_{f\,3} = h_{f\,4} = h_{f\,5} = h_{f\,BC} \quad \textit{Ecuación 2-9}$$

En donde:

h_f: Pérdida de carga en cada uno de los tramos

Para el cálculo de perdida en cada ramal se utiliza la siguiente formula.

$$h_f = 0.0827 \frac{f\,L}{D^5} Q^2$$

2.1.7.2 Fórmula de Hazen y Williams.

De acuerdo con lo que indica Rocha (2007) la fórmula de Hazen y Williams, "Se usa ampliamente en los cálculos de tuberías para abastecimiento de agua. Su uso está limitado al agua en flujo turbulento, para tuberías de diámetro mayor de 2'' y velocidades que no excedan de 3 m/s" (p.218). Usualmente su ecuación es la siguiente.

$$Q = 0{,}000426\, C_H D^{2{,}63} S^{0{,}54} \quad \textit{Ecuación 2-10}$$

En donde:

Q: Gasto en litros por segundo

C_H: Coeficiente de Hazen y Williams

D: Diámetro en pulgadas

S: Pendiente de la línea de energía en metros por km (Rocha,2007, p.218).

Para el coeficiente de rugosidad (coeficiente de Hazen Williams C_H) se tienen los siguientes valores según el material de la tubería utilizada.

Figura 2.4: Coeficiente de rugosidad (C) según material de tubería

Tabla 2: Coeficientes máximos (Hazen y Williams)

Material	Valor máximo de C (Adimensional)
Polietileno de Alta Densidad (PEAD)	130
Cloruro de Polivinilo (PVC)	130
Concreto	120 - 140
Hierro galvanizado	120
Hierro dúctil	120
Hierro fundido [a]	130
Hierro fundido (10 años de edad)	107 - 113
Hierro fundido (20 años de edad)	89 - 100
Hierro fundido (30 años de edad)	75 - 90
Hierro fundido (40 años de edad)	64 - 83
Acero	130
Acero [a]	140 - 150
Acero rolado	110
Cobre	130 - 140

(a) Se refiere al material utilizado en productos fabricados durante los últimos 10 años.

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado (2017, p. 20).

Para el cálculo de la pérdida de carga en una tubería en particular se tiene la siguiente fórmula.

$$h_f = KQ^{1.85} \quad \textit{Ecuación 2-11}$$

2.1.7.3 Diseño de una conducción.

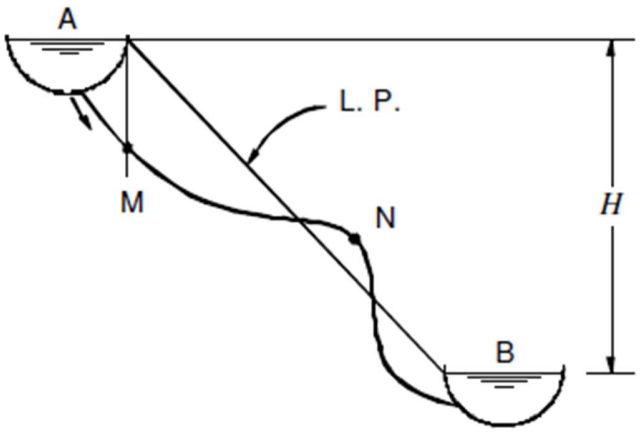
Según Rocha (2007) “Esencialmente el problema de un diseño de tuberías consiste en encontrar el diámetro más adecuado para transportar un gasto dado” (p.223). Para seleccionar el diámetro más indicado, se deben estudiar los siguientes aspectos:

- Velocidades.
- Presiones.
- Costo.

“Las velocidades excesivas deben evitarse. No sólo pueden destruir la tubería por erosión, sino también hay la posibilidad del golpe de ariete” (Rocha, 2007, p.223). Las presiones pueden ser negativas o positivas. Las negativas deben evitarse debido a que generan discontinuidad en el escurrimiento y producen cavitación. (Rocha, 2007, p.223).

En cuanto a las presiones positivas, no se puede aceptar cualquiera, sino que, hay que fijarse en el material de la tubería y su descripción técnica para saber su máxima presión admisible (Rocha, 2007, p.223). Las dos primeras condiciones antes mencionadas pueden satisfacerse con más de un diámetro, sin embargo, debe escogerse el más económico, de acuerdo a los diámetros comerciales disponibles (Rocha, 2007, p.223). Obsérvese la **Figura 2.5** en donde se muestran los principales elementos a tomar en cuenta en el diseño de una conducción

Figura 2.5: Diseño de una conducción



Fuente: Rocha (2007, p.223).

2.1.7.4 Diámetro más económico.

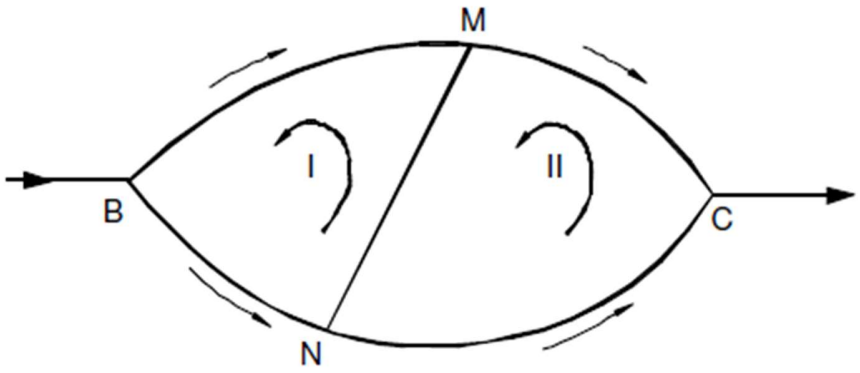
Desde el punto de vista hidráulico, de todos los diámetros posibles, hay uno que es el diámetro más económico. Al diseñar una conducción, no hay una única solución, sino que, tanto un diámetro como otros, pueden satisfacer las condiciones hidráulicas (Rocha, 2007, p.228). La suma de los costos de instalación, operación y servicios del sistema, debe resultar mínima (Rocha, 2007, p.228).

2.1.7.5 Redes de tuberías.

De acuerdo con Rocha (2007), “Una red es un sistema cerrado de tuberías. Hay varios nudos en los que concurren las tuberías. La solución de una red es laboriosa y requiere un método de tanteos y aproximaciones” (p,229). En la **Figura 2.6** se muestra el caso típico de una red de dos circuitos, la cual cuenta con una tubería MN, en la que se da indeterminación, debido a que no se conoce la dirección del escurrimiento.

Para cada circuito se escoge: un sentido como positivo, una distribución de gastos y se asigna a cada caudal un signo en función de los circuitos establecidos. Una vez con estos datos, se determinan las pérdidas de carga en cada tramo, que pueden ser positivas o negativas (Rocha, 2007, pp.229-230):

Figura 2.6: Esquema típico de una red de tuberías



Fuente: Rocha (2007, p.230).

Según indica Rocha (2007), para satisfacer una red se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Al sumar algebraicamente las pérdidas de carga en cada circuito, debe dar como resultado cero.
- La ecuación de la continuidad debe ser verificada en cada nudo.
- Para cada ramal debe emplearse la ecuación de la forma:

$$h_f = KQ^x \quad \textit{Ecuación 2-12}$$

En donde los valores para K y x dependerán de la ecuación que se utilice

2.1.8 Criterios de diseño

Estos son aspectos que se deben de considerar a la hora de realizar el diseño, puesto que los sistemas de agua potable se diseñan para una población determinada, es necesario visualizar algunos datos que a futuro podrían afectar a la red de tuberías o simplemente que ayudan al correcto abastecimiento de agua o aportan un beneficio directo para dicha población.

2.1.8.1 Población de diseño.

Algunos proyectos civiles necesitan de una población de diseño para la cual se va a destinar el mismo. Corcho y Duque (2005) mencionan que el periodo de diseño de un sistema de acueducto depende también del tamaño de la población y que es fundamentalmente importante la determinación del cálculo de una población final (p.14).

Es por eso que "la población mínima de diseño se debe calcular a partir del número de unidades habitacionales que contempla el proyecto multiplicado por el factor de hacinamiento", (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017, p.12). También estratégicamente se puede utilizar la cantidad de previstas domiciliares de un acueducto cuando no se conoce la cantidad de unidades domiciliares. Sin embargo, existe también la población de diseño de unidades no habitacionales, y se utiliza la **Tabla 2.2** para el cálculo de este tipo de población.

Tabla 2.2: Servicios equivalente según tipo de actividad a desarrollar

Tipo de actividad del nuevo desarrollo	Unidades de cálculo (UC)	Unidades de consumo equivalente (UCE) o servicio equivalente (SE)*
Hoteles, Moteles	Habitación	Un servicio equivalente por cada 3 unidades de cálculo
Escuelas, colegios o centros de educación y capacitación	Estudiante	Un servicio equivalente por cada 25 unidades de cálculo
Bodegas, industrias o centros de acopio, almacenamiento y distribución	Metro cuadrado de área de parcela o predio (incluyendo parqueos y áreas verdes, excluyendo áreas de protección de ríos y quebradas)	Un servicio equivalente por cada 500 unidad de cálculo
Restaurantes, sodas, bares y similares	Metro cuadrado de área de parcela o predio (incluyendo parqueos y áreas verdes, excluyendo áreas de protección de ríos y quebradas)	Un servicio equivalente por cada 100 unidad de cálculo
Locales comerciales, centros comerciales, oficinas administrativas y bancarias (industrial o general)	Metro cuadrado de área de parcela o predio (incluyendo parqueos y áreas verdes, excluyendo áreas de protección de ríos y quebradas)	Un servicio equivalente por cada 200 unidad de cálculo
Parcelamiento agrícola con frente a calle pública	Metro cuadrado del área de parcela	Un servicio equivalente por cada 500 unidad de cálculo
Parcelamiento agrícola con frente a servidumbre	Metro cuadrado del área de parcela	Un servicio equivalente por cada 5000 unidad de cálculo
Centros de recreación, turísticos o club campestre	Metro cuadrado de área de parcela o predio (incluyendo parqueos y áreas verdes, excluyendo áreas de protección de ríos y quebradas)	Un servicio equivalente por cada 200 unidad de cálculo

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado (2017, pp.12-13).

2.1.8.2 Consumo de tipo doméstico, comercial y público.

Es de conocimiento general que el ser humano necesita del agua para vivir, por ende, durante un día, el mismo utiliza el agua potable para satisfacer sus necesidades, además para realizar diferentes actividades. El consumo doméstico es aquel que se produce en las unidades habitacionales, es evidente que una persona utiliza el agua para realizar las tareas domésticas. "Este consumo varía con el clima, la cultura de la población, las costumbres y, sobre todo, con las disponibilidad y controles que se ejerzan en ella" (Corcho y Duque, 2005, p.2). El consumo comercial, por otro lado, es el que se da por las actividades comerciales o industrial de la población. No se debe de confundir el consumo comercial con el público, puesto que el público se efectúa cuando se realizan labores que beneficia a la población en general, por ejemplo, el riego de zonas verdes de los parques públicos, lavado de carretera o aceras, entre otras.

2 .1.8.3 Dotaciones.

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017), estipula las dotaciones brutas de dos maneras. La primera forma de obtener la dotación es por medio de "datos de los patrones de consumo y demanda de la localidad en estudio, según datos reales aportados por el operador del sistema de abastecimiento" (p.15). Si no se cuenta con estos datos se utilizan los datos mínimos de consumo en litro por persona por día (l/p/d) de la **Tabla 2.3**.

Tabla 2.3: Valores mínimos de consumo y demanda

Tipo de población o zona geográfica	Consumo y demanda (l//p/d)
Poblaciones rurales	200
Poblaciones urbanas	250
Poblaciones costeras	300

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado (2017, p. 15).

2.1.8.4 Periodos de diseño y vida útil de estructuras.

Según lo mencionado por Corcho y Duque (2005), es necesario determinar un periodo de diseño a todo acueducto, pues aspectos como las condiciones climatológicas, vida útil de las estructuras y complementos del mismo, ampliación del sistema, crecimiento de la población, entre otros, proporcionan una incertidumbre en una mayor longevidad de la red hidráulica (pp.10-11). Por ello el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017) estipula una vida útil para los distintos elementos del sistema.

Tabla 2.4: Periodos de diseño en sistemas de agua potable

Tipo de estructura	Periodo de diseño
Obras de captación y tomas	De 25 a 50 años
Tubería de aducción	De 25 a 50 años
Planta potabilizadora	De 15 a 25 años
Tanque de almacenamiento	De 25 años
Tubería de conducción	De 25 años
Tubería de distribución	De 20 años
Estaciones de bombeo	De 20 años
Bombas y motores	De 10 a 15 años
Equipos de desinfección	De 5 años

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado (2017, pp.13-15).

2.1.8.5 Factores de demanda máxima.

Este factor de demanda máxima es un factor de seguridad que supone una demanda excesiva de agua potable por parte de la población de diseño, en otras palabras, es una sobredemanda que pueda suceder hipotéticamente. El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017) establece los siguientes factores de demanda máxima, presentados en la **Tabla 2.5**.

Tabla 2.5: Factores de demanda máxima

Factor máximo diario (FMD)	1.2
Factor máximo horario (FMH)	1.8

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado (2017, p.15).

En donde:

$$QMD = QPD \times FMD \quad \textit{Ecuación 2-13}$$

QMD: Caudal máximo diario.

QPD: Caudal promedio diario.

FMD: Factor máximo diario.

2.1.8.6 Caudal de incendio.

Corcho y Duque (2005) mencionan que "un sistema de abastecimiento de agua representa un valioso medio para combatir un incendio" (p.6), pues la red de abastecimiento recorre la mayoría de viviendas, facilitando el suministro de agua para que los bomberos puedan atender las emergencias producidas por el fuego. El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017) menciona que la Ley N° 8641 es la encargada de establecer el caudal de incendio, así como el tipo y ubicación de los hidrantes en la red. (p.16).

2.1.8.7 Caudal coincidente.

Es la suma del Caudal máximo horario y el Caudal de incendio, en otras palabras, el caudal coincidente es el caudal definitivo a utilizar en el sistema de abastecimiento de agua potable.

2.1.8.8 Conductos a presión.

Corcho y Duque (2005) mencionan que “los conductos a presión son los más frecuentes y existen multiplicidad para el cálculo de tuberías” (p.213), pues a lo largo del tiempo se han suscitado múltiples autores que han intentado entender la hidráulica en las tuberías. El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017), estipula que la fórmula para calcular el dimensionamiento de las tuberías es la de Hazen-Williams (p.19).

2.1.8.9 Carga estática disponible.

Según Corcho y Duque (2005), es la diferencia de elevaciones entre el “nivel de aguas en el desarenador y el nivel en el tanque de almacenamiento o en la llegada a la planta de tratamiento” (p. 245), o también puede ser la diferencia de elevaciones desde la captación de agua potable hasta un tanque de almacenamiento.

2.1.8.10 Colocación de hidrantes.

Según el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017), todo hidrante debe de estar a una distancia mínima de 90 metros de cualquier punto de desarrollo que contenga algún modulo habitacional, sin incluir zonas verdes o de recreación (p.16).

2.1.8.11 Carga hidráulica.

Lo que estipula el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017), para proyectos urbanísticos que cuenten con su propio tanque de almacenamiento se definirá la carga hidráulica al nivel del agua del tanque (msnm), mientras que, al contrario, proyectos que no cuenten con taque de almacenamiento, se considera la carga hidráulica al nivel del terreno (msnm) (p.16).

2.1.8.12 Condición para caudal máximo horario.

Este se debe de diseñar de tal manera de que se distribuya por todos los nodos de la red y en cada uno de ellos la presión de servicio o presión nodal sea mayor o igual a 15 mca (metros columna de agua) (15 kg/cm²) (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017, p.17).

2.1.8.13 Condición para atención de incendios.

El caudal de incendio se distribuirá entre todos los hidrantes contiguos más alejados o críticos de la red y debe de cumplirse la misma condición de caudal máximo horario (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017, p.17).

2.1.8.14 Tanques de almacenamiento.

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017) indica que para los tanques de almacenamiento se debe de contar con la capacidad de subsanar las siguientes demandas: “a) compensar las fluctuaciones horarias de la demanda, b) combatir incendios cuando el diseño propuesto así lo contemple y c) reserva por interrupciones” (p.17). El volumen total de almacenamiento que debe de contener los tanques, será la suma de los volúmenes de las demandas anteriores (volumen de regulación de consumo, volumen de reserva para incendio y volumen de reserva para interrupciones).

2.1.8.14.1 Volumen de regulación del consumo.

Este volumen se debe de considerar para cada caso en particular y según las curvas de consumo reales para abastecer de las fluctuaciones horarias del consumo, si no se cuenta con dicha información se debe de considerar un 14% del volumen promedio diario si el caudal promedio es constante, (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017, p.18).

2.1.8.14.2 Volumen de reserva para incendios.

Como se menciona en el caudal de incendio, es necesario también contar con el volumen necesario en os tanques de almacenamiento para la atención de emergencias ocasionadas por el fuego en la localidad o ciudad por la que recorre la red de agua potable.

2.1.8.14.3 Volumen de reserva para interrupciones.

Es el volumen producto del caudal promedio diario por un periodo de 4 horas. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017, p.18).

2.1.8.15 Tomas, captación y líneas de aducción.

Para los sistemas por gravedad el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017) indica que se deben de diseñar de acuerdo al caudal máximo horario adicionándole el caudal necesario para lavado de filtros si el diseño así lo requiera (p.18)

2.1.8.16 Velocidad del agua en sistemas de agua potable.

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017), indica que la velocidad máxima para redes de distribución es de 3 m/s (metros sobre segundos), para líneas de conducción y aducción la máxima es de 5 m/s y la mínima es de 0,6 m/s (p. 19).

2.1.8.17 Presiones.

Para las presiones el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017) menciona que la presión estática no puede ser mayor a “50 mca en el punto más bajo de la red” y 70 mca si la topografía del lugar es muy quebrada, y para la presión dinámica debe ser mayor o igual de 15 mca en el punto de interconexión con la red de distribución (p.19).

2.1.8.18 Presión interna en tuberías.

Toda tubería debe de ser capaz de resistir la presión estática interna, así como sobrepresiones por golpe de ariete, y como menciona el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017), toda tubería colocada en Costa Rica, para redes de agua potable, debería de resistir una presión de 100 mca (presión nominal de trabajo) como mínimo, excepto en los casos de que los cálculos de líneas de conducción y aducción o acueductos rurales lo permitan, se acepta un mínimo de presión nominal de trabajo de 80 mca (p.21).

2.1.9 Sistemas de información geográfica (SIG)

Los SIG o GIS, por sus siglas en inglés (Geographic Information System), son softwares o sistemas muy utilizados en cartografía dada su versatilidad para poder implementar o agregar datos ligados a la parte gráfica o cartográfica. Dada esta versatilidad de plasmar datos de todo tipo es que se implementa un SIG como herramienta en esta investigación, pero es necesario conceptualizar sobre los sistemas de información geográfica para comprender el propósito de este trabajo.

2.1.9.1 ¿Qué es un SIG?

Existen muchos SIG en el mercado, además, se encuentran muchos autores que puedan definir sobre estos. Olaya (2020) menciona que “la mayor parte de la de la [sic] información que se maneja en cualquier tipo de disciplina está georreferenciada” (p.3), en otras palabras, la mayoría de datos que nos rodea, tiene una ubicación en el espacio por lo que se le puede relacionar con una posición de forma geográfica. ESRI (s.f.), recalca que un SIG:

> Es un sistema que crea, administra, analiza y representa cartográficamente todo tipo de datos. Un SIG conecta datos a un mapa integrando datos de ubicación (dónde están las cosas) con todo tipo de información descriptiva (cómo son las cosas ahí). (párr.2).

2.1.9.2 Pequeña reseña histórica de los SIG.

Estos sistemas no son tan recientes como lo señalan Dassau, Sutton y Sutton (2009), pues se crearon alrededor de los años setenta, al principio muy restringido por lo que prácticamente solo empresas y universidades eran las únicas en contar con estos sistemas, dado el elevado costo de un sistema de cómputo y por otro lado por el duro entrenamiento para poder llegar a entender y utilizar un SIG. (párr.12).

Según lo que comenta Olaya (2020) los origines de los sistemas de información geográfica se remontan a principios de los años sesenta con la creación del CGIS (Canadian Geographical Information Systems), en Canadá, y es considerado el nacimiento oficial de los SIG (pp.19-20). Fue luego a finales de los años 60 cuando se empiezan a desarrollar, especialmente en la universidad de Harvard, distintos SIG siendo el más relevante el SYMAP, ya que ayuda en la invención de otros sistemas de información geográfica, dando paso a que en los años setenta de investiguen y desarrollen aún más los SIG (Olaya, 2020, p.20).

Con los avances tecnológicos, especialmente con el auge del internet y una mayor accesibilidad para las computadoras, es que se volvieron más afamados y utilizados los SIG. A lo largo de los años los SIG han logrado evolucionar al mismo tiempo que se dan los avances informáticos y con la aparición de nuevos datos susceptibles (Olaya, 2020, p.28) y seguirán presentes para beneficio de la población. Citando a Olaya (2020) “una tarea básica en esos tiempos era la digitalización de cartografía, es decir, convertir los datos geográficos en formato impreso en datos en formato digital que un SIG pudiera manejar” (p.93), refiriéndose a los inicios de los SIG,

y que actualmente gracias a la digitalización cartográfica es que potencian el desarrollo y conocimiento de los sistemas de información geográfica.

2.1.9.3 Definición de un SIG.

"Ahora también existe una visión ampliada de cómo trabaja el mundo con tu información geográfica" (Harder, 2015, p.3) por lo que actualmente no solo son una herramienta cartográfica, sino que se presta para muchos estudios en la sociedad, demostrando que los SIG han evolucionado para ayudar aún más a la población general y no solo a un sector de la misma.

Aterrizando en el concepto de lo que es un sistema de información geográfica, se puede decir que un SIG es una combinación de la cartografía básica y compleja con la tecnología progresiva, todo esto relacionado con la información que se pueda obtener de un lugar en específico y de la cual se pueden utilizar dichos datos para realizar varias actividades que faciliten el mejoramiento de la población en general.

2.1.9.4 Algunas aplicaciones en los que se utilizan los SIG.

Como se ha mencionado anteriormente, los sistemas de información geográficos tienen mucha versatilidad, por ello suelen utilizarse en muchos campos a nivel profesional y particular, por ello algunos el ESRI (s.f.) enumera algunos de los usos más comunes a los que se les puede dar a un SIG (párr.3-10).

- Identificar problemas: como por ejemplo sería la deforestación en una zona protegida.
- Supervisar el cambio: el paso del tiempo puede llevar inclusive a un incremento poblacional.
- Administrar y responder eventos: como cualquier desastre natural, llámese un incendio forestal como ejemplo.

- Realizar previsiones: el crecimiento poblacional y la expansión territorial es un ejemplo muy acertado.
- Establecer prioridades: puede ser el caso de aplicaciones de químicos en un cultivo.
- Comprender las tendencias: como el hacinamiento en ciertos sectores de una población.

2.1.9.5 Fundamentos de la cartografía y SIG.

Como la cartografía forma parte fundamental de los sistemas de información geográfica se tocarán algunos conceptos básicos de la cartografía presentes en los SIG de la actualidad.

2.1.9.5.1 La geodesia.

En términos generales Olaya (2020) indica que la geodesia se encarga de estudio de la forma de la tierra y que este estudio se inició puesto que el ser humano descubrió que la tierra no era plana (p.29). Gracias al estudio de la forma de la tierra (elipsoidal) es que se crearon las coordenadas geográficas para referenciar todo en el planeta tierra.

2.1.9.5.2 Elipsoide y geoide.

Ya se conoce que la forma del planeta tierra es la de una elipse, por lo que es erróneo asumir de que la tierra no es una esfera perfecta. Olaya (2020) dice que si se asumiera la superficie de la tierra de forma teórica sería la de un elipsoide, siendo la forma que más se asemeja a la de la tierra (p.30). Olaya (2020) también indica que existe otra superficie de referencia llamado geoide el cual consiste en una "superficie tridimensional en cuyos puntos la atracción gravitatoria es constante" (p.33), en otras palabras, el geoide es una referencia de la forma de la tierra respecto al resultado de las fuerzas gravitacionales de la misma. A la combinación del elipsoide y con el geoide se le denomina Datum geodésico.

2.1.9.5.3 Sistemas de coordenadas.

Una vez se cuenta con la definición en la forma de la tierra se pueden obtener las coordenadas geográficas, sin embargo, dado que el planeta tierra es muy grande se pueden implementar muchos sistemas de coordenadas tomando como referencia ciertos puntos de interés. Los puntos de referencia o coordenadas más importantes y conocidos son el Paralelo del Ecuador y el Meridiano de Greenwich. A partir de estas dos líneas de referencias es que se referencias las coordenadas geográficas. Como menciona Olaya (2020), dada la forma que presenta la tierra sería más correcto implementar la geometría esférica en los sistemas de coordenadas, pero, resulta de mayor facilidad y es más práctico implementar la geometría plana (p.34).

Las proyecciones cartográficas son sistemas de coordenadas algunos más localizados o de ciertas áreas de la tierra, con geometría plana las cuales evitan los inconvenientes y dificultad de cálculos que las geometrías esféricas demuestran. “Si necesitamos crear una representación visual de la información cartográfica, lo habitual es hacerlo en una superficie plana, ya sea a la manera clásica en un pliego de papel o, usando las tecnologías actuales” (Olaya, 2020, p.35).

Una de las proyecciones cartográficas más utilizadas es la UTM (universal transversa de Mercator), la cual fue creada por el ejército de los Estados Unidos, y se trata prácticamente de un sistema de coordenadas utilizado para cartografiar la mayoría de la Tierra, aunque no se recomienda el uso del UTM en los polos dada la complejidad de la geometría propuesta por el mismo sistema (Olaya, 2020, p.39).

2.1.9.5.4 Escala.

La escala es tomar un objeto o cualquier cosa y dimensionarlo a un tamaño proporcional ya sea más grande o más pequeño del original. Si bien la definición de escala es muy básica se debe conocer que para la parte cartográfica se trabaja con proyecciones y sistemas de coordenadas

distintos, por lo que, dependiendo de los mismos la escala también será diferente. También, es necesario establecer en este punto de la escala que evidentemente el planeta Tierra es muy extenso en comparación con el ser humano y especialmente con respecto a la infraestructura que este ha construido, por lo que como Olaya (2020) menciona "en función de la escala de representación, la información visualizada será una u otra" (p.47), en otras palabras, en ocasiones es necesario generar proyecciones o contar con cartografía que abarque zonas más pequeñas para poder observar información más detallada que no lo permiten zonas más amplias.

2.1.9.5.5 Datos e información.

Si se compararan ambos términos por definición es evidente que no significan lo mismo, sin embargo, y en el área de los SIG, estos dos términos tienen mucha relación, ya que los datos que se ingresan en un sistema de información geográfica generan la información necesaria para el estudio de las diversas ramas interesadas.

2.1.9.5.6 Información geográfica horizontal y vertical.

En un SIG se puede manejar o presentar la información en dos sentidos si se quisiera, de forma vertical u horizontal. La información horizontal es la que, al recolectar los datos todos estos generen un solo bloque de información, o como menciona Olaya (2020) "la visualización de cuatro o más bloques de datos puede ser idéntica a la que obtendría si todos esos datos constituyeran un único bloque" (p.55). Mientras tanto, la información vertical es la que se superpone una sobre otra, como si fuesen capa sobre capa, sobre capa, etcétera, por ejemplo, una capa de relieve, sobre una capa de curvas de nivel, sobre una capa de una imagen aérea.

2.1.9.5.7 Modelos de información geográfica.

Puesto que se maneja información de distintas formas relacionada con la parte geográfica, en principio era difícil para los SIG poder generar dicha relación. Fue con la creación de los

modelos geográficos que se llegó a obtener éxito para los SIG y permitieron aún más su desarrollo. Olaya (2020) indica que existen 3 etapas en los modelos de información geográfica, la "creación de un modelo conceptual, adopción de un modelo de representación y codificación del anterior según un modelo de almacenamiento" (p.92).

En los modelos conceptuales se utilizan representaciones numéricas, que, relacionadas con el modelo de representación, ya que se puede identificar estas representaciones numéricas gracias a las representaciones graficas de imágenes aéreas (ráster y vectorial). A su vez los modelos de almacenamiento tratan de representar los modelos de representación en valores numéricos comprensibles para un ordenador (Olaya, 2020, p.92).

2.1.9.5.8 Algunas fuentes principales de datos para un SIG.

En la actualidad existen muchas maneras de aportar datos a un sistema de información geográfica, desde tecnologías de punta, hasta la vieja cartografía como ejemplo la de los mapas convencionales rudimentarios, por ello se realizará un repaso de algunas de las más importantes fuentes generadoras de datos en un SIG.

- Fuentes digitales y analógicas: En la actualidad se encuentran muchos datos guardados en formato digital, en el caso de los SIG se pueden mencionar como ejemplo algunas proyecciones cartográficas y mapas en formato digital.
- Teledetección: El cual según Olaya (2020) es "el estudio y medida de las características de una serie de objetos" (p.96). Actualmente se puede utilizar en la teledetección la fotografía aérea, rayos láser o x, sensores, entre otros mecanismos para generar como por ejemplo un modelo de elevaciones o curvas de nivel.

- Cartografía impresa a digital: La cartografía convencional fue la que dio paso a la creación de los SIG, por lo que actualmente se siguen implementando mapas impresos, convertidos digitalmente para su aprovechamiento.
- Sistemas de posicionamiento global: Los GPS, siglas en ingles de sistemas de posicionamiento global (global positioning system), son satélites que ayudan en la localización mundial, es gracias a estos que se obtiene coordenadas geográficas y puede ubicar inclusive en tiempo real las cosas. Gracias a estos se obtienen las coordenadas de puntos de interés o inclusive dibujar con los instrumentos GPS un camino o polígono representativo a un elemento de interés.
- Archivos de formato digital: Estos son datos que tienen un formato digital, aportando al SIG inclusive vectores como las imágenes de archivos tif (tagged image file format) que además de ser una representación visual, aportan las coordenadas a escala de lo recolectado en imagen, o también los archivos shp (shapefile), son archivos de formato que contienen figuras con vectores.

2.1.9.5.9 Bases de datos de un SIG.

Las bases de datos son "un conjunto de datos estructurado y almacenado de forma sistemática con objeto de facilitar su posterior utilización" (Olaya, 2020, p.159), o sea, que para un SIG todos los datos se pueden guardar de forma ordenada, tanto los datos visuales y cartográficos, como los datos digitales. Dado que los sistemas de información geográfica necesitan de datos para generar la información, es más que evidente que estos datos no pueden estar desordenados, por lo que por equivalencia estos se vuelven prácticamente una base de datos compleja. En los SIG es más fácil utilizar tablas para ordenar los datos que faciliten la gestión de la información.

2.1.9.5.10 Los metadatos.

Estos son datos dentro de los datos, o como lo explica Olaya (2020) los metadatos "ayudan a los usuarios de los datos a entender mejor el significado que estos tienen y la información que guardan" (p.179). Generalmente los metadatos lo que contienen es información como el tipo de formato de un dato, modelo de representación, quien creo el dato, entre otros tipos de información.

2.1.9.5.11 Capas en los SIG.

Las capas son la materia prima de los SIG, "son conjuntos lógicos de datos geográficos que se utilizan para crear mapas y escenas. También son la base del análisis geográfico" (ArcGis Online, s.f.a, párr.1). Se pueden presentar muchos tipos de capas, como por ejemplo las de imágenes, mapas, figuras y polígonos, puntos, tablas, entre otros.

2.1.9.5.12 Mapas web.

Estos se pueden definir como "una visualización interactiva de información geográfica que puede utilizar para contar historias y responder preguntas" (ArcGIS Online, s.f.b, párr..1), gracias también a los avances del internet y la facilidad que proporciona en el acceso de dicha información. La llegada de los mapas web ha generado una "plataforma abierta para mapas e información geográfica que facilita crear y compartir tu trabajo en forma de mapas de SIG interactivos, capas de datos y análisis útiles" (Harder, 2015, p.3). Dentro de las ventajas que aportan los mapas web es que toda persona tenga acceso, no importa si es un experto en cartografía o una persona particular. Uno de los mapas web más conocidos, es el de las imágenes aéreas de Google Earth, las cuales se pueden incorporar a la mayoría de SIG.

2.1.9.5.13 Cuadros de mando e información de forma inalámbrica.

Ya que los sistemas de información geográfica han evolucionado a través del tiempo y además se han vuelto más utilizados en la actualidad en muchas ramas de la vida cotidiana del ser humano, la información que se genera en estos es muy variada, como menciona Harder (2015):

> Cada día, sensores y dispositivos generan cantidades ingentes de datos: dispositivos GPS en vehículos, objetos y personas, sensores de monitorización del medio ambiente, feeds de vídeo en directo, sensores de velocidad en autovías, feeds de redes sociales. Esto significa que se tiene más fuentes de datos valiosos, conocidos como datos en "tiempo real" (p.117).

Los cuadros de mando son herramientas que ayudan a visualizar la información proporcionada o medida en tiempo real y de manera remota, por lo que generan "una vista de información geográfica y los datos que permiten monitorizar eventos, tomar decisiones, informar a otros y ver tendencias" (ArcGIS Online, s.f.c, párr.1). Szukalski (2020) indica que estos cuadros de mando además de mostrar una representación visual geográfica de la información, también puede estar acompañada de otros datos como cantidades, gráficos, figuras, entre otros, que complementan la información dependiendo las necesidades de cada usuario, o sea, se pueden crear a conveniencia de cada quien (párr.). En los acueductos ya utilizan este tipo de cuadros de mando, específicamente con la medición de los volúmenes de agua en tiempo real en los tanques de almacenamiento como controladores de nivel.

2.1.9.5.14 Las aplicaciones de SIG

Desde sus inicios, los sistemas de información geográfica han evolucionado y emigrado dados los avances tecnológicos hasta convertirse en aplicaciones de escritorio de un ordenador. Por ende, han necesitado adaptarse ante las nuevas tecnologías, y es por esto que "los SIG han

tomado elementos de otras aplicaciones, congregándolos en un único software" (Olaya, 2020, p.467).

2.1.9.5.15 QGIS.

El QGIS, es un sistema de información geográfica "de Código Abierto licenciado bajo GNU-General Public License. QGIS es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)" (QGIS, s.f., párr.2), o sea, es gratuito para todos. El QGIS es uno de los SIG más conocidos dado su total acceso a todas las funciones que este contiene, además de su versatilidad, pues su aplicación de escritorio puede correrse sobre la mayoría de sistemas operativos de los ordenadores, además de presentar todos os fundamentos que un SIG contiene.

2.1.10 Cálculos hidráulicos con EPANET

En el 2001 Rossman define a EPANET como "un programa de ordenador que realiza simulaciones en periodos prolongados de comportamiento hidráulico y de la calidad de agua en redes de suministro a presión" (p.1). En este programa se pueden incluir todos los accesorios presentes en una red hidráulica, por ejemplo, válvulas de cierre, válvulas de aire, tanques de almacenamiento, tanques quiebra gradientes, tuberías en distintos diámetros, nodos, etcétera. Algunas de las características que menciona Rossman (2001) sobre EPANET son las siguientes:

- No existe un límite en el tamaño de la red que puede procesarse.
- Las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o de Chezy-Manning.
- Calcula perdidas menores por accesorios.
- Admite bombas de velocidad media o variable.
- Determina el coste energético y sus costes.

- Permite modelizar varios tipos de válvulas.
- Permite considerar diferentes tipos de demandas en los nudos.
- Modeliza salidas de agua cuyo caudal dependa de la presión.
- Admite leyes de control simple basadas en el valor del nivel de los depósitos. (p.2).

2.1.11 Medidor de caudal

García (1999) menciona que "la medida de caudal en conducciones cerradas, consiste en la determinación de la cantidad de masa o volumen que circula por la conducción por unidad de tiempo" (p.22), en otras palabras, un medidor de caudal es un instrumento que mide dicho volumen en un tiempo determinado (velocidad entre tiempo es igual que caudal).

Existen varios tipos de medidores de caudal como lo pueden ser los medidores de presión diferencial, medidores con accionamiento mecánico, medidores de caudal electromagnéticos y medidores ultrasónicos, este último es con el que se lleva a cabo esta investigación, ya que es un instrumento de alta precisión que genera economía a la ASADA en muchos aspectos, tal y como menciona García (1999), "su fácil instalación reduce los costes de mantenimiento, y además la medición, sin apenas pérdida de carga, reduce los costes energéticos"(p.39). Otro aspecto importante de este tipo de medidor de caudal es el hecho que no genera una pérdida de carga considerable, además de aportar un margen de error de ±0,5% (García, 1999, p.39).

2.1.11.1 Medidor de agua ultrasónico a granel B39 VW-M.

2.1.11.1.1 Antecedentes.

Este medidor de caudal fue lanzado por la empresa BOVE, en el cual se emplea tecnología de punta, gracias a la investigación y desarrollo de mediciones durante un año. Su diseño a través

de múltiples principios de ultrasonido, genera confiabilidad en los datos, gracias a la alta precisión de sus mediciones (Bove Intelligent Technology, 2021, p.1).

Este medidor de caudal tuvo que obtener la aprobación de la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUTEL) (2021) ya que al emitir frecuencias de radiocomunicación fue necesario el estudio y cumplimiento de las mismas respecto a los parámetros permitidos en Costa Rica, y que incluso no interfieren en las comunicaciones a nivel territorial (pp. 2-3).

2.1.11.1.2 Características.

El medidor de caudal B39 VM-M está elaborado de acero fundido, posee un sistema de ultrasonido múltiple y una pantalla LCD lo suficientemente grande para exponer los datos de las lecturas. En su estructura no existen piezas móviles, esto evita un costo de inspección y mantenimiento, además que, asegura una alta precisión durante años (Bove Intelligent Technology, 2021, p.1).

Este medidor fácilmente se integra a la tecnología de lectura automática de medidores (AMR), gracias a la admisión de múltiples interfaces de comunicación, siendo estas cableadas o inalámbricas, proporcionando una red confiable y reduciendo en gran medida el costo de lectura del medidor (Bove Intelligent Technology, 2021, p.1). Bove Intelligent Technology (2021) indica que el B39 VM-M es totalmente a prueba de agua gracias a su robusto diseño. Además, cuenta con una duración de batería que puede abarcar de entre 10 a 16 años según lo requieran las necesidades del cliente (p.2).

2.1.11.1.3 Aplicaciones.

De acuerdo con Bove Intelligent Technology (2021), el medidor de caudal en su serie B39 VM-M posee variedad de tamaños de acuerdo a las dimensiones de la tubería, como pueden ser

desde DN50 para tuberías de 2 pulgadas, hasta la DN900 para tuberías de 36 pulgadas. Dentro de las áreas aplicables en los que se implementa este tipo de medidor se tiene los sectores comerciales, distritales, agrícolas e industriales (p.2).

2.1.11.1.4 Dimensiones.

Figura 2.7 Dimensiones para medidor de caudal de la serie B39 VM-M

Modelo	Diametro	Caudal Nominal	Caudal Transicional	Caudal Minimo	Diámetro Brida Exterior	Longitud	Conexión del Tornillo
	DN (mm)	Q_3 (m^3/h)	Q_2 (m^3/h)	Q_1 (m^3/h)	mm	mm	
DN50	50	25	0.2	0.125	165	200	4×M16
DN65	65	40	0.32	0.2	185	200	4×M16
DN80	80	63	0.504	0.315	200	225	8×M16
DN100	100	100	0.8	0.5	220	250	8×M16
DN125	125	160	1.28	0.8	250	250	8×M16
DN150	150	250	2	1.25	280	300	8×M20
DN200	200	400	5.12	3.2	335	345	12×M20
DN250	250	630	8.064	5.04	405	445	12×M24
DN300	300	1000	12.8	8	460	500	12×M24
DN400	400	1600	20.48	12.8	580	600	16×M27
Hasta DN900, consulte BOVE para obtener especificaciones detalladas							

Fuente: Bove Intelligent Technology (2021, p.3).

2.1.11.1.5 Especificaciones técnicas.

Figura 2.8 Especificaciones técnicas del medidor de caudal B39 VM-M

Clase de precisión	Clase 2
Relación de rango	R125, R160, R200, R250
Presión máxima de trabajo (MPa)	1.0
Pérdida de presión	▵ P40
interfaz de Comunicación	Optical, Mbus, RS485, LoRa, NB-IoT, Sigfox, etc.
Rango de temperatura media	0.1℃.....30℃ / 0.1℃.....50℃
Rango de temperatura ambiente	-20℃.....55℃
Requisito medioambiental	E1, M1, B
Vida de la Batería	10, 16 años
Clase de protección	IP65, IP68
Sensibilidad del campo de flujo	U10/D5, U5/D3 (Opcional)
Material de la tubería de flujo	Acero fundido
Almacenamiento de datos	24 meses de datos, alarma y hora de alarma
Instalación	Horizontal o Vertical

Fuente: Bove Intelligent Technology (2021, p.4).

2.1.12 Elaboración de Dashboards o paneles de control con el programa Power BI

2.1.12.1 ¿En qué consiste el programa Power BI?

Este es un programa de código abierto, lo que quiere decir que cualquier persona con su computadora y conexión a internet puede manipularlo para conectarse a los datos, transformarlos según sea lo necesario y finalmente visualizarlos de manera eficiente. De acuerdo con lo mencionado por Berdugo et al, (2024) se expresa que: Power BI es una colección de servicios de software, aplicaciones y conectores que funcionan conjuntamente para convertir orígenes de datos sin relación entre sí en información coherente, interactiva y atractiva visualmente.

Sus datos podrían ser una hoja de cálculo de Excel o una colección de almacenes de datos híbridos locales y basados en la nube. Power BI permite conectarse con facilidad a los orígenes de

datos, visualizar y descubrir qué es importante y compartirlo con cualquiera o con todos los usuarios que desee (párr. 1)

2.1.12.2 Panel de control o dashboard de Power BI

Indica Hemant et al, (2023) que: Un panel de Power BI incluye una única página, que se suele denominar lienzo, que cuenta una historia mediante visualizaciones. Dado que se limita a una sola página, un panel bien diseñado contiene únicamente los elementos destacados de esa historia. Los lectores pueden ver informes relacionados para conocer los detalles (párr. 1)

Hemant et al, (2023) señala que: Las visualizaciones que se ven en el panel se denominan iconos. Los iconos se anclan a un panel desde los informes y cada informe se basa en un modelo semántico. Un panel es una introducción a los informes y modelos semánticos subyacentes. La selección de una visualización le lleva al informe y al modelo semántico en el que se basa." (párr. 2).

2.1.12.3 Ventajas de los paneles de control o dashboards

"Un panel combina datos locales y en la nube, lo que proporciona una vista consolidada de los datos" (Hemant et al, 2023). Esto abre un conjunto de beneficios en cuanto a la variedad de datos que se requiera visualizar, estando o no relacionados, pero a su vez agrupándolos en un solo panel, provenientes de una o más bases de datos, lo que facilita al interesado destacar la información que se requiera para las temáticas específicas que se le exijan, ya sea a nivel académico o empresarial, de un vistazo.

La información proveniente de bases de datos, por ejemplo, las infinitas tablas de Excel que resultan fastidiosas por la gran cantidad de datos que relacionan, difíciles de entender a simple vista, a través de este programa se logra filtrar la información requerida, contando con la gracia de

que si estas bases de datos se modifican, el panel también lo hará, permitiendo mantener actualizado el informe en ejecución, con los datos que se están demandando. Tal como menciona Hemant et al, (2023) “Un panel no es simplemente una foto bonita. Es muy interactivo y los iconos se actualizan según cambian los datos subyacentes” (párr. 5). Incorporando además la facilidad de hacer atractiva la presentación de los datos, dándole la estética necesaria al dashboard, según sea la ocasión, con el uso de diversos tipos de gráficas llamativas y herramientas de edición.

2.2 Marco legal

Existen algunas de las leyes o material jurídico legal al que este trabajo debe de someterse o respetar de alguna u otra forma, puesto que afectan directamente al diseño de tuberías, pero más importante, afecta en los objetivos planteados para la obtención de resultados. Es importante resaltar que, aunque no sea este trabajo quien directamente debe acatar lo que las leyes demandan si es el acueducto involucrado quien debe respetar lo que el material legal imponga.

Algunas leyes son la Ley 8228 (2002) del Benemérito Cuerpo de Bomberos vinculado con la Ley 8641 (2008) de Hidrantes, la Ley 7593 (1996) de la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP), como también el Decreto Nº 42582 (2020) del Reglamento de las asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados comunales y la Resolución RJD-101-2014 (2014) del Reglamento técnico para la prestación de servicios de acueducto y alcantarillado sanitario e hidrantes.

2.2.1 Ley 8228: Ley del Benemérito cuerpo de bomberos de Costa Rica; Ley 8641: Ley declaratoria del servicio de hidrantes como servicio público

En el Artículo 24 de la Ley 8228 (2002) se indica que Los Bomberos pueden abastecerse de agua potable sin costo alguno en la atención de emergencias. Por otra parte, la Ley 8641 (2008)

indica en el Artículo 2 que son las ASADAS quienes instalan, operan y dan mantenimiento a los hidrantes. En el Artículo 3 de la Ley 8641 (2008) la ARESEP incluye en el modelo tarifario del servicio de agua potable un costo por instalación, operación y mantenimiento de los hidrantes.

2.2.2 Ley 7593: Ley de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP)

En el inciso C del Artículo 5 de la Ley 7593 (1996) se le atribuye a la ARESEP la potestad de fijar los precios y tarifas al servicio de agua potable, mientras que el Artículo 6 menciona que será responsabilidad de la ARESEP de velar por el cumplimiento de las tarifas y precios establecidos, en este caso, al servicio de agua potable.

2.2.3 Decreto 42582: Reglamento de las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS)

En el Artículo 39 del Decreto 42582 (2020) se indica que "Corresponde a la ASADA brindar y velar por la adecuada prestación de los servicios de abastecimiento de agua potable" por lo que se deduce que el sistema de acueducto debe de diseñarse y emplearse en las mejores condiciones. En el Artículo 41 del Decreto 42582 se menciona que la ASADA "realizará las labores necesarias para el adecuado funcionamiento de los sistemas administrados y para que el servicio que provea cumpla con los principios que rigen el servicio público".

En el Artículo 64 del Decreto 42582 (2020) se menciona que las ASADAS deben de "garantizar su sostenibilidad financiera" aplicando una adecuada gestión de los servicios, así como las tarifas de los mismos. En el inciso a se dice que se deben de aplicar las tarifas vigentes de la ARESEP y en el inciso b se dice que se puede hacer petición ante el AyA para que gestione ante la ARESEP un reajuste tarifario a una ASADA en específico.

2.2.4 Resolución RJD-101-2014: Reglamento técnico: prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado sanitario e hidrantes.

En el Artículo 19 de la Resolución RJD-101-2014 (2014) se menciona que "toda infraestructura debe ser diseñada y construida de acuerdo con los requerimientos vigentes de diseño y construcción establecidos por el CFIA, el AyA y la legislación vigente aplicable", lo que para este caso se refiere a lo establecido en la Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial del AyA. La Resolución RJD-101-2014 (2014) también indica las presiones de servicio mínimas que se deben de implementar en todo sistema hidráulico de agua potable en el Artículo 32 en donde dice:

> Los prestadores deben mantener una presión mínima dinámica de servicio en el punto de entrega de 98,1 kPa (10 m.c.a., 14,2psi). A la vez, debe restringir la presión estática máxima hasta 490,5 kPa (50 m.c.a, 71 psi), en el punto más bajo de la red y en áreas de servicio muy quebradas hasta 686,4 kPa (70 m.c.a., 99,6 psi).

2.2.5 Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial.

De acuerdo con Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017), señala que "la presente Norma Técnica establece requisitos técnicos generales aplicables a los sistemas de abastecimiento de agua potable, de recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales de tipo ordinario" (p.3). Esta es la norma bajo la cual muchas ASADAS tanto rurales como urbanas rigen el diseño y construcción de sus acueductos, de manera que se logre una misma sintonía en la eficiencia del abastecimiento con agua potable.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017), indica que la Norma Técnica es un "orientador del diseño y construcción de proyectos de iniciativa pública o privada y son la base para la revisión y aprobación de estos proyectos por AyA" (p.3), la cual brinda la parte conceptual y metodológica correcta, para llevar a cabo los proyectos en los que se somete al profesional a cargo de dichos proyectos, a la legislación de sus acciones y el desempeño de buenas prácticas ingenieriles en el diseño de los acueductos (p.3).

Capítulo 3: Marco metodológico

A continuación, en este capítulo se va a platicar sobre cinco importantes aspectos a tomar en cuenta para la correcta metodología de la investigación. Inicialmente, se destaca el tipo de muestra a trabajar en donde se indica tanto su naturaleza como su carácter, seguidamente, se especifican los sujetos de investigación y se clasifican las fuentes de información para el proyecto.

Posteriormente, se describe tanto el tipo de muestra como la población con la que se trabaja y, una vez hecho esto, se procede a determinar los instrumentos mediante su diseño y las técnicas de recolección de datos, analizando los procedimientos de intervención a ejecutarse. Finalmente, se apoya la investigación a una estrategia de análisis de datos en donde se analiza la mejor presentación de los mismos y el uso de un cronograma.

3.1. Tipo de investigación

3.1.1 Naturaleza de la investigación: mixta

Algunas de las características que mencionan Baptista, Fernández y Hernández (2014) respecto al tipo de investigación cuantitativa son las de medir resultados, planteamiento del problema delimitado, genera una hipótesis antes de recabar y analizar los datos por calcular, la recolección de datos se generan producto de las mediciones, además de representarlos en números y dichos resultados generan las conclusiones del trabajo (p. 5).

También Punch (2014), Lichtman (2013), Morse (2012), Encyclopedia of Educational Psychology (2008), Lahman y Geist (2008), Carey (2007) y DeLyser (2006) (como se cita en Baptista, Fernández y Hernández, 2014) mencionan que “el enfoque cualitativo se selecciona cuando el propósito es examinar la forma en que los individuos perciben y experimentan los fenómenos que los rodean” (p. 358). Esto se denota en esta investigación cuando se demuestre la

hipótesis planteada con respecto a la efectividad de la utilización de los medidores de caudal inteligentes, en conjunto del programa QGIS y los cuadros de mando.

También Baptista, Fernández y Hernández (2014) agregan que "el enfoque cualitativo puede concebirse como un conjunto de prácticas interpretativas que hacen al mundo "visible", lo transforman y convierten en una serie de representaciones en forma de observaciones, anotaciones, grabaciones y documentos" (p. 9). Aquí también se denota lo mismo planteado respecto al análisis de efectividad de esta investigación.

Por consecuente se puede decir que esta investigación es de naturaleza mixta, ya que "representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada" (Hernández y Mendoza (2008) como se cita en Baptista, Fernández y Hernández, 2014, p. 534).

Encontrando todas estas similitudes en este trabajo de investigación se reafirma la naturaleza de la investigación como mixta, pues hasta este punto ya se cuenta con un problema planteado de forma delimitada y de una hipótesis anterior a la búsqueda y construcción de la teoría necesaria, para luego aplicarla en la recolección de los datos. Estos datos corresponderán a las mediciones y cálculos hidráulicos realizadas consecutivamente con el programa EPANET y de coordenadas, altitudes y longitudes de tuberías y accesorios obtenidas con el programa QGIS, obteniendo como resultado un dato de pérdidas de cargas en la ASADA de Pital. Además del análisis de datos numéricos, se tendrá que determinar la efectividad del sistema de medición, recolección y análisis de datos planteado en esta investigación.

3.1.2 Carácter de la investigación: correlacional

Este proyecto debe vincular varios aspectos para cumplir con la finalidad propuesta en el mismo. Entre estos se pueden mencionar el GIS, los medidores de caudal y un cuadro de mando. Estos dan resultados que deben trabajar en conjunto para representar el resultado deseado, en este caso, las pérdidas de caudal debido al agua no contabilizada en el sistema de tuberías.

El sistema de información geográfica QGIS permite dar una representación muy precisa del acueducto, tanto en características físicas, como de cuantificación de tuberías y accesorios y sus referencias geográficas, generando una base de datos real, actualizada y sujeta a cambios. El medidor de caudal por emplear en este proyecto es de avanzada tecnología, al contar con un sistema electrónico de lectura a través de ultrasonidos sobre la sección del flujo de agua y representación de resultados en una pequeña pantalla incrustada en su resistente cuerpo de hierro fundido. No solo desde ahí se puede leer lo mesurado, sino que a través de una conexión a internet se visualizarán los resultados desde un ordenador en la oficina de la ASADA.

Pero es aquí donde se hace necesario engranar un último elemento que hace posible la representación de todos esos datos de importancia ya medidos y esto es posible gracias al cuadro de mando. La representación de los resultados obtenidos gracias a las lecturas elaboradas por el medidor de caudal cada cierto lapso de tiempo, es necesario observarlas en una especie de pestaña amplia y ordenada que permita mostrar las deducciones de los datos.

Esta información debe ser de fácil comprensión por parte del lector, por lo que solo se revelarán los resultados de interés que permitan cumplir con la finalidad del proyecto. Estos datos pueden manifestar una simple lectura y también pueden relacionarse entre sí para crear más

interpretaciones de interés para la ASADA como pueden ser gráficos y tablas comparativas, por ejemplo.

Con base en la descripción anterior, se hace notar la correlación existente entre los elementos ya mencionados, cumpliendo cada uno de estos con su papel, pero a su vez relacionando las derivaciones de cada parte para llegar a un objetivo común, basándose en la iniciativa de integrar medidores de caudal electrónicos en conjunto con un GIS y un cuadro de mandos.

3.2 Sujetos y fuentes de información

3.2.1 Sujetos de información

Para este punto se han seleccionado los sujetos de investigación representados en la **Tabla 3.1** donde se menciona el tipo o definición del sujeto de información y que datos proporciona.

Tabla 3.1: Los sujetos de información

Sujeto	Definición del sujeto	Datos proporcionados
Nerwin Nájera.	Administrador de la ASADA Pital.	Ubicación de tuberías y accesorios del Acueducto de Pital, número de usuarios, Dotación de las fuentes.
Programa QGIS.	Sistema de información Geográfico.	Coordenadas geográficas de la red hidráulica, Altitud de la red hidráulica.
Programa EPANET.	Programa de simulación hidráulica.	Pérdidas de carga, Caudales en los nodos y Velocidades.
Cuadro de mando.	Manual para crear un cuadro de mando.	Cuadro de mando donde se representarán las pérdidas y gráficos.

Fuente: Elaboración propia (2025).

3.2.2 Fuentes de información: primarias o secundarias

Es necesario para este punto determinar a los sujetos de información como fuentes primarias de información, pues suministran datos necesarios para los cálculos por emplear. A continuación, se determinan las fuentes de información en la **Tabla 3.2**.

Tabla 3.2: Fuentes de información

Fuentes primarias	
Fuente	**Datos**
Nerwin Nájera.	Ubicación de tuberías y accesorios del Acueducto de Pital, número de usuarios, Dotación de las fuentes.
Programa QGIS.	Coordenadas geográficas de la red hidráulica, Altitud de la red hidráulica.
Programa EPANET.	Pérdidas de carga, Caudales en los nodos y Velocidades.
Cuadro de mando	Cuadro de mando donde se representarán las pérdidas.
Fuentes secundarias	
Fuente	**Datos**
Norma Técnica del AyA (2017).	Datos de diseño (dotación, perdida de carga mínima, formula a utilizar, velocidades mínimas, presiones, etc.).
Abarca, M.A. y Rodríguez, D. (2017)	Teoría para el cálculo del agua no contabilizada
Rocha, A. (2007).	Teoría de hidráulica que aporta cálculos hidráulicos, fórmulas de pérdidas de carga, caudal, presión, método de nodos, etc.
Rossman, L. (2001).	Manual de EPANET que ayudará en la obtención de los cálculos hidráulicos, velocidades, caudales.
Szukalski, B. (2020).	Manual para la elaboración de los cuadros de mando.
Berdugo, M, e*t al* (2024)	Conceptos sobre el programa Power BI.

Fuente: Elaboración propia (2025).

3.3 Muestra y población

Es importante definir cuál es la población de esta investigación, así como la muestra que representa a dicha población, que, para este punto, se define el sistema de acueducto de la ASADA de Pital como la población de estudio, pues es en ella donde se obtendrán las pérdidas o desperdicio de agua, por consecuente se determina los puntos donde se colocarían los medidores de caudal como las muestras, pues serán los puntos estratégicos de recolección de datos para el estudio de la investigación.

3.3.1 Tipo de muestra

Como se determinó anteriormente, se seleccionan los puntos estratégicos donde se colocarán los medidores de caudal como la muestra, siendo esta de tipo no probabilística, ya que como lo mencionan Baptista, Fernández y Hernández (2014), "depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores" (p. 176), ya que en este caso serán los investigadores en conjunto del administrador de la ASADA de Pital quienes elegirán donde estarán ubicados dichos puntos estratégicos para colocar los medidores de caudal de acuerdo al conocimiento del administrador sobre la ubicación de los puntos más críticos que históricamente han presentado fallas y otro tipo de incidentes relacionados al agua no contabilizada.

3.3.2 Descripción de la muestra

Se utilizan los medidores de caudal B39 VM-M descritos en el Capítulo 2, los cuales son medidores de caudal de tipo ultrasónicos que aportan una precisión muy acertada en la medición de caudal, además de contar con las especificaciones aceptadas por la SUTEL, y otro aspecto importante es el hecho de que la ASADA de Pital cuenta con este tipo de medidores instalados en el acueducto.

Se recolectan las mediciones realizadas por el personal de la ASADA de Pital, tanto de forma manual (lectura en sitio cada mes) como de forma remota (conectando el macromedidor a señal wifi y recolectado por la nube del medidor inteligente). Estas lecturas se almacenan en una base de datos de Excel donde se divide el total de cada macromedidor de forma mensual.

3.3.3 Descripción estadística de la población en estudio

Como se menciona anteriormente, la población de estudio representa el acueducto de la ASADA de Pital de San Carlos, el cual cuenta con una extensión de 138 km de tuberías incluidas la red de distribución y la red de abastecimiento, brindando el servicio de agua potable a 4158 usuarios. Dentro de los elementos con los que cuenta el sistema de acueducto de la ASADA de Pital está una fuente de agua potable que se recolecta en un tanque de reuniones de 300m^3. Cuenta con 3 tanques de almacenamiento, 1 tanque de 800 m^3, 1 tanque de 250 m^3 y otro de 200 m^3.

3.4 Instrumentos y técnicas de recolección de datos

3.4.1 Diseño de instrumentos

3.4.1.1 Herramientas del GIS

Las primeras herramientas que se utilizarán, son las del programa QGIS, que consisten en creaciones de capas de archivo shape (shp) que anteriormente se explicó en el marco teórico. Estas capas de archivo shp corresponden a la red hidráulica de agua potable del acueducto de Pital, la cual será representada en líneas con diferentes colores dependiendo el diámetro de la tubería, y adicionalmente se calculará datos de distancia de todas las líneas de tuberías, coordenadas geográficas y datos de elevación.

Otros aspectos a incluir en el programa de QGIS, serán más archivos shp en forma de puntos, representando los accesorios de la red, como lo son las fuentes, válvulas de cierre, válvulas de lavado, válvulas de aire, macro medidores, previstas de agua potable, hidrantes, tanque de reuniones, tanques de almacenamiento y tanques quiebra gradiente, que también se calculará datos de coordenadas geográficas y datos de elevación.

3.4.1.2 Programa de dibujo AutoCAD

Esta es una herramienta importante, pues con ella se van a editar algunos aspectos del dibujo generado en el programa QGIS, ya que este último al no ser un programa de dibujo como tal, será necesario realizar ajustes de dibujo, como la unión de líneas de tuberías o la colocación correcta de puntos sobre las mismas líneas.

3.4.1.3 EpaCAD

Esta herramienta será necesaria para convertir los archivos generados por el programa QGIS y AutoCAD (formato dxf o dwg) a formato .inp necesario para que se pueda utilizar en el programa EPANET.

3.4.1.4 Simulaciones hidráulicas en EPANET

Este software permite cálculos hidráulicos en cada uno de los puntos críticos por abarcar como bien se menciona en el marco teórico. A través de una simulación se utiliza el archivo .inp generado del EpaCAD y se analiza el comportamiento hidráulico del acueducto en los puntos críticos, donde se obtendrán resultados de pérdida de carga, caudales y velocidades.

3.4.1.5 Hojas de Cálculo

Se confeccionan dos hojas de cálculo en el programa Excel de elaboración propia, las cuales se representar todos los datos obtenidos de los programas utilizados como el QGIS y el EPANET, así como los cálculos hidráulicos realizados para alimentar el programa de EPANET. También se adjuntan tablas del presupuesto de obras a realizar, el cálculo de agua no contabilizada y el desperdicio de agua, obtenidas de dicho porcentaje de agua no contabilizada. A continuación se explica más a fondo cada una de estas tablas, desde los datos que se suministran, desde donde provienen, como se realizan los cálculos y que resultados se obtienen de dichos cálculos.

3.4.1.5.1 Cálculo de la población futura

Conociendo la cantidad de previstas suministradas la ASADA de Pital y utilizando un factor de hacinamiento obtenido de los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) se procede a calcular la población de diseño, la cual resulta de la multiplicación de la cantidad de previstas por el factor de hacinamiento. No es necesario calcular los servicios equivalentes, ya que se cuenta con el dato de previstas.

3.4.1.5.2 Cálculo de la demanda (caudal)

En la misma hoja de cálculo en Excel utilizada para realizar el cálculo de la población, se realiza el cálculo de la demanda de caudal por lo que se necesitan los datos de micromedición de al menos el último mes proporcionados por la ASADA de Pital. Para ello se tabula los datos de la micromedición en metros cúbicos (m^3) por mes, cantidad de días de cada mes y se adjunta la cantidad de previstas con las que se contaba para dicho mes.

Seguidamente se calcula la dotación en litros sobre persona sobre día (l/p/d) de cada mes, la micromedición se debe de transformar de metros cúbicos a litros (l) por lo que el dato de micromedición se multiplica por 1000 l dividido entre 1 m^3. Se calcula la cantidad de habitantes de cada mes, los cuales se obtiene de multiplicar el factor de hacinamiento por la cantidad de previstas de cada mes. Finalmente se divide el dato de micromedición en litros de cada mes, entre la cantidad de habitantes de cada mes, entre la cantidad de días de cada mes. Al final dicha tabla se selecciona el valor máximo de dotación de cada mes para seleccionarla como la dotación de diseño.

Consecuentemente se elabora una tabla donde se adjunta el dato de dotación máxima obtenida de la tabla anterior, así como los datos de agua no contabilizada, el cual consiste en el 33% de la dotación, ya que la ASADA de Pital no cuenta un registro de estos últimos 11 meses

analizados. También se adjuntan los datos de los factores de caudal máximo, visualizados en la **Tabla 2.5**.

La última tabla de cálculos de esta hoja de Excel corresponde primero al cálculo de los caudales. El primer paso será obtener el caudal promedio al sumar la dotación de diseño más el porcentaje de agua no contabilizada (33% de la dotación de diseño) multiplicado por la población de diseño, para luego dividir este resultado entre 86400 s/d (segundos sobre día) y obtener el caudal promedio en litros sobre segundos (l/s).

El siguiente dato a calcular es el de los caudales máximos, por lo que el primero correspondiente al Caudal Máximo Diario (l/s) se multiplica el caudal promedio por el Factor Máximo Diario (1.2). El tercer paso es obtener el Caudal Máximo Horario (l/s) al multiplicar el Caudal Máximo Diario por el Factor Máximo Horario (1.8). Finalmente la Demanda Base (l/s) consiste en el caudal presente en cada prevista, calculado al dividir el Caudal Máximo Horario entre la cantidad de previstas.

3.4.1.5.3 Cálculo de agua no contabilizada

Se realiza un cálculo en la misma hoja de cálculo de Excel de elaboración propia, donde primero se calcula y tabula el balance hídrico comparando el caudal obtenido en cada punto estratégico de la modelación hidráulica, con el agua consumida y medida de los usuarios de cada sector durante el mes donde se presentó mayor dotación, estos datos de micromedición suministrado por la ASADA de Pital. Luego se aplica la *Ecuación 2-1* del índice de agua no contabilizada en conjunto con la **Tabla 2.1** para determinar el mismo en cada punto estratégico.

3.4.1.5.4 Cálculo de posibles previstas producto del agua no contabilizada

Se realiza este cálculo suponiendo que el agua no contabilizada corresponde a un caudal de agua aprovechado por la ASADA de Pital, por lo que se procede a dividir la diferencia entre la micro y macromedición entre el dato de dotación (l/p/d/) y dividido entre 1000 l, y así obtener el dato de personas abastecidas. También este resultado de personas se divide entre el factor de hacinamiento (3.81) para finalmente lograr el número de posibles usuarios.

3.4.1.5.5 Gráficos de las tabulaciones

Se realzan gráficos que representen de forma ilustrada los cálculos representados en las tablas de datos de consumo, como lo es un gráfico de líneas de los consumos (micromedición) por mes, un gráfico de la macromedición mensual y un gráfico de barras de las dotaciones obtenidas por cada mes. También se implementarán gráficos de barras para representar los demás cálculos realizados como lo son el de agua no contabilizada, diferencia entre la micro y macromedición, posibles previstas abastecidas con el agua no contabilizada y la sumatoria de las posibles previstas y las previstas mensuales existentes.

3.4.1.6 Medidores de caudal

Se utilizan los datos de macromedición actual recolectados de forma y almacenados en una hoja de cálculo de Excel de forma mensual. Debido a las particularidades del acueducto de Pital es importante determinar cuáles macromedidores se utilizarán para el cálculo del agua no contabilizada.

3.4.1.7 Cuadros de mando para determinar el agua no contabilizada

A través de una plataforma en internet o software, que en este caso se utiliza el programa Power BI, se elabora todo un tablero de información en el que se representan los datos de las lecturas efectuadas de forma remota por los medidores de caudal, en combinación con información

geográfica del QGIS, revelando así datos como la macromedición, la micromedición, , agua no contabilizada, cantidad de usuarios, cantidad de posibles usuarios, entre otros. Este cuadro de mando se realiza con información agrupada de forma mensual.

3.4.2 Procedimiento de intervención

Una vez establecidos los instrumentos es necesario ahora explicar cuáles son los pasos a seguir para realizar la investigación en el apartado práctico, o la experimentación. Básicamente este procedimiento sigue la línea de los sujetos y fuentes de información, principalmente las fuentes primarias de información. Este procedimiento se realizará en cuatro etapas.

3.4.2.1 Primera etapa: QGIS

El primer paso consiste en la moderación de la red hidráulica de agua potable del acueducto de la ASADA de Pital, el cual se realizará en conjunto a la información suministrada por el administrador de la ASADA, el señor Nerwin Nájera, con el respaldo de los fontaneros, para poder ubicar toda la red de tuberías y accesorios, tanto en diámetros como en coordenadas en el programa de información geográfica QGIS.

En este punto se confeccionarán las capas de archivos shp antes mencionadas en los instrumentos, los cuales como se indicó anteriormente, se ubicarán con la ayuda del señor Nájera, tomando como referencia los mapas web de Google (imágenes aéreas), sin embargo, en dado caso que se necesite precisar la ubicación se podrá utilizar un GPS para suministrar las coordenadas al QGIS.

Una vez terminada la modelación de la red, se procede a realizar el cálculo de las distancias de tuberías y coordenadas geográficas y elevaciones de todos los elementos ya trazados en el programa QGIS, para ser utilizados en el programa EPANET en los cálculos hidráulicos. Se

realizarán algunas mejoras en el dibujo con el programa AutoCAD, por lo que para ello se exporta la red de QGIS en formato dxf para ser leído por el programa de AutoCAD.

3.4.2.2 Segunda etapa: modelación hidráulica y análisis hidráulico

Aquí es donde se necesita la ayuda del programa de EpaCAD y los cálculos realizados en las hojas de cálculo. Primero se exporta la red del acueducto en formato dxf o dwg desde el programa AutoCAD, para luego hacer la transformación de dxf o dwg a formato .inp con la ayuda del EpaCAD, formato que es leído por el programa EPANET.

Luego se hace efectiva la lectura y simulación hidráulica de la red en el programa EPANET, lo cual será necesario agregar datos de la demanda base en cada nodo de la red. Finalizado el abastecimiento de datos en los nodos se realiza la simulación hidráulica, obteniendo los datos de caudal, velocidad y perdidas de carga en los puntos estratégicos.

Una vez obtenida la simulación hidráulica se procede a realizar el análisis de la red hidráulica, en donde se evalúan las presiones y velocidades que se determinan en el modelo hidráulico de EPANET, respecto a lo que establece la Norma Técnica del AyA del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017).

3.4.2.3 Tercera etapa: medición y cálculos

Es importante contar con los datos de la micromedición, la macromedición, y el número de usuarios de la ASADA Pital, para realizar los cálculos de demandas, diferencias entre macro y micromedición, población de diseño, porcentaje de agua no contabilizada y el agua no contabilizada. Con base a los datos obtenidos, también se realizan los gráficos de cada uno de los cálculos anteriormente descritos en la sección 3.4.1.5.5 de este trabajo de investigación. La idea es darles distintos colores a cada grafico para diferenciarlos entre cada uno de ellos

3.4.2.4 Cuarta Etapa: elaboración del cuadro de mando

Para iniciar en la parte superior del panel se filtrará la información a través de un objeto visual que funcionará como línea de tiempo, el cual consiste en una serie de botones que segmentarán los datos según el año y el mes que se desee visualizar. Posteriormente, se colocarán 2 botones más, uno para cada macromedidor instalado. Estos botones permitirán interacción con un mapa en el que estarán incluidos puntos georreferenciados relacionados a cada macromedidor del acueducto y cada uno al señalarlo con el puntero del mouse, etiquetará su respectivo nombre y localidad. También se establecerá un gráfico de barras comparando entre la macromedición y la micromedición mes a mes del año seleccionado.

En la parte central del tablero, se ubicará un gráfico, que indicará el comportamiento del aumento en la cantidad de previstas que se dieron mes a mes durante el año. Sobre este se piensa establecer las medidas de la dotación y la cantidad de previstas que ofrece la ASADA. También se quiere dar a conocer gráficamente los posibles usuarios adicionales al servicio brindado mensualmente. Tratando de resaltar en mayor tamaño los datos de interés.

Se piensa instalar alguna clase de reloj o medidor para indicar el porcentaje de agua no contabilizada para cada mes seleccionado. Este debería funcionar como señal de alerta para el que maneje el panel de control, cambiando su coloración según sea el porcentaje del índice de agua no contabilizadas y resulte fácil y rápido de detectar.

Como parte final del tablero, se espera establecer una especie de cuadro de resumen, mostrando así en forma de lista según el mes seleccionado, la totalidad de los datos del panel. Lo que permite enlistar en forma de texto, absolutamente todo lo que en los gráficos del panel se indica, dando una vista más resumida y sencilla de toda la información.

3.5 Estrategia de análisis de datos

Se determinan la forma de cómo se analizarán los datos, en base a al tipo de investigación determinada, los sujetos de información, la muestra y la población, los instrumentos diseñados y el procedimiento de intervención que favorezcan la obtención de resultados y faciliten el análisis de los mismos en el Capítulo 5.

3.5.1 Presentación y análisis de los datos

Como el SIG utilizado para el dibujo y cálculo de coordenadas, elevaciones y longitudes, es un sistema más gráfico, para la presentación de toda la red se suministrará un mapa de la misma donde se incluye una tabla de elaboración propia y realizada en el mismo programa de QGIS, con las distancias de tuberías representadas en metros (m), elevaciones representadas en metros (m) y coordenadas geográficas con proyección local CRTM05. Adicionalmente se adjuntan imágenes de los componentes y particularidades que presenta el acueducto de Pital en el Capítulo 4 de este trabajo de investigación.

Los cálculos hidráulicos se presentan con la representación gráfica de los gráficos realizados a partir de los datos tabulados. Se adjuntan de forma individualizada en este trabajo de investigación en forma de imágenes para luego explicar y analizar cada uno de estos resultados obtenidos.

Del Cuadro de mando se adjuntan las imágenes del resultado obtenido, tanto del panel como tal, sino también todos los elementos que lo conforman, como los datos del porcentaje de agua no contabilizada, la cantidad de usuarios, posibles usuarios, consumo, todos ellos expuestos de forma mensual.

3.5.2 Cronograma

Tabla 3.3: Cronograma de actividades, parte 1

Descripción de la actividad	sep-23				oct-23				nov-23				dic-23				ene-24				feb-24				mar-24				abr-24			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Delimitación del tema	X	X	X	X																												
Elaboración de formato y estructura					X	X																										
Planteamiento de objetivos							X	X																								
Confección del Capítulo 1									X	X	X	X																				
Selección de bibliografía													X	X	X	X																
Elaboración del marco teórico																	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Elaboración de marco metodológico																													X	X	X	X
Dibujo de red en QGIS																																X
Corrección en AutoCAD																																
Elaboraión de tablas de Excel																																
Simulación de la red en EPANET																																
Selección de puntos estratégicos																																
Elaboración del cuadro de mando																																
Cálculo de pérdidas																																
Análisis y representación de los resultados																																
Conclusiones del trabajo																																
Integración de anexos																																
Revisión final																																

Fuente: Elaboración propia (2025).

Tabla 3.4: Cronograma de actividades, parte 2

Descripción de la actividad	may-24				jun-24				jul-24				ago-24				sep-24				oct-24				nov-24				dic-24			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Delimitación del tema																																
Elaboración de formato y estructura																																
Planteamiento de objetivos																																
Confección del Capítulo 1																																
Selección de bibliografía																																
Elaboración del marco teórico																																
Elaboración de marco metodológico	X																															
Dibujo de red en QGIS	X	X	X	X	X																											
Corrección en AutoCAD						X																										
Elaboraión de tablas de Excel							X	X																								
Simulación de la red en EPANET									X	X	X	X																				
Selección de puntos estratégicos												X	X	X	X																	
Elaboración del cuadro de mando													X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
Cálculo de pérdidas																								X	X	X	X					
Análisis y representación de los resultados																												X	X	X		
Conclusiones del trabajo																													X	X	X	
Integración de anexos																															X	
Revisión final																																X

Capítulo 4: Descripción del acueducto de la ASADA Pital

Para entender mejor el acueducto de Pital es importante describir el mismo de forma clara, con la ayuda del Señor Nerwin Nájera y el mapeo realizado en QGIS. Se determinan los elementos que componen el sistema de acueducto de Pital, así como las particularidades que tiene el mismo, ya que es un acueducto con cierta antigüedad y pocas renovaciones realizadas hasta el momento.

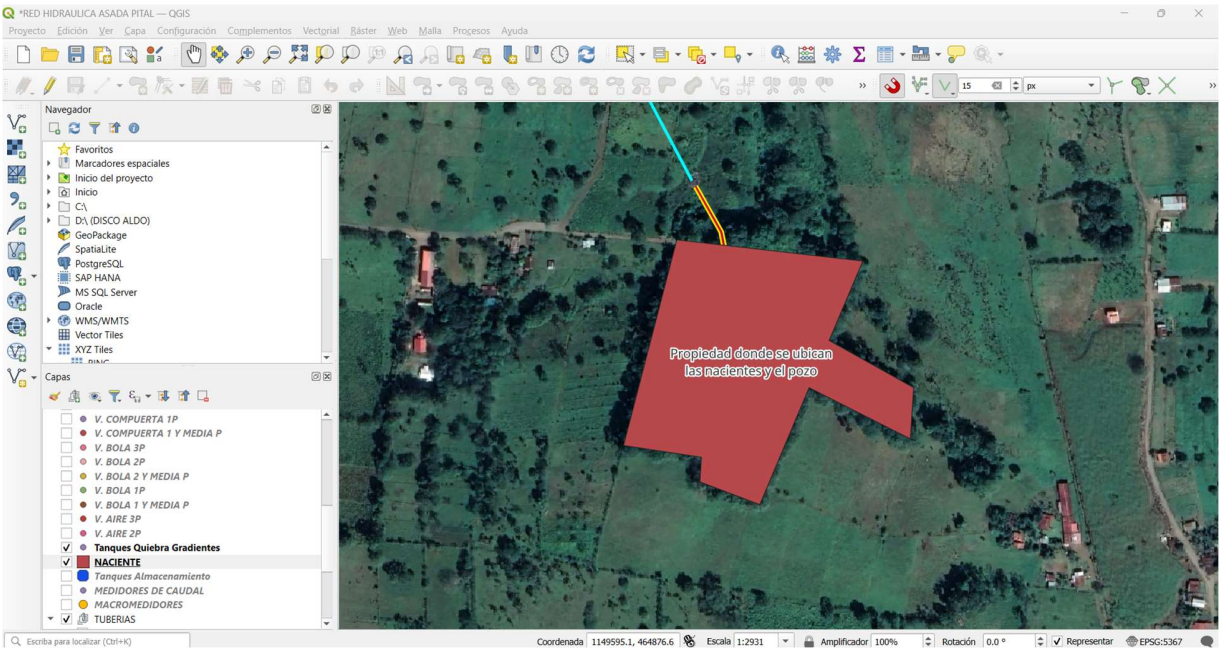
4.1 Componentes del acueducto de Pital

Dichos componentes son aquellos que integran el acueducto de la ASADA de Pital, desde las fuentes de agua, incluso aquellos elementos que ayudan a encausar el agua hasta los hogares de las comunidades abastecidas por dicho sistema de agua potable. Estos elementos comprenden a las nacientes, pozo, tuberías, tanques de almacenamiento, válvulas e hidrantes.

4.1.1 Fuentes de agua

Las fuentes de agua comprenden al agua cruda que se obtiene de los manantiales y el pozo encontrados en Esquipulas de Aguas Zarcas con coordenadas geográficas con proyección CRTM05 464607.9 Este y 1149335.5 Norte, según lo determina el programa QGIS respecto del mapeo realizado del acueducto de Pital. Estas fuentes de agua se ubican todas en una misma propiedad a nombre de La ASADA Pital, en donde se encuentra un total de 12 nacientes de agua y un pozo perforado de 30 m de profundidad. Todas las nacientes cuentan con sus captaciones construidas en concreto, mientras que el pozo está encamisado y cuenta con una caseta de bombeo.

Figura 4.1: Ubicación de la naciente del acueducto de Pital

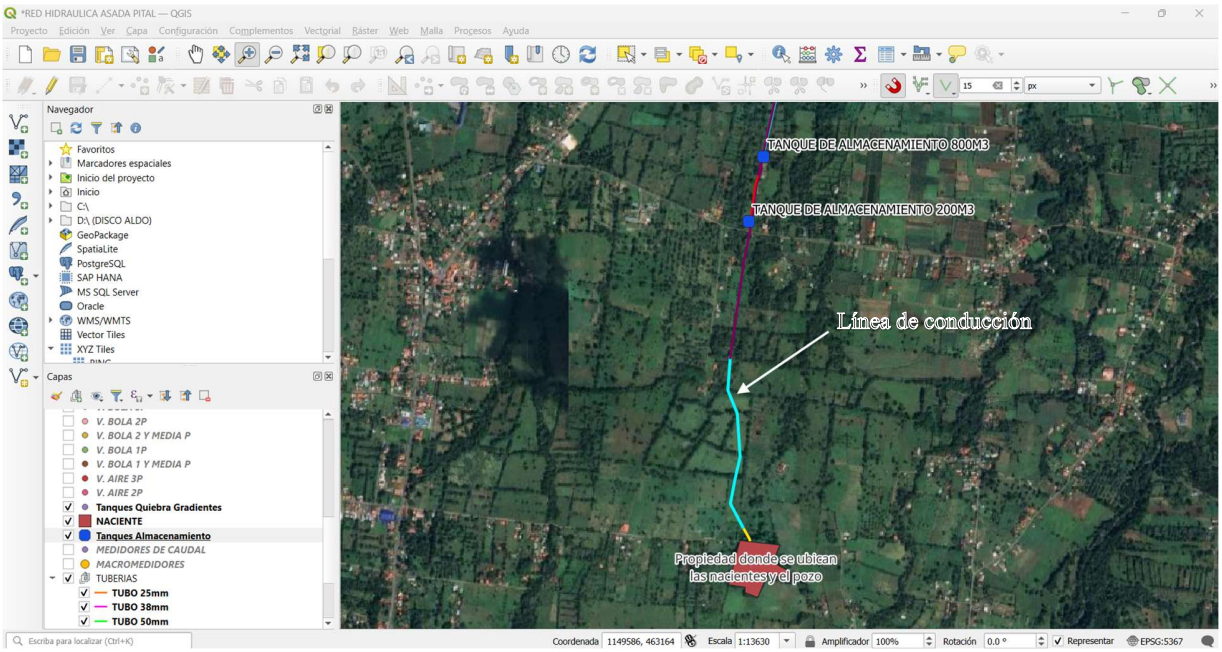


Fuente: Elaboración propia (2025).

4.1.2 Red de conducción

Esta inicia desde las nacientes y pozo reuniéndose en un tanque de almacenamiento o tanque de reuniones ubicado en la propiedad de las nacientes. Luego continúa desde dicho tanque hasta finalizar en un tanque de almacenamiento de concreto de 800 m^3 de capacidad. Este último trayecto consiste de dos tuberías de 250 mm de diámetro y con una longitud total de 1.79 km. Adicionalmente el sistema de acueducto cuenta con una línea de conducción de 150 mm de diámetro, que inicia de dicho tanque hasta el tanque de almacenamiento que abastece el sistema 2, con una longitud de 4.85 km, para un total de tubería de conducción de 4.85 km.

Figura 4.2: Detalle de la línea de conducción



Fuente: Elaboración propia (2025).

4.1.3 Red de distribución

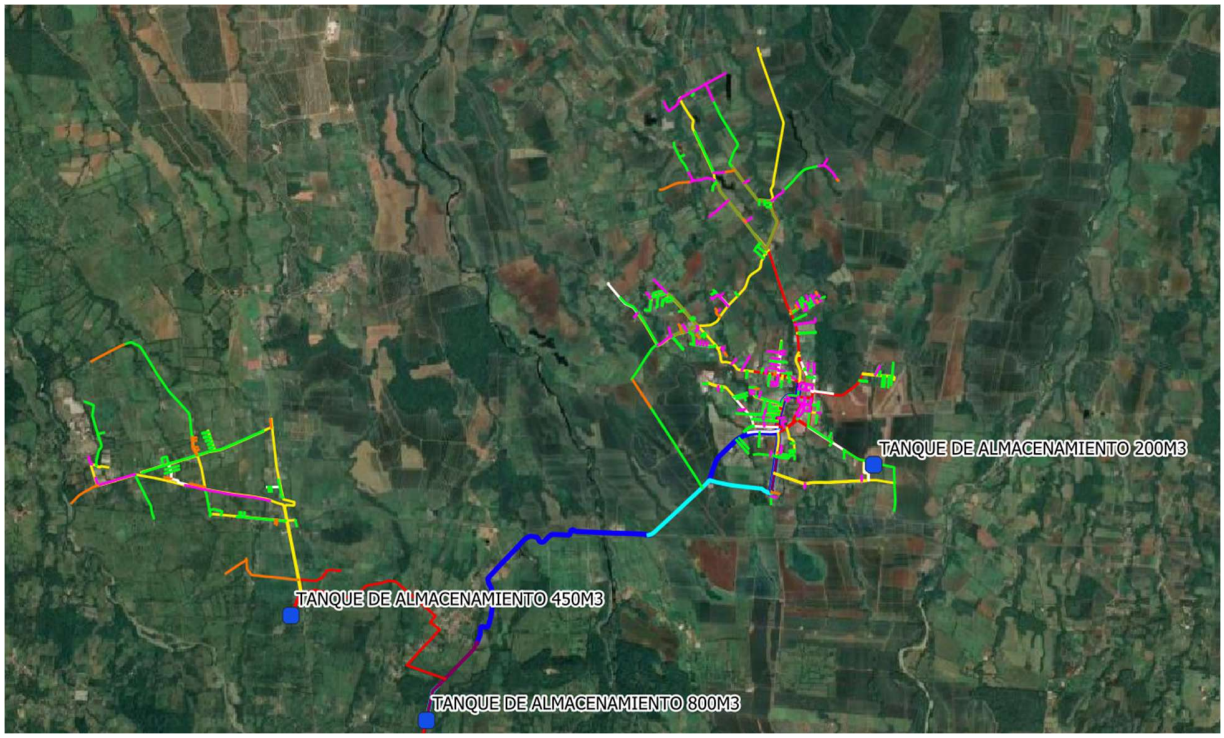
La red de distribución consta de dos sistemas denominados Sistema 1 (Pital) y el Sistema 1 (San José y Vuelta Kooper de Aguas Zarcas), con un total de 131.36 km de tuberías con diámetros que van dese los 300 mm hasta los 25 mm. Esta red de distribución recorre el Sistema 1 desde el tanque de 800 m^3, transcurre por la comunidad de Las Delicias de Aguas Zarcas, abastece los Barrios céntricos de Pital, hasta llegar al sector de Cuatro Esquinas de Pital. El Sistema 2 inicia desde el tanque que abastece este sistema, abasteciendo las comunidades de Vuelta Kooper y San José de Aguas Zarcas. En la **Tabla 4.1** se adjunta la distancia de tuberías que cuenta el acueducto de Pital, respecto de los diámetros existentes.

Tabla 4.1: Distancias de tuberías respecto al diámetro

Diámetro (mm)	Distancia (km)
300	6.98
250	4.33
200	4.3
150	15.75
100	30.24
75	4.81
63	4.32
50	32.96
38	13.27
25	5.07
Total	122.03

Fuente: Elaboración propia (2025)

Figura 4.3: Red de distribución del acueducto de Pital



Fuente: Elaboración propia (2025).

4.1.4 Tanques de almacenamiento

Existen 4 tanques de almacenamiento para abastecer el acueducto de Pital, además cuenta con un tanque de reuniones de 20 m^3, donde se congregan el agua de las nacientes y el pozo. Dos de los tanques de almacenamiento se encuentran en Pitalito de Aguas Zarcas, instalados en serie, primero uno de concreto asentado de 200 m^3, luego se encuentra el tanque de almacenamiento de mayor capacidad, teniendo 800 m^3 de volumen y también construido en concreto asentado. De este punto es que la red se divide en dos sistemas, por lo que los tanques restantes corresponden a uno ubicado en San José de Aguas Zarcas, con un volumen de 450 m^3 construido en acero vitrificado.

El tanque restante corresponde a un tanque de acero vitrificado de 200 m^3 de capacidad y está ubicado en Pital. Cabe mencionar que también existen dos tanques quiebra gradiente ubicados en La Comarca de Pital, uno al lado del otro, los cual están confeccionados en conceto asentado y poseen un volumen de 100 m^3 y 22 m^3. En la **Tabla 4.2** se resumen coordenadas, capacidad y materiales de cada tanque de almacenamiento.

Tabla 4.2: Tanques de almacenamiento del acueducto de Pital

Nombre del tanque	**Ubicación CRTM05 Este**	**Ubicación CRTM05 Norte**	**Capacidad (m^3)**	**Material**
Tanque 200 m^3	464570	1150910	200	Concreto asentado
Tanque 800 m^3	464637	1151206	800	Concreto asentado
Tanque 450 m^3	462676	1152706	450	Acero Vitrificado
Tanque 200 m^3	471071	1154870	200	Concreto asentado

Fuente: Elaboración propia (2025).

Figura 4.4: Tanques de almacenamiento del acueducto de Pital

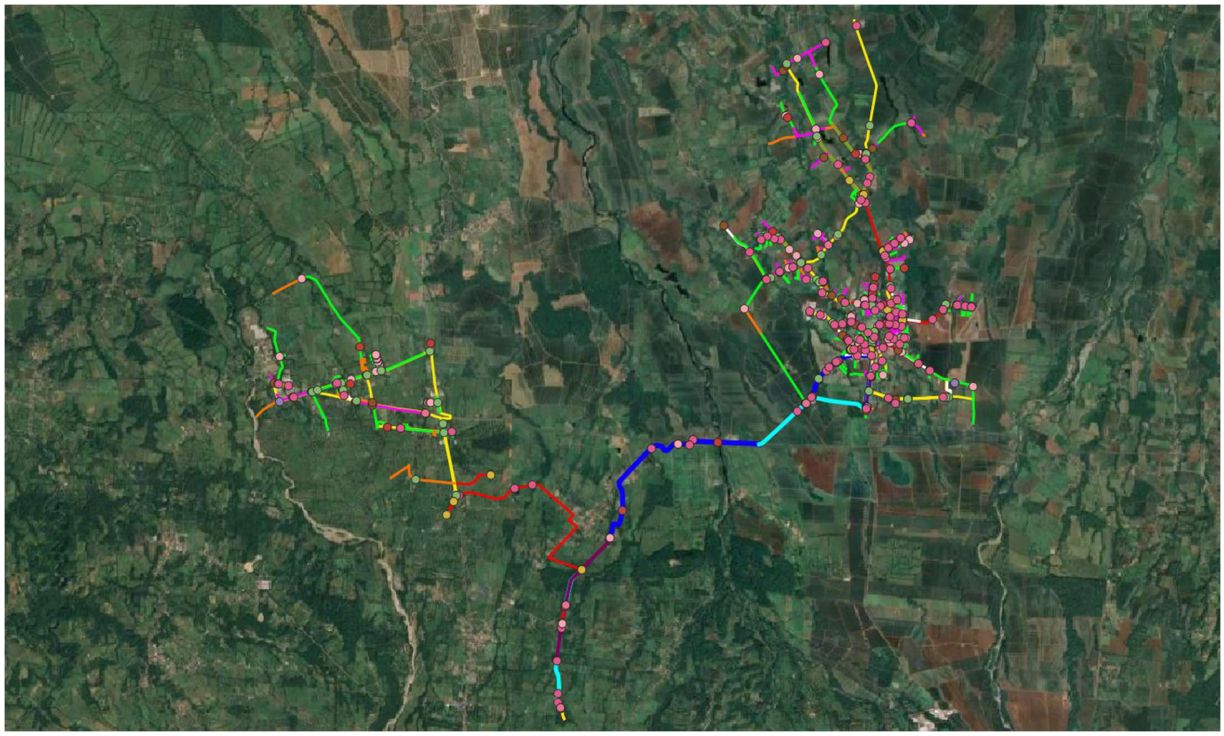


Fuente: Elaboración propia (2025).

4.1.5 Válvulas e hidrantes

La red de hidrantes con la que cuenta la ASADA de Pital está constituida por un total de 82 hidrantes, todos colocados en tuberías con diámetros superiores a los 100 mm para poder cumplir con las Ley 8228 de Bomberos y la Ley 8641 de hidrantes. Alrededor de todo el acueducto se encuentran instaladas válvulas de aire, válvulas de cierre y válvulas de lavado, en donde se contabiliza un total de 17 válvulas de aire, 162 válvulas de cierre de tipo Bola, 154 válvulas de cierre de tipo Compuerta y 19 válvulas de lavado.

Figura 4.5: Válvulas e hidrantes del acueducto de Pital



Fuente: Elaboración propia (2025).

4.2 Particularidades de este sistema de abastecimiento

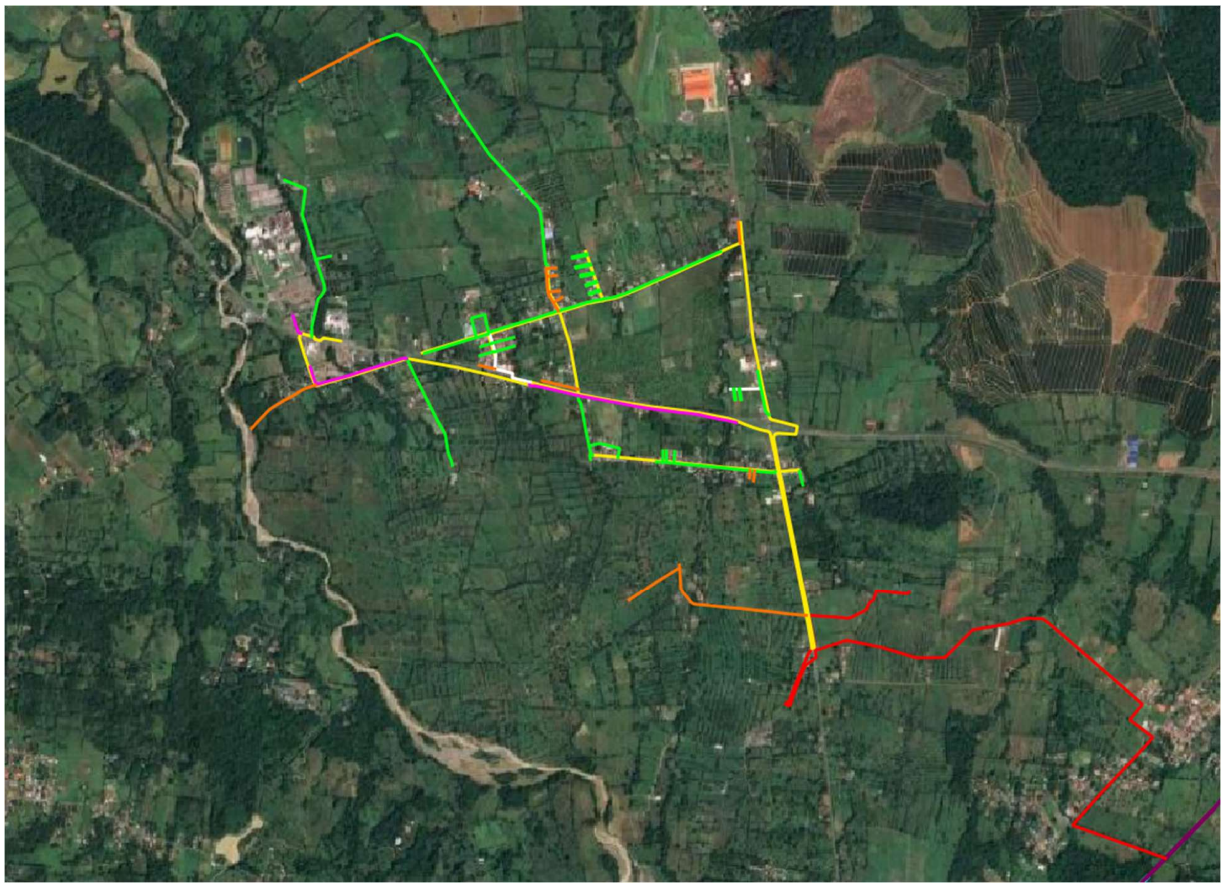
El acueducto de la ASADA de Pital, tiene varias particularidades que hacen que la identificación de cada elemento, el sentido del fluido en la red de tuberías, como la sectorización del acueducto sea un tanto complicado. Es necesario describir estas particularidades del mismo para entender la complejidad del sistema de abastecimiento para determinar la línea de acción de este trabajo sobre el acueducto.

4.2.1 Adición del sistema 2 (San José y Cerro Cortés de Aguas Zarcas)

Un detalle importante que modificó en gran medida el acueducto de Pital, fue la adición del sector de San José y Cerro Cortés de Aguas Zarcas, ya que el acueducto de dichas poblaciones

presentaba desabastecimiento de agua potable, lo que demandó por parte del AyA a que la ASADA de Pital asumiera dicho sector. Por ello aumentó la cantidad de usuarios y la cobertura de agua potable de la ASADA de Pital, convirtiéndose en prácticamente un sistema nuevo pero dependiente del sistema actual, pues comparten las mismas fuentes de agua.

Figura 4.6: Sistema 2 de San José y Cerro Cortés



Fuente: Elaboración propia (2025).

4.2.2 Unión de ramales de forma circundante

La particularidad del sistema más importante es la unificación de muchos ramales entre sí, donde al final de cada uno se conecta con otro, produciendo que no exista una sectorización clara

que permita dividir fácilmente el acueducto en sectores más reducidos, sin tener que hacerlo mediante válvulas de cierre durante la reparación de fallas o por mantenimiento de algunos sectores.

Figura 4.7: Ejemplo de unificación de ramales en sector de Cuatro Esquinas



Fuente: Elaboración propia (2025).

Como un ejemplo se presenta en la **Figura 4.7** un sector en donde se unifican dos tuberías dos tuberías de distribución principales de 100 mm (línea amarilla) y una tubería de 150 mm (línea roja), en donde el sentido del flujo de agua corresponde de abajo hacia arriba de la figura. La tubería de 100 mm transcurre desde el centro de Pital, abasteciendo un sector grande como la población de Cuatro Esquinas de Pital, para luego continuar hasta la población de Cuatro Esquinas de Pital, hasta llegar al sector marcado en la figura. La tubería de 150 mm abastece el centro de Pital, Barrio Divino Niño y Barrio El Jardín, para unirse luego con dicha tubería de 100 mm. Esto

dificulta el hecho de dividir la población que abastece un subsistema del otro, ya que al final se unifican en un punto en donde no debería ser necesario, impidiendo medir una posible agua no contabilizada en un sector pequeño, sin tener que incluir las demás comunidades abastecidas por la misma tubería. Este mismo ejemplo se presentan en 7 puntos más en donde se podría focalizar aún más el origen del agua no contabilizada si no existiera dicha particularidad.

4.3 Macromedición y micromedición implementada en el acueducto

Actualmente el acueducto de Pital cuenta con 3 macromedidores antes descritos, de la marca BOVE de tipo ultrasónico a granel B39 VW-M. Estos medidores de caudal se encuentran, dos en la salida del tanque de almacenamiento d 800 m^3 (Macro de 8 y Macro de 10) y el ultimo en la salida del tanque de 450 m^3 (Macro de 6). Actualmente se encuentran en funcionamiento de forma remota y en donde aportan datos de manera continua y en tiempo real, sin embargo la ASADA de Pital registra las mediciones de forma mensual. Respecto a la micromedición, se encuentra con una cobertura del 100% de los abonados actuales de la ASADA de Pital, contando con un total de 4156 micromedidores instalados. Últimamente la ASAD está implementando micromedición inteligente, con recolección de mediciones remotas mediante un receptor y la capacidad de los medidores inteligentes de suministrar estos datos al receptor de forma digital, sin embargo solo se ha implementado este tipo de micromedición en pocos usuarios.

Un detalle importante con la macromedición consiste en que no se puede analizar cada uno de forma independiente, ya que al existir dos macros a la salida del tanque de 800 m^3, para luego de una de las tuberías se abastezca el tanque de 450 m^3, en donde se encuentra el Macro de 6, para luego de esta unión de tee de la que se abastece el ultimo tanque, se unifiquen las tuberías con una

unión yee, obligando a analizar los macros de 8 y 10 en conjunto con la totalidad de los abonados de la ASADA de Pital, y omitiendo el dato del macro de 6.

Figura 4.8: Macromedidores de 10 y 8



Fuente: Elaboración propia (2025).

Figura 4.9: Macromedidor de 6



Fuente: Elaboración propia (2025).

Capítulo 5: Análisis e interpretación de los resultados

Es importante recordar el termino de macromedición y micromedición, pues estos datos son necesarios para el cálculo de parte de esta investigación. Además manejar el concepto de agua no contabilizada en conjunto de la pérdida económica son fundamentales para obtener el resultado final deseado. Los cálculos hidráulicos necesitan conocimiento del diseño de tuberías, así como el cálculo de caudales máximos y población de diseño para obtener dotaciones.

Si bien los cálculos hidráulicos son importantes, la utilización de programas como el EPANET para obtener los mismos, así como la representación de las coordenadas, elevaciones y distancias que genera el programa QGIS, y la implementación del cuadro de mando generado en Power BI para una mejor comprensión de los datos. Por ello a continuación se representan los resultados y se analizan para una mejor comprensión del objetivo de este estudio

5.1 Análisis de los resultados obtenidos

Realizado y utilizado todas las herramientas diseñadas para los distintas variables de investigación y las categorías de análisis, se procede a analizar cada resultado obtenido hasta este punto. Es importante demarcar que es mediante este análisis que se puede concluir el resultado de la hipótesis de la investigación.

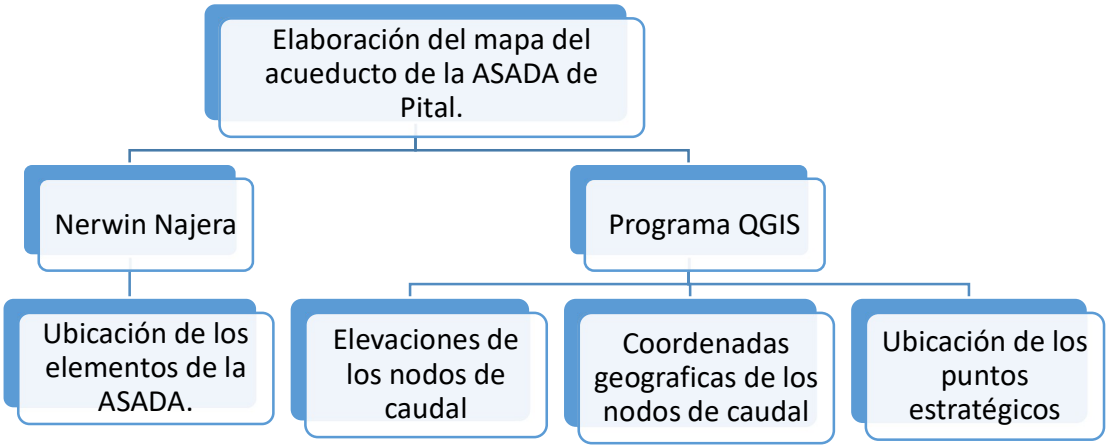
5.1.1 Mapeo en el programa QGIS y determinación de los puntos estratégicos

5.1.1.1 Mapeo de la red hidráulica y conversión de archivos para la simulación hidráulica

Una vez hecha la reunión de trabajo con el señor Nerwin Nájera (administrador de la ASADA de Pital), se concluyó con el levantamiento de todos los elementos que contiene el acueducto de la ASADA de Pital, en el programa QGIS. Cabe mencionar que el aporte realizado

por el señor Nájera fue de suma importancia ya que brindó un panorama muy aproximado sobre la ubicación de todos los elementos existentes en el acueducto de Pital, ya que cuenta con más de 9 años de labor como administrador de la ASADA, por lo que es quien más conoce del acueducto. En la **Figura 5.1** se muestra un esquema de lo realizado de forma resumida del proceso de mapeo del acueducto de Pital.

Figura 5.1: Esquema de elaboración del mapeo del acueducto de Pital



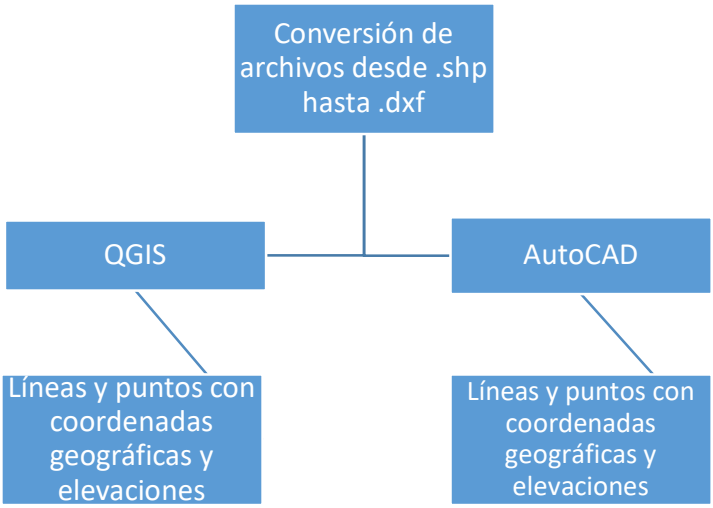
Fuente: Elaboración propia (2025).

Es gracias a esta labor que se obtuvieron las coordenadas de los elementos, necesarias para conseguir distancias de lo que se representa las líneas de tuberías en el mapeo, sin embargo, el QGIS, no puede representar las figuras geométricas con elevaciones en metros. La solución ante este problema se realizó utilizando un geo servicios de curvas de nivel que contiene el dato de elevación dentro de la información que se aporta en el archivo .shp que se carga. El Registro Nacional cuenta con un geo servicio que añade curvas de nivel con separación entre curvas de 5m, no es una solución que obtenga elevaciones exactas, pero aportó una aproximación de la elevación de cada nodo de caudal que se vaya a generar. Dichas elevaciones se utilizaron en la simulación hidráulica para la elevación en cada nodo de caudal.

Una vez ejecutada dicha solución se procedió a dibujar los archivos .shp de cada tubería los cuales se crearon respecto a cada diámetro existente en el acueducto de Pital, ubicando el trayecto de la tubería de acuerdo al conocimiento del señor Nájera. De esta forma se podo evitar la realización de un levantamiento topográfico con un costo elevado que en su momento la ASADA no puede costear, y mucho menos ambos investigadores. Las capas vectoriales de archivo shape que generó el QGIS permitió que se enlistara tanto el cálculo de las distancias de todas las tuberías, así como las coordenadas geográficas con proyección local CRTM05, calculadas también por el mismo programa.

5.1.1.2 Dibujo de AutoCAD en formato .dxf del acueducto de Pital necesario para el EpaCAD

Figura 5.2: Esquema de conversión de QGIS a AutoCAD



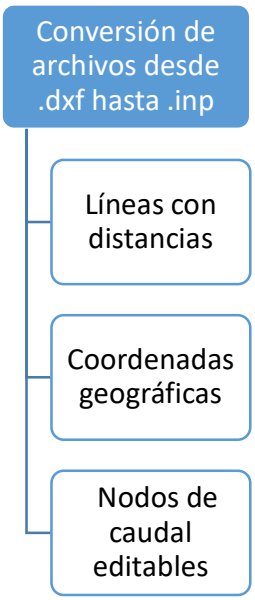
Fuente: Elaboración propia (2025).

Una vez se dibujó la red del acueducto de Pital en el programa QGIS, se procedió a obtener el archivo de dibujo de tipo dxf necesario para el siguiente paso. En la **Figura 2** se visualiza el proceso realizado para este punto de conversión de los datos. Dicho producto se obtuvo mediante

el SIG en donde el proyecto realizado con base en los archivos de tipo shp de líneas, se exportó a dicho archivo dxf, el cual, el mismo programa QGIS tiene capacidad de crear gracias a su versatilidad para generar distintos tipos de archivos.

5.1.1.3 Generación de archivos para modelación hidráulica

Figura 5.3: Esquema para la obtención de la modelación hidráulica



Fuente: Elaboración propia (2025).

La obtención del archivo dxf permitió que se pudiera obtener el archivo necesario para crear la simulación hidráulica en el programa EPANET, por ello en la **Figura 5.3** se representa el proceso que se realizó para conseguir este resultado. Para ello se utilizó el programa EpaCAD, el cual importa el tipo de archivo dxf y convirtió en un archivo de tipo inp. Se determinó en dicho programa que el tipo de conversión fuese mediante la identificación de cada vértice del dibujo como un nodo de caudal, y las líneas como las líneas de tuberías que genera el programa EPANET.

5.1.2 Cálculos hidráulicos y simulación hidráulica del acueducto de Pital

Dado que se pretendía realizar una simulación hidráulica en el programa EPANET, era necesario calcular primero los datos de consumo diario, respecto a la micromedición mensual de la ASADA Pital, para luego realizar los cálculos de caudales máximos, y una demanda base que se agregaría en cada nodo que se generó en la conversión de los archivos.

5.1.2.1 Población de diseño de la ASADA de Pital

Para realizar la simulación hidráulica es importante realizar el cálculo de la población de diseño de la ASADA de Pital, por lo que se procedió a utilizar el total de previstas con las que cuenta dicha ASADA. El procedimiento era simplemente multiplicar la cantidad de previstas por el factor de hacinamiento para el distrito de Pital, según lo que indica el Instituto de Estadística y Censos (INEC), el cual corresponde al valor de 3.81. En la **Tabla 5.1** se adjunta un resumen de los valores obtenidos.

Tabla 5.1: Resumen del cálculo de la población de diseño

Datos de la población de la ASADA de Pital	
Cantidad de servicios:	4156
Factor hacinamiento:	3.81
Población abastecida:	15835

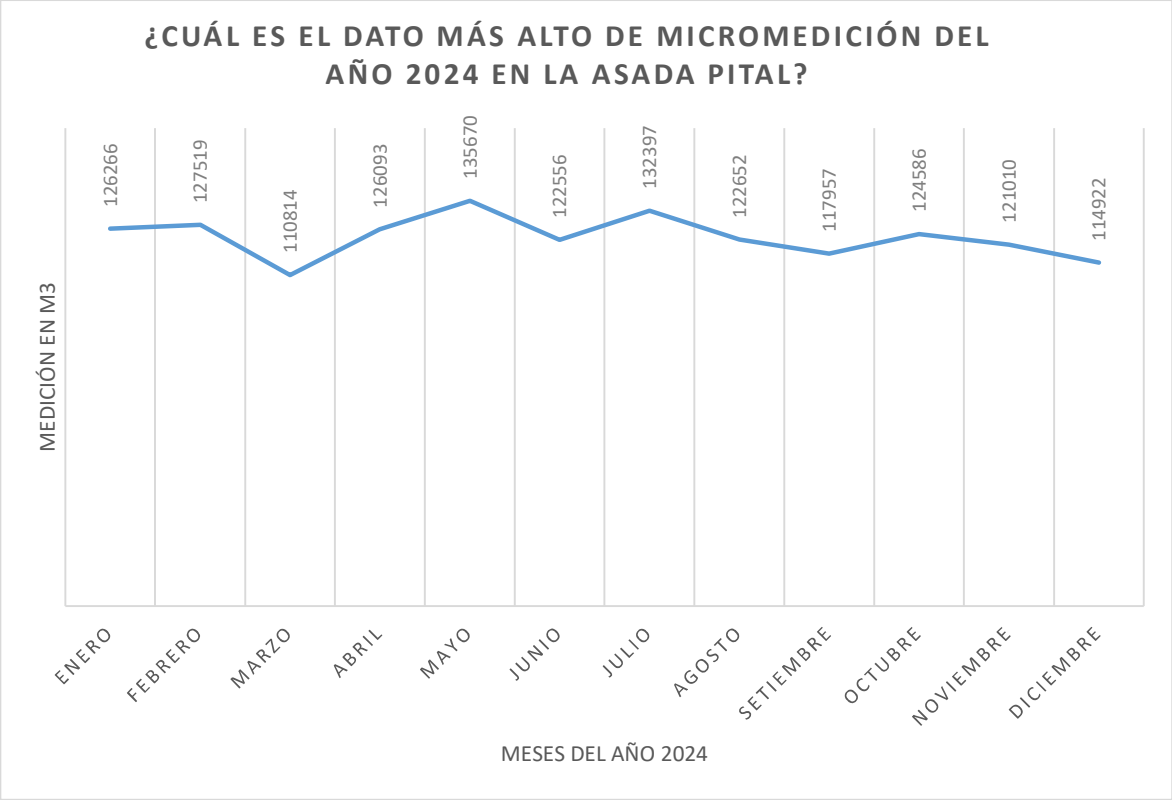
Fuente: Elaboración propia (2025).

5.1.2.1 Consumo y dotación más elevados presentes en el ASADA de Pital

Luego de la recopilación de información de datos de la ASADA de Pital, se obtuvo el dato más elevado de consumo en base a los registros que la misma tiene en lo que va del año 2024. En este punto se tabularon y compararon los datos en el gráfico de la **Figura 5.4** de los consumos

totales de cada mes para seleccionar el resultado más elevado siendo este el registrado en el mes de mayo con un valor de 135670 m^3.

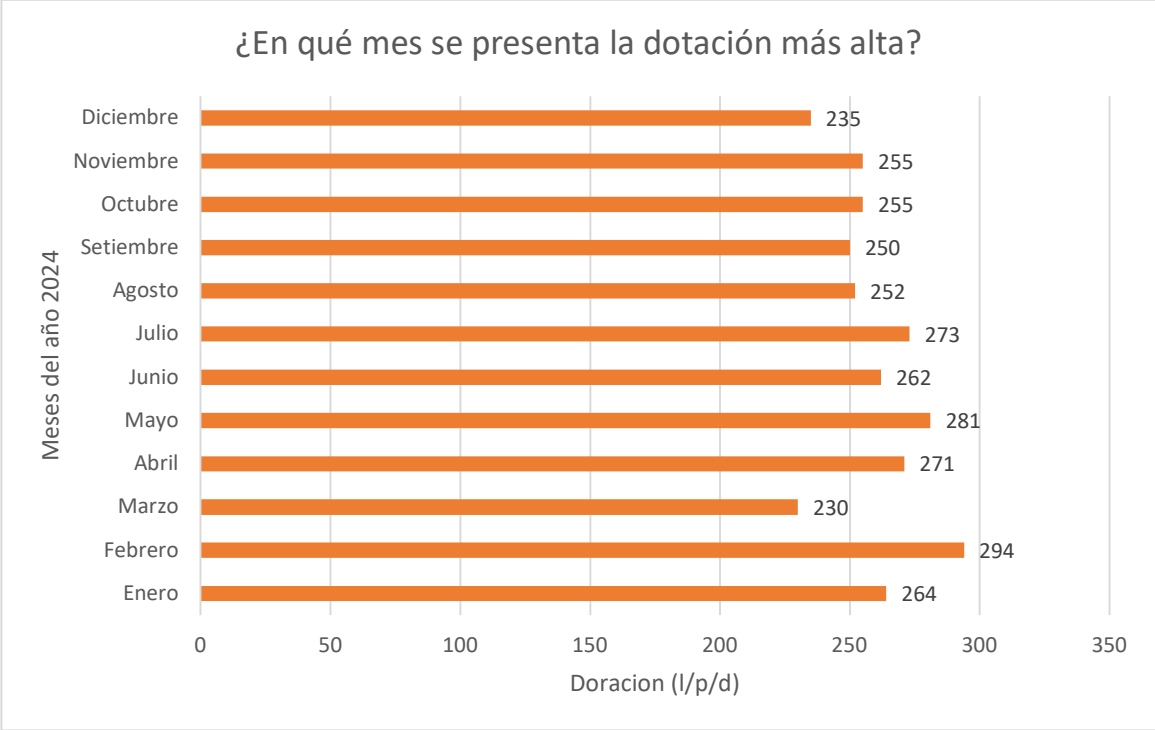
Figura 5.4: Gráfico de micromedición de la ASADA de Pital



Fuente: Elaboración propia (2025).

El procedimiento consecuente era simplemente obtener el caudal promedio diario presentado en cada mes del año 2024, el cual se obtuvo al dividir el consumo entre la cantidad de días que tiene cada mes, y dividido entre la población de la ASADA de Pital, o sea, multiplicando la cantidad de usuarios de cada mes por el facto de hacinamiento 3.81. finalmente se multiplicaba por 1000 l (litros) para realizar la conversión de metros cúbicos a litros. En el gráfico de la **Figura 5.5** se puede apreciar que no es coincidente al consumo más elevado presentado en mayo de 2024, en su lugar el valor de dotación más elevado se presenta en el mes de febrero.

Figura 5.5: Gráfico de dotaciones del año 2024 de la ASADA de Pital



Fuente: Elaboración propia (2025).

Este comportamiento se podría intuir respecto al comportamiento en la cantidad de usuarios que se cuentan en la ASADA de Pital durante todo el año 2024. Si bien el consumo es superior en el mes de mayo, durante el mes de febrero existen menos abonados respecto al mes de mayo, lo que se evidencia en el consumo. Por consecuente se puede entrever que se consumió más agua por usuario en el mes de febrero respecto a los demás meses.

Adicional a esto se puede analizar que los datos donde se obtuvo una mayor micromedición (mes de mayo) y una mayor dotación (mes de febrero) coinciden en que son meses de temporada seca donde el verano produce que las personas realicen un mayor desperdicio o aprovechamiento del recurso hídrico.

Una vez realizado este cálculo se aplicada la *Ecuación 2-13* para calcular el caudal máximo horario y diario del caudal promedio más elevado, presentado en el mes de febrero, utilizando como factores los presentados en la **Tabla 2.5**. Posterior a esto era necesario trasladar dicho dato en litros por segundo (l/s). Adicionalmente se calculó la demanda base la cual corresponde al caudal necesario para abastecer cada prevista. Este cálculo se realizó dividiendo el resultante anterior entre la cantidad de usuarios de la ASADA de Pital (4156). En la **Tabla 5.2** se adicionan los resultados descritos.

Tabla 5.2: Resultados de caudales de diseño

Caudales	
Caudal Promedio (L/s)	71.67
Caudal Máximo Diario (L/s)	86.01
Caudal Máximo Horario (L/s)	154.82
Demanda base (L/s)	0.038

Fuente: Elaboración propia (2025).

5.2.2.2 Simulaciones hidráulicas en el programa EPANET

La obtención de la simulación hidráulica era de suma importancia para este punto de este trabajo de investigación, pues muestra una radiografía de lo que se presenta actualmente en el acueducto de la ASADA de Pital. Por ello se realizó dicha simulación en el programa EPANET 2.0, el cual se logró realizar con la ayuda de la conversión del archivo .dxf de dibujo obtenido del mapeo del acueducto.

En la **Figura 5.6** se adjunta el resultado de la simulación hidráulica obtenida a raíz de lo trazado en el programa QGIS. En dicha simulación se representaron nodos de caudal con los valores de presión de acuerdo a los parámetros que establece el Instituto Nacional de Acueductos

y Alcantarillado (2017) en la norma técnica adjunta en el marco legal de este trabajo de investigación.

Los nodos representados en color azul, son nodos que se encuentran por debajo de los 0 mca, los nodos representados en color celeste, son nodos que se encuentran entre los 0 mca y 15 mca, los nodos representados en color verde son nodos ubicados entre los 15 mca y los 50 mca, mientras tanto todo nodo representado en color amarillo serían nodos con valores entre los 50 mca y 70 mca, finalmente, los nodos de color rojo presentan valores mayores a los 70 mca.

Analizando la modelación hidráulica realizada en EPANET, se puede mencionar que la mayoría de nodos presentan presiones negativas, con lo cual y según lo que establece la norma técnica del AyA, es un panorama que presenta riesgo para el buen funcionamiento del acueducto. Adicionalmente, en la **Tabla 5.1** se representa un rango de presiones y la cantidad de nodos que se encuentran en la representación de colores mencionada anteriormente. En la misma se confirma la cantidad de 936 nodos que se encuentran por debajo de los 0 mca.

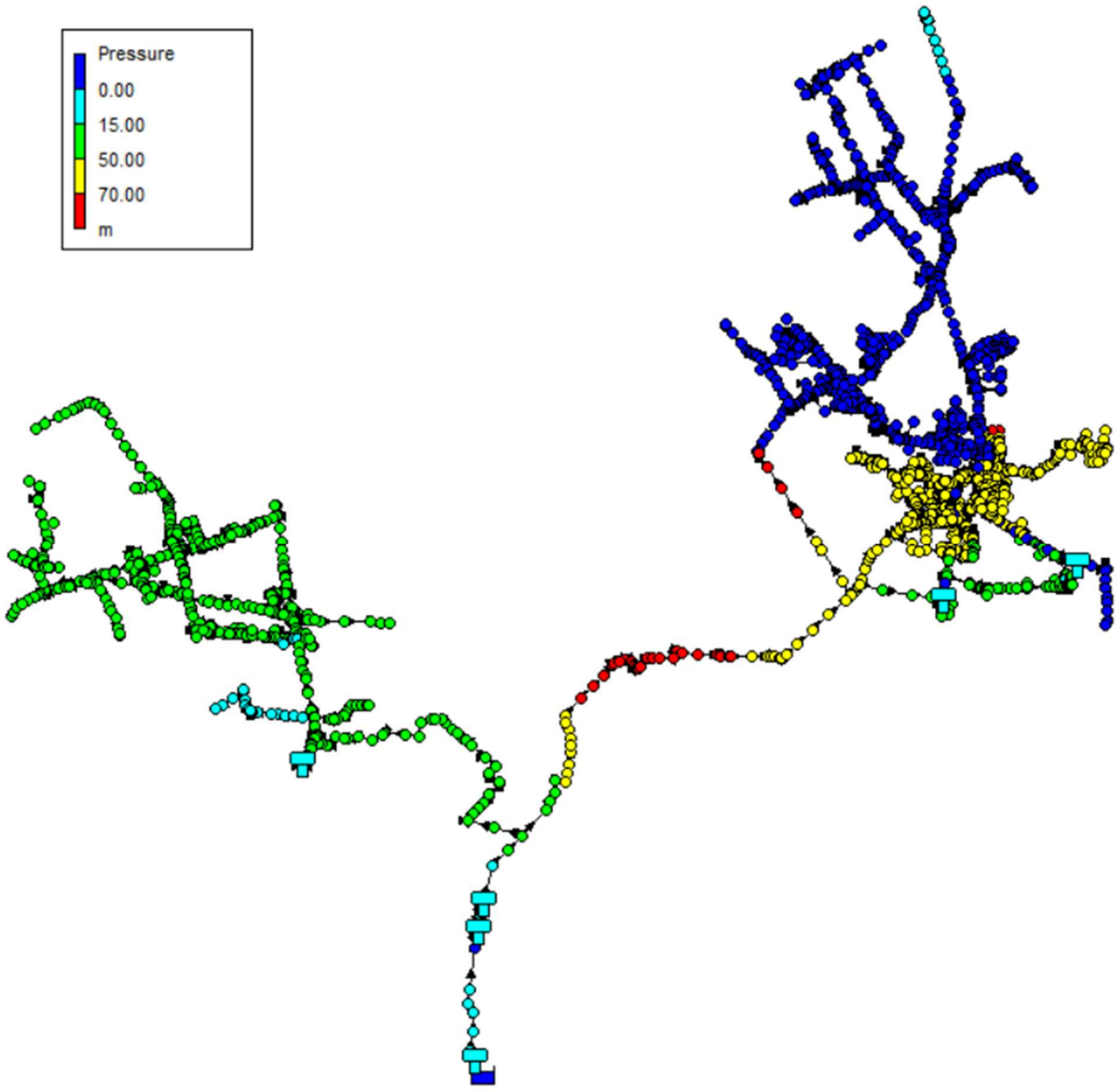
5.2.2.2.1 Presiones del acueducto de Pital.

El mayor problema que puede ocasionar estos nodos con presiones negativas es la posibilidad de que se está comprometiendo el servicio de agua potable, producto del ineficiente acueducto actual que tiene la ASADA de Pital en estos sectores. Éstas condiciones de deficiencia puede producir desabastecimiento a la población por bajas presiones, inclusive que la tubería sufra implosión en algunos tramos. El valor de presión negativa más bajo es de -79.22 mca.

Otro aspecto a resaltar, es que existen pocos nodos entre los 0 mca y 15 mca (89 nodos), así como entre el rango superiores a los 70 mca. Los nodos que superan los 70 mca son sectores donde se presentan presiones que generan un riesgo para posibles roturas de tuberías, donde el

valor más elevado es de 78.86 mca. Mientras que los nodos con presiones entre los 0 mca y 15 mca representan nodos donde se compromete el servicio de agua potable por presiones bajas.

Figura 5.6: Simulación hidráulica, condición dinámica del acueducto de Pital



Fuente: Elaboración propia (2025).

Tabla 5.3: Rango de presiones y cantidad de nodos de la simulación hidráulica

Rangos de presiones (mca)	Cantidad de nodos
< 0	936
0 < 15	89
15 < 50	603
50 < 70	603
70 <	35

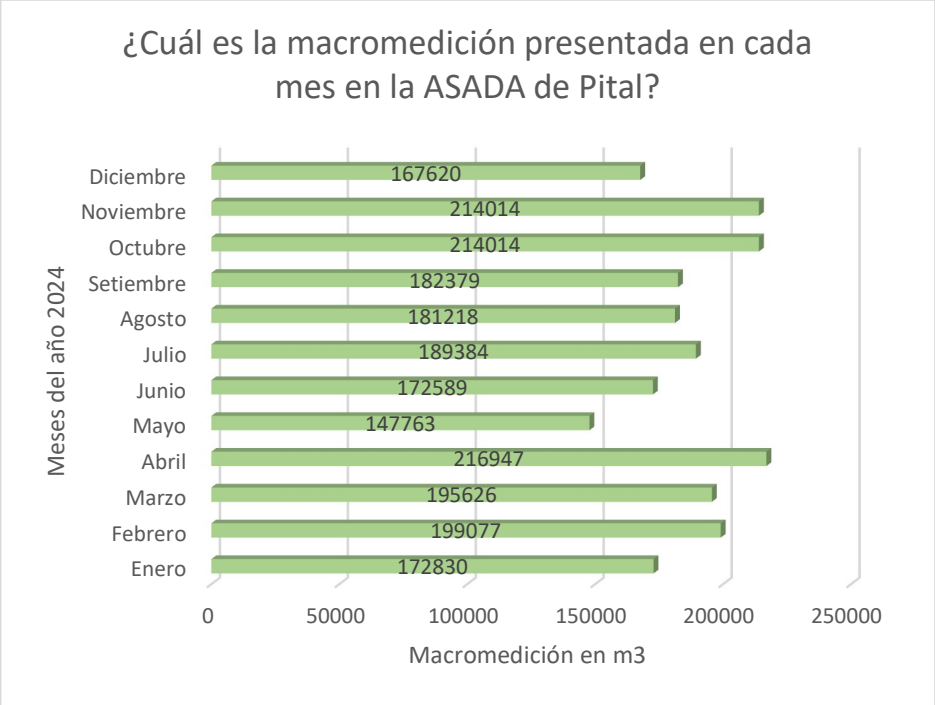
Fuente: Elaboración propia (2025).

Si bien, la mayoría de fugas de agua se dan por roturas en tuberías con sobrepresiones, en el acueducto de Pital se presentan pocos nodos que tienen sobrepresiones superiores a los 70 mca, sobrepasando por poco este valor, aunque esto no deja de presentar una amenaza para que sucedan roturas por sobrepresión, todo depende de la resistencia a la presión que cuentan las tuberías del acueducto de Pital que ya se encuentran instalas. El polo opuesto y más preocupante sucede con los nodos con presiones negativas, los cuales también presentan una amenaza para la rotura de las tuberías de estos sectores y produzcan un aumento en el agua no contabilizada, ya que se evidencia que es el problema más frecuente presente.

5.1.3 Resultado de la macromedición de la ASADA de Pital

Como se estableció anteriormente se determinó un solo punto en dende se obtendría la macromedición total, el cual era el tanque de almacenamiento de 800 m^3. Donde se sumarian los datos de cada mes del año 2024 de las mediciones realizadas por el Macro de 10 y el macro de 8. No se incluyó las mediciones del macro de 6, ya que no se podría determinar el caudal que se separaba de una de las líneas que continuaba hacia el resto del sistema de Pital, como se detalló anteriormente.

Figura 5.7: Macromedición de la ASADA de Pital



Fuente: Elaboración propia (2025).

En la **Figura 5.7** del grafico de los resultados de la macromedición, donde se evidencia que a diferencia de la micromedición de la **Figura 5.4,** el comportamiento de la macromedición no parece ser analógica respecto a las estaciones del año (época seca y lluviosa), en donde se pensaría que en época seca se usa más agua para consumo humano, cosa que pueda ser correcta pero no es el factor que se intuye afecta directamente en la misma.

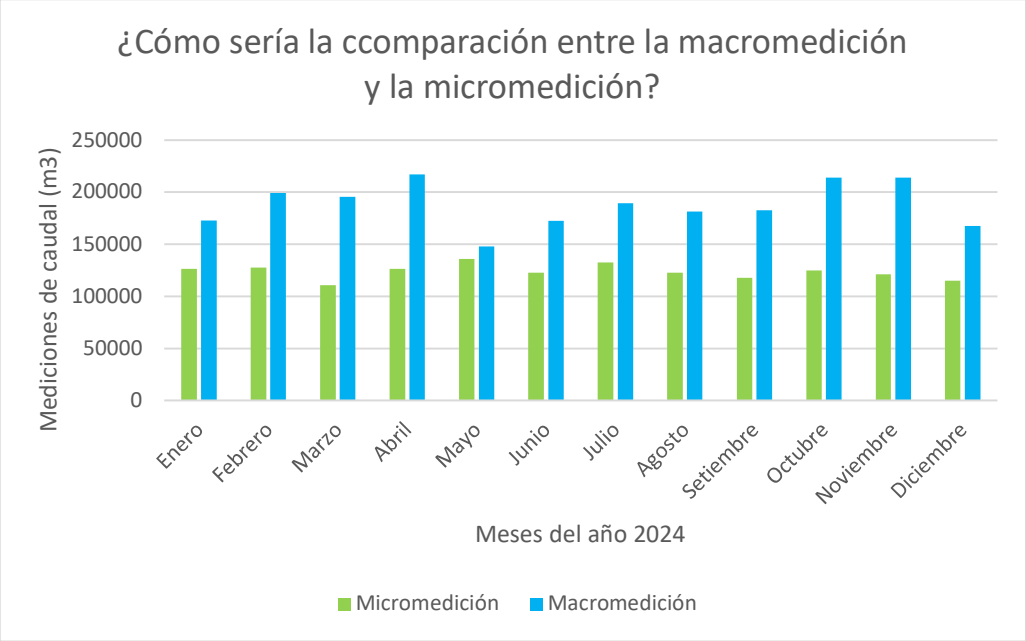
Esto se analiza de esta forma ya que como se observa en el gráfico el comportamiento no es tan marcado a través de los meses del año 2024. Por ejemplo, el dato de macromedición más elevado se presenta en el mes de abril con 216947 m^3, sin embargo, en los meses de octubre y noviembre se presentan otros dos datos casi tan elevados como el anterior, con 214014 m^3 cada uno coincidentemente.

Otro aspecto es que el mes de julio de invierno, y los meses de verano de marzo y febrero tienen valores similares, como también se pueden mencionar los meses de agosto y setiembre en invierno, y el mes de enero de verano. El mes de mayo es el mes en donde se presenta el registro más bajo, con 147763 m^3.

5.1.4 Comparación entre la macromedición y la micromedición.

Realizando una comparación de los datos de macro y micromedición, en el gráfico de la **Figura 5.8** se muestra cómo se representan estas diferencias entre las mediciones. Está claro que la macromedición es un dato más elevado, sin embargo la búsqueda del agua no contabilizada concientiza a que se pueda contemplar un menor desperdicio de agua y que no existan perdidas al no contabilizar esta agua desperdiciada. Estas diferencias representan al agua que no se contabiliza por la micromedición.

Figura 5.8: Diferencia entre macromedición y micromedición de la ASADA Pital

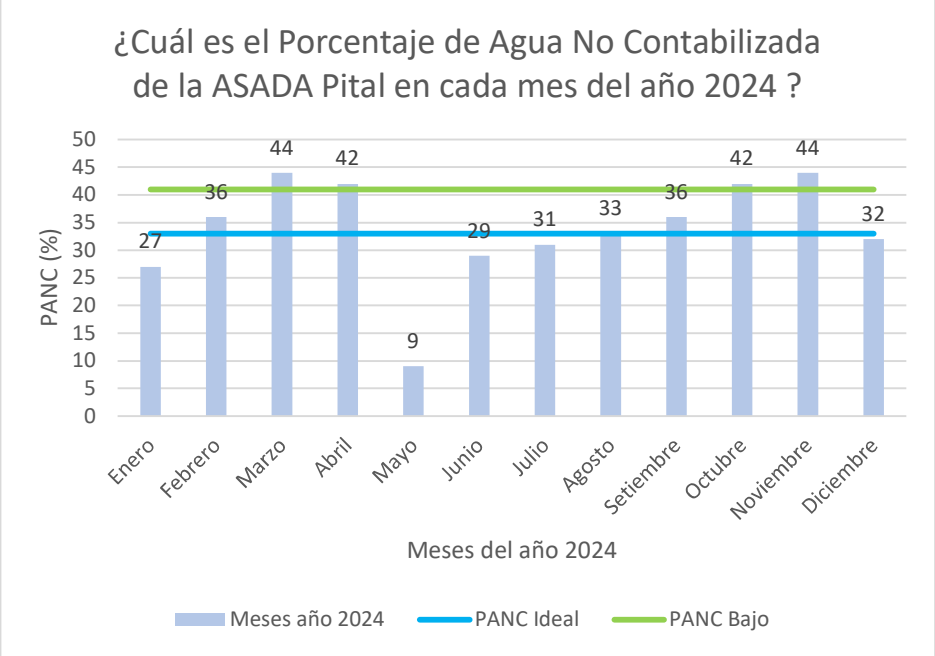


Fuente: Elaboración propia (2025).

El comportamiento presente en las comparaciones realizadas en los meses del año 2024, se encuentran algunos con diferencias muy amplias respecto del dato más alto correspondiente al de la macromedición, y el dato más bajo que corresponde al de la micromedición, donde se mencionan meses como los de marzo, abril, octubre y noviembre. El mes de febrero se encuentra cerca de dichos meses, mientras que el mes de mayo presenta datos casi iguales, manteniéndose la macromedición más elevada por un margen muy pequeño.

5.1.5 Porcentaje de agua no contabilizada de la ASADA Pital

Figura 5.9: Porcentaje de agua no contabilizada obtenida en cada macromedidor



Fuente: Elaboración propia (2025).

El gráfico de la **Figura 5.9** se demuestra el porcentaje de agua no contabilizada calculado utilizando la *Ecuación 2-1* utilizando la macromedición y la micromedición de cada mes del año 2024 de la ASADA Pital. Se colocaron dos líneas de tendencia representando los rangos del agua

no contabilizada que se exponen en la **Tabla 2.1**, donde los resultados encontrados debajo de la línea azul correspondían a los datos ideales de dicha tabla, entre la azul y la línea de tendencia verde, corresponden a los datos que se encuentran en el rango bajo de agua no contabilizada, y por ultimo los que se encuentran sobre la línea verde corresponden a los datos que se encuentran en un rango medio.

Los meses más altos que se presentan son los meses de marzo y noviembre con un 44% de agua no contabilizada. Los meses de abril y octubre presentan un porcentaje de 42% de agua no contabilizada cada uno, posicionándose en conjunto con los meses de marzo y noviembre, en un rango medio de agua no contabilizada. Estos meses eran los que se presentaban con la mayor diferencia entre macro y micromedición, confirmándose que debido a esto iban a presentar los datos más elevados de agua no contabilizada, según los rangos anteriormente descritos.

Solo se presentan dos meses que se encuentran en el rango bajo de agua no contabilizada, los cuales corresponden a los meses de febrero y setiembre, con 36% de agua no contabilizada cada uno. El resto de meses (enero, mayo, junio, julio, agosto y diciembre), se encuentran en el rango ideal de agua no contabilizada, siendo agosto el mes más alto de estos 6 meses con un 33% de agua no contabilizada. El mes más bajo y que se presenta como el más ideal, mayo es el mes de con un 9% de agua no contabilizada, convirtiéndose en un dato muy atípico y extremadamente bajo en comparación con los demás meses.

Analizando nuevamente las estaciones del año, no se le puede atribuir ni al verano o al invierno la presencia de los datos mayores de agua no contabilizada, ya que se presentan datos iguales tanto en invierno (octubre y noviembre) como en verano (marzo y abril), por lo que se descarta que este sea un factor de aumento del ANC. No se pueden determinar otros factores de aumento del agua no contabilizada durante los meses en que se presentó los porcentajes más

elevados, pues la ASADA de Pital no cuenta con registro de agua utilizada en mantenimientos o lavados, ni la detección de conexiones ilícitas, ni mucho menos una bitácora del agua desperdiciada en reparaciones de fugas.

5.1.6 Posible población que pudiese abastecerse con el agua no contabilizada

Determinar cuánto pierde la ASADA de forma económica es un análisis complicado dado que se habla de agua no contabilizada, en otras palabras, agua que no se tiene registro de qué forma se fugó del sistema de abastecimiento de agua potable. Es imposible, además, determinar con exactitud tan siquiera si el agua no contabilizada podría ser utilizad por servicios EMPREGO o DOMIPRE, para determinar pérdidas económicas según el tipo de tarifa que impone la ARESEP. Por ello se debe de entender que el agua no contabilizada es líquido que se está derramando del acueducto y no está siendo contabilizad para su facturación.

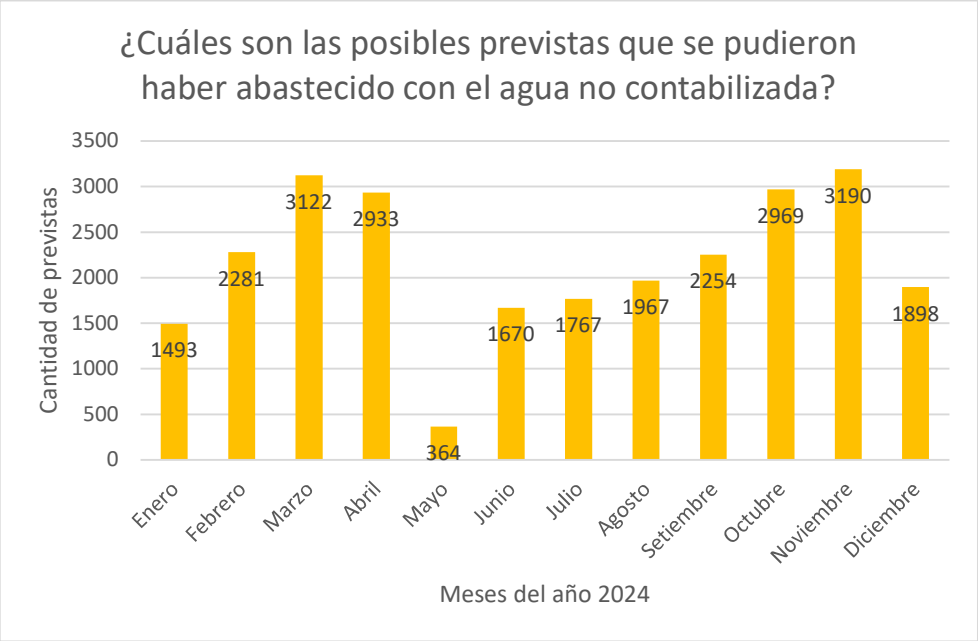
Si bien se puede mencionar que el agua que se desperdicia es simplemente agua que vuelve nuevamente a la naturaleza para volver al ciclo del agua, esta afirmación no sería ecológicamente correcta, ya que el agua no contabilizada de la ASADA de Pital, ya cuenta con el proceso de desinfección, que en este caso consiste en agregar cloro al agua cruda de las nacientes del acueducto de Pital.

El mismo proceso de desinfección se realiza justamente en el tanque de 800 m^3, donde se encuentran los macromedidores de 8 y de 10. El problema es que se estaría aportando agua clorada al medio ambiente que podría ser perjudicial para algunos elementos del mismo, ya que el cloro puede inclusive matar a algunos microorganismos y provocar un desequilibrio en la naturaleza.

Por esto es que debemos de pensar en que el cálculo de agua o contabilizada puede ayudar a una ASADA a encontrar soluciones para evitar que se desperdicie este tipo de agua trata y genere

un impacto al medio ambiente. Ya que esta agua es trata mediante proceso de desinfección, se pensaría que dicha agua sería utilizada para el posible consumo humano, por lo que un análisis que se realizó en base a toda la explicación anterior, es precisamente el de calcular la cantidad de usuarios que podrían ser abastecidos con esta agua no contabilizada.

Figura 5.10: Posible población que podría ser abastecida con el agua no contabilizada



Fuente: Elaboración propia (2025).

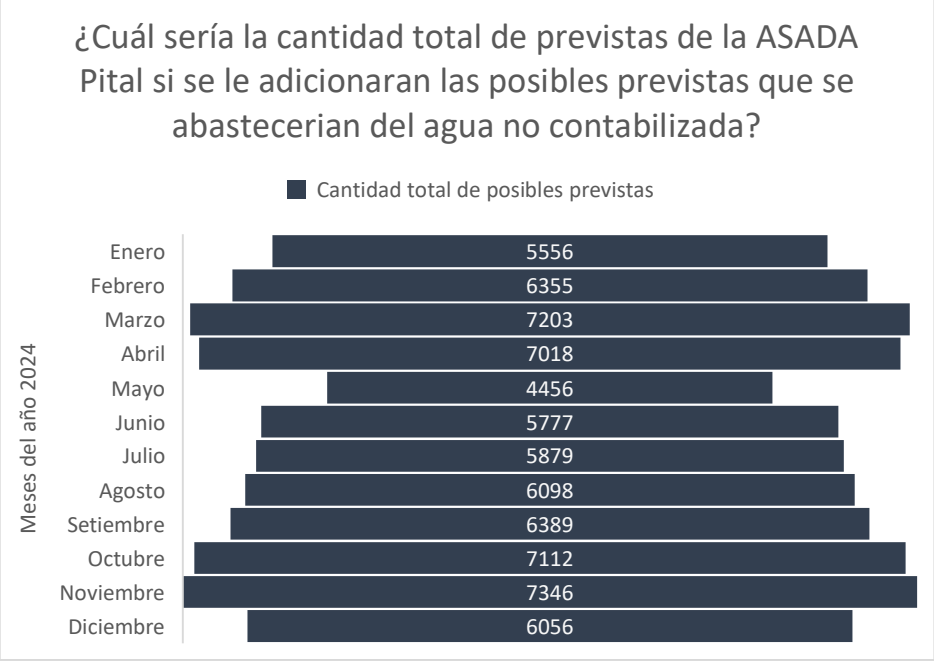
En la **Figura 5.10** se presentan la cantidad de usuarios de los que se pudieron haber abastecido en caso de que no se desperdiciara este tipo de líquido. El comportamiento en la cantidad de usuarios evidentemente es el mismo al del porcentaje de agua no contabilizada y el de la comparación realizada entre la macromedición y la micromedición.

Evidentemente en los meses de marzo, abril octubre y noviembre, son los meses donde más previstas se pudieron haber abastecido de agua potable, siendo el mes de noviembre en esta

ocasión, el mes donde más previstas se hubieran abastecido con una cantidad de 3190. El mes más bajo es mayo con un total de 364 previstas.

También, se puede determinar que estas previstas que se abastecerían hipotéticamente con el agua no contabilizada, se considerarían como un adicional de las previstas que cuenta actualmente la ASADA de Pital. Este análisis se podría interpretar como si se contabilizada en la micromedición la totalidad de la macromedición, en otras palabras se obtendría un porcentaje utópico de agua no contabilizada del 0%. Adicionalmente, si se considerara la cantidad de usuarios con los que contaba cada mes la ASADA de Pital, se puede decir que el aumento sería muy significativo en los meses de marzo, abril, octubre y noviembre.

Figura 5.11: Cantidad total de posibles previstas si se contabilizara el total de la macromedición



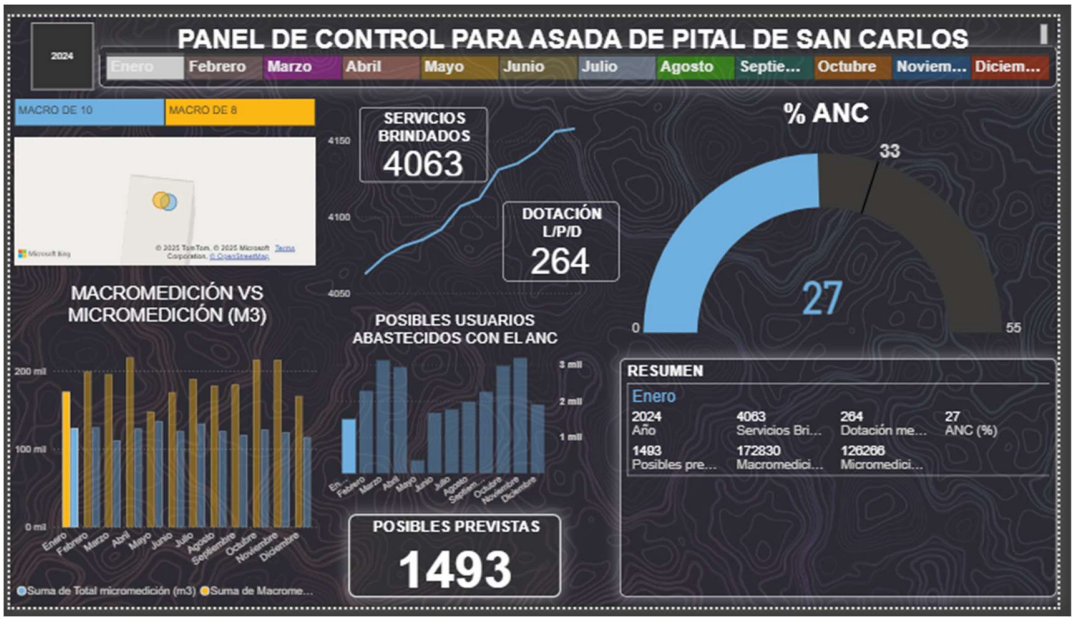
Fuente: Elaboración propia (2025).

Evidentemente la cantidad de previstas con las que se pudo haber contado en el mes de noviembre es el valor más alto, con u total de 7346 posibles previstas, manteniéndose de forma lógica también los meses de marzo, abril y octubre como los meses siguientes en mayor cantidad de posibles previstas. También, el mes de mayo pudiese aumentar de forma insignificante su cantidad de previstas con apenas 4456.

5.1.7 Cuadro de mando interactivo del agua no contabilizada en los puntos estratégicos

Se utilizaron las mismas tablas creadas en hojas de cálculo (Excel) por su compatibilidad con el Power BI, de las cuales, se aportaron los datos de macro y micromedición, el porcentaje de agua no contabilizada, posibles previstas abastecidas, todo esto de forma en que se puedan observar los datos de forma interactiva y ordenada.

Figura 5.12: Resultado final del panel de control elaborado para el acueducto de la ASADA de Pital de San Carlos, rango ideal.

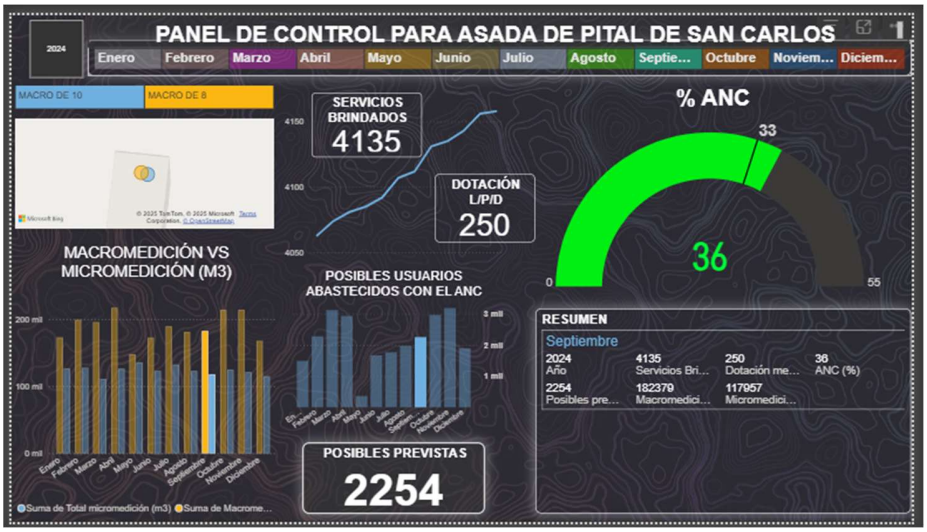


Fuente: Elaboración propia (2025).

Analizando más a detalle, ubicándose más hacia la parte superior del tablero, se encuentra un gráfico de línea, que señala el comportamiento del aumento en la cantidad de previstas que contaba la ASADA de forma mensual durante el año 2024, al igual se puede interactuar con este al seleccionar puntos sobre la misma línea desplegándose una etiqueta con la cantidad y el mes en estudio.

Sobre este grafico se encuentra una especie de tarjeta indicando la cantidad en un mejor tamaño del número de servicios brindados en el mes seleccionado y en la posición opuesta a esta, se encuentra otra tarjeta indicando la dotación de la ASADA según la selección del mes. En la posición inferior al gráfico anterior, se encuentra otro de barras apiladas, indicando los posibles usuarios adicionales al servicio brindado, que se podrían abastecer con solo el porcentaje de agua no contabilizada cada mes. Debajo de este una tarjeta que muestra el mismo dato de posibles previstas brindadas con el porcentaje de ANC, pero con un aumento en el tamaño de los números.

Figura 5.13: Resultado final del panel de control elaborado para el acueducto de la ASADA de Pital de San Carlos, rango bajo.



Fuente: Elaboración propia (2025).

Al costado derecho del tablero, se posicionó un medidor encargado de indicar el porcentaje de agua no contabilizada para cada mes seleccionado. En su sector central muestra un número entero equivalente al porcentaje de agua no contabilizada, sobre el cual se encuentra una curva con un rango de 0 a 55%, que se rellena o se vacía según sea el tamaño de dicho porcentaje de agua no contabilizada. A su vez, la misma barra curva, funciona como señal de alerta para el que maneje el panel de control, ya que esta cambia de coloración según sea el porcentaje del índice de agua no contabilizada, asignándose así una coloración celeste a los valores de 0 a 33 porciento (rango ideal), color verde de 34 a 41 porciento (rango bajo), color amarillo de 42 a 46 porciento (rango medio), color naranja de 47 a 52 (rango alto) y para valores mayores a 52 porciento el color rojo (rango muy alto), esto de acuerdo a los rangos de la **Tabla 2.1.**

Figura 5.14: Resultado final del panel de control elaborado para el acueducto de la ASADA de Pital de San Carlos, rango medio.



Fuente: Elaboración propia (2025).

Por último, en la esquina inferior derecha, se estableció un cuadro que funciona como resumen de los datos seleccionados, mostrando así el año, el mes, porcentaje de agua no contabilizada, macromedición, micromedición, servicios brindados y posibles servicios brindados. Lo que permite enlistar en forma de texto, absolutamente todo lo que en los gráficos del panel se indica, dando una vista más resumida y sencilla de toda la información.

Como se describió anteriormente, y como se observa en las anteriores figuras sobre el panel de control, este posee distintos gráficos u objetos visuales a disposición, así como lo son gráficos de micromedición mensual, macromedición mensual, dotación mensual, porcentaje de agua no contabilizada, y comportamientos de los servicios brindados y posibles previstas con el paso de los meses. Si se selecciona algún dato dentro de estos gráficos también van a interactuar los demás respecto a lo seleccionado, además Power BI cuenta con una opción para enfocar los datos respecto a la información que se esté demandando o que por alguna razón sea de urgencia visualizar.

En las figuras anteriores se pudo visualizar diferencias entre ellas, como lo fue el medidor del porcentaje de agua no contabilizada, el cual muestra colores diferentes debido a que cada figura representa meses diferentes, de modo que se nota un cambio sobre el enfoque de las partes de los demás gráficos dentro del mismo panel, lo que demuestra la interactividad entre los datos.

Al conectar las lecturas que generan los macromedidores con el dashboard, es necesario estar alerta con los cambios o alteraciones bruscas con el caudal en las líneas de conducción y distribución del acueducto y con los resultados de agua no contabilizada, por lo que se establecieron colores como el celeste, verde, amarillo, naranja y rojo, dentro de uno de los gráficos como señales de alarma sobre los datos que más requieran observación, con el fin de agilizar la acción y la toma de decisiones de la ASADA.

5.2 Aceptación o rechazo de la hipótesis

A sabiendas que el objetivo general de este trabajo de investigación es el de desarrollar un sistema que determine el agua no contabilizada de la ASADA de Pital, es importante culminar con este análisis de resultados evaluando si realmente se consiguió objetivo esperado, basado en la hipótesis inicial.

Inicialmente respecto a los datos que se obtuvieron con los medidores de caudal, fueron fundamentales y utilizados de la forma esperada, si bien no se logró incorporar de forma directa los datos enlazados con el cuadro de mando, se suministraron al mismo de forma manual, mediante gráficos y tablas de resultados.

La utilización de los programas QGIS y EPANET dieron su redito, respecto al primero se finalizó la georreferenciación del acueducto, solo con el único inconveniente que los datos de elevación se digitaron de forma manual con la ayuda de un geo servicio de curvas de nivel que brindó un dato aproximado pero verídico. El EPANET proporcionó la ayuda fundamental de la evaluación del acueducto respecto a las presiones y velocidades con respecto de lo que la Norma Técnica del AyA establece para sistemas de abastecimiento de agua potable.

El cuadro de mando se efectuó de manera estilizada, superando las expectativas en la demostración de los resultados obtenidos, aportando una interactividad y percepción de los datos muy apropiada para la comprensión de los mismos de forma fácil y resumida, de tal modo que cualquier funcionario de la ASADA lograse entender los mismos.

Respecto al agua no contabilizada, aspecto más importante a tener en cuenta en esta investigación, fue fácil de obtener una vez los engranajes anteriores estuviesen culminados. Se

obtuvo datos satisfactorios, donde inclusive se determinó una cantidad de usuarios posibles, que pudieran abastecerse con este porcentaje de agua no contabilizada.

Capítulo 6: Limitaciones, conclusiones y recomendaciones

A continuación se presentará una lista de las limitaciones que se manifestaron durante la elaboración del proyecto de acuerdo con los recursos al alcance, consecuentemente se establecen las conclusiones con relación a los objetivos e hipótesis propuestos y finalmente se establecerán las recomendaciones a partir de las conclusiones indicadas con el fin de promover nuevos conocimientos y mejores formas de hacer el trabajo.

6.1 Limitaciones

Con respecto al programa QGIS, este no habilita la opción de brindar elevaciones, por lo que estas se deben de estimar desde las curvas de nivel que brinda el sistema de geo servicio del catastro nacional, lo que proporciona una complicación a la hora de ingresar este valor de elevación, ya que es un dato obtenido a partir de una herramienta que no aporta una exactitud significativa, más sin embargo, para efectos de este proyecto es aceptable.

Otra limitante se presenta a la hora de determinar cada sector del acueducto, pues las interconexiones entre ramales que presenta la ASADA de Pital en su acueducto, hace imposible independizar ciertos sectores de otros, impidiendo focalizar de forma más precisa el agua no contabilizada, respecto a los lugares en donde puedan presentar un dato más elevado de agua no contabilizada. Esto se remarca aún más si se intentara obtener el porcentaje de agua no contabilizada por sectores del acueducto de Pital, lo cual no es posible primero por la mala sectorización del mismo y que por consecuente no permite la colocación de macromedidores de forma estratégica para obtener este dato de forma sectorizada.

El hecho que los datos que recolectan los macromedidores sea poco amigables con otras plataformas o cuadros de mando, como el desarrollado en este trabajo de investigación, presenta

una limitante para automatizar aún más la generación de dicho cuadro de mando, obligando a que se descarguen los datos y se carguen al cuadro de mando, esto para mantener actualizada esta plataforma de visualización de datos.

Otra limitante de la macromedición es el hecho que los medidores están ubicados en el tanque de almacenamiento de 800 m^3, por lo que esta medida se realiza en un tramo muy posterior de donde se encuentra las nacientes, por lo que genera incertidumbre respecto a la posible agua no contabilizada que hipotéticamente se pueda estar generando anterior a los medidores de caudal.

6.2 Conclusiones

En síntesis, el sistema creado en este trabajo de investigación es capaz de determinar el agua no contabilizada de una forma interactiva y correcta, para determinar cuánto es el agua que no se está registrando en la micromedición, produciendo una visualización de los datos, tal vez no de forma automatizada, pero sí de forma remota, al obtener los datos de macromedición por medio de conexión inalámbrica (internet).

El primer paso de este trabajo de investigación era el de lograr generar una representación geográfica del acueducto de Pital, aspecto logrado de forma oportuna. Si bien no se pudo extraer el dato de elevación de los nodos de caudal, de forma automática, el método usado fue adecuado, aportando el dato de forma aproximada, consiguiendo datos de elevación, distancia y coordenadas geográficas de dichos nodos de caudal.

La modelación hidráulica a partir de la georreferenciación de los nodos de caudal fue un paso sencillo, determinando presiones y velocidades en el acueducto de Pital, para evaluar el mismo respecto a la Norma Técnica del AyA. Adicionalmente, los cálculos realizados en base a los datos aportados por la ASADA (macromedición, micromedición y cantidad de previstas),

además de generar un resultado para esta investigación, fueron parte importante en la modelación hidráulica para adicionar los datos de consumos y que el programa EPANET necesitaba.

Un aspecto importante era la obtención del agua no contabilizada por medio de los medidores de caudal, lo que se logró de forma exitosa ya que los datos se generaron en una hoja de cálculo de Excel, facilitando la incorporación de los mismos. El cuadro de mando se concluyó de forma interactiva, integrando todos los cálculos realizados, sin embargo, no se pudo automatizar respecto a los datos generados por los medidores inteligentes.

Finalmente, producto del porcentaje de agua no contabilizada de la ASADA de Pital obtenida, se supuso una cantidad de posibles usuarios que se podrían ver beneficiados si esta agua no contabilizada se registrara de forma contraria, o sea, se adicionara al dato de la micromedición, por lo que el cálculo fue sencillo pero satisfactorio y deseado.

6.3 Recomendaciones

Es indispensable que la ASADA logre separar de forma adecuada cada sector si quisiera a futuro poder determinar el porcentaje de agua no contabilizada de forma más focalizada. Esto para determinar que sectores están presentando mayor problema respecto al agua no contabilizada y tomar acciones correctivas en base a las características de cada sector.

También, es fundamental que la ASADA tome acción en aplicar algunas prácticas no realizadas en la misma, para determinar el agua no contabilizada, como ejemplo la bitácora de reparaciones, en donde se trate de medir el agua utilizada para el mantenimiento de tanques y captaciones, con la ayuda de medidores de caudal. Además, tener registro de bomberos del agua utilizada en hidrantes. Otro aspecto relevante es el de calcular el agua desperdiciada en reparaciones, así como la sustitución de tubería nueva.

Si se quisiera continuar utilizando el cuadro de mando para una mejor gestión de la ASADA, es recomendable adicionar los datos de micromedición, macromedición y usuarios de la ASADA de forma mensual, ya que el sistema no está automatizado y es necesario realizar esto de forma manual. Adicionalmente, si se adoptan las practicas antes mencionadas es importante modificar dicho cuadro de mando de forma que se adicionen los datos de agua contabilizada no contemplada en micromedición.

Finalmente, es importante mantener actualizado el acueducto, en forma de que se si se realizan modificaciones o sustituciones de tuberías, es necesario plasmar dichos cambios en los programas como el EPANET, AUTOCAD y QGIS, así como adicionar también aquellas ampliaciones de la zona de cobertura de la ASADA como la construcción de nuevos ramales de tuberías, instalación de nuevas previstas, o adjudicación de otros acueductos en caso extraordinario. Si bien, el ANC es casi imposible de eliminar, si existe gran potencial para poder reducir este dato con la implementación de todas las buenas prácticas antes mencionadas.

Referencias

Abarca, M.A. y Rodríguez, D. (2017). *Guía básica para la reducción del agua no contabilizada*. San José, Costa Rica: Grupo Nación.

ArcGIS Online. (s.f). *Capas*. Recuperado de https://doc.arcgis.com/es/arcgis-online/reference/layers.htm

ArcGIS Online. (s.f). *Mapas Web*. Recuperado de https://doc.arcgis.com/es/arcgis-online/reference/what-is-web-map.htm

ArcGIS Online. (s.f). *Qué es un cuadro de mando*. Recuperado de https://doc.arcgis.com/es/dashboards/latest/get-started/what-is-a-dashboard.htm

Baptista, P. Fernández, C y Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación* (6a ed.). México: McGraw-Hill Education.

Berdugo, M. Blyther, M. Buck, A. Hart, M. Inbar, P. Minger D. Patel, M. Sharabi, K. Sherer, T y Sparkman, M. (22 de marzo de 2024). ¿Qué es Power BI? [Mensaje en un blog]. Recuperado de https://learn.microsoft.com/es-es/power-bi/fundamentals/desktop-what-is-desktop

Bove Technology. (s.f). *B39 VW-M Macromedidor Ultrasónico de Agua*. Recuperado de https://es.bovetech.com/Products_17_MacromedidorUltras%C3%B3nicodeAgua.html

Calderón, J. (2012). *Método de detección y ubicación de fugas, en ductos de gran longitud, mediante velocidad de propagación de onda de presión negativa, en ductos con mediciones de presión multipunto.* (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico y de estudios superiores de Monterrey, Monterrey, México.

Carbonell, A, y Martínez, F. (2006). Combinación de Modelos Matemáticos y SIG para la Gestión Eficiente de Redes de Distribución de Agua. *Researchgate*, 1-16. DOI: 10.13140/RG.2.1.2963.8162

Castro, D. C. (2021). *Análisis de escenarios de abastecimiento en el acueducto de Las Juntas de Abangares mediante un modelo hidráulico de la red de distribución* (Tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica. San José.

Corcho, F y Duque, J. (Ed). (2005). Acueductos: teoría y diseño. Medellín: Sello Editorial Universidad de Medellín.

Coronel, L. Gómez, J, y Jaramillo, H. (2020). Sistema para detección de fallos críticos en tuberías horizontales. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada,* 1(35), 44-51.

Dassau, O. Sutton y M. Sutton, T. (Ed.). (2009) *Una Introducción fácil a GIS*. Recuperado de https://qgis.org/es/site/about/index.html

Decreto Nº 42582 Reglamento de las asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados comunales. Diario oficial La Gaceta, San José, Costa Rica, 4 de setiembre de 2020.

Esri. (s.f.). *¿Qué son los SIG?*. Recuperado de https://www.esri.com/es-es/what-is-gis/overview

Fragoso, L. Flores, Z. Juárez, A, y Ruiz, J. (2013). Sistema para control y gestión de redes de agua potable de dos localidades de México. Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 34(1). Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1680-03382013000100009

García, L. (1999). Teoría de la medición de caudales y volúmenes de agua e instrumental necesario disponible en el mercado. En Ballester, A. Fernández, J. & López, J. (Ed). *Medida y evaluación de las extracciones de agua subterráneas* (pp. 21-42). Madrid, España: Instituto Tecnológico Geominero de España.

Granados, G (2002). *Hidráulica aplicada flujo a presión*. Universidad Nacional de Colombia: Cartagena

Gonzáles, R. G. (2015). *Metodología de evaluación de parámetros operativos en el Acueducto metropolitano para priorizar sus Sistemas* (Tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica. San José.

Harder, C. (Ed). 2015. *The ArcGIS Book* [The ArcGIS Book]. Redlands, Caifornia: Esri Press.

Hemant, A. Inbar, P. Martis, J. Minger, D. Patel, M. Piesco, J. Sherer, T y Sparkman, M. (23 de noviembre de 2023). Introducción a los paneles para los diseñadores de Power BI. [Mensaje en un blog]. Recuperado de https://learn.microsoft.com/es-es/power-bi/create-reports/service-dashboards

Herrera, A. Mamani, I, y Rodríguez, C. (Octubre de 2019). SMARTWATER para la detección de fugas de agua. En M. Arroyo y P. Pesado (Coordinadores), *XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación.* Simposio llevado a cabo en el XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Rio Cuarto, Argentina.

Herrera, I. León, G. López, S. Puello, C, y Ramírez, P. (Setiembre de 2022). Desarrollo de software para localizar fugas en tiempo real en líneas de conducción de agua potable. *Jóvenes en la Ciencia*, 16, 1-16.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado. (2017). *Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial*. Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado. (18 de setiembre de 2020). AyA establece ruta para reducir agua no contabilizada. *Proyectos*. Recuperado de https://websolutionss.aya.go.cr/WebNoticiasAYA/TNotNoticias/DetalleTitulo/AyA-establece-ruta-para-reducir-agua-no-contabilizada-176

Ley Nº 8228 Ley del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica. Diario oficial La Gaceta, San José, Costa Rica, 19 de marzo de 2002.

Ley Nº 7593 Ley de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP). Diario oficial La Gaceta, San José, Costa Rica, 9 de agosto de 1996.

Ley Nº 8641 Declaratoria del servicio de hidrantes como servicio público y reforma de leyes conexas. Diario oficial La Gaceta, San José, Costa Rica, 11 de junio de 2008.

Olaya, V. (2020). *Sistemas de información geográfica*. Recuperado de https://volaya.github.io/libro-sig/

QGIS. (s.f.). *QGIS - El SIG Líder de Código Abierto para Escritorio*. Recuperado de https://docs.qgis.org/3.28/es/docs/gentle_gis_introduction/introducing_gis.html

Resolución RJD-101-2014 Reglamento técnico para la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado e hidrantes. Diario oficial La Gaceta, San José, Costa Rica, 18 de setiembre de 2014.

Rocha, A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*. Universidad Nacional de Ingeniera: Perú.

Rossman, L. (2001). *Epanet 2 manual de usuario*. US Environmental Protection Agency: Ohio.

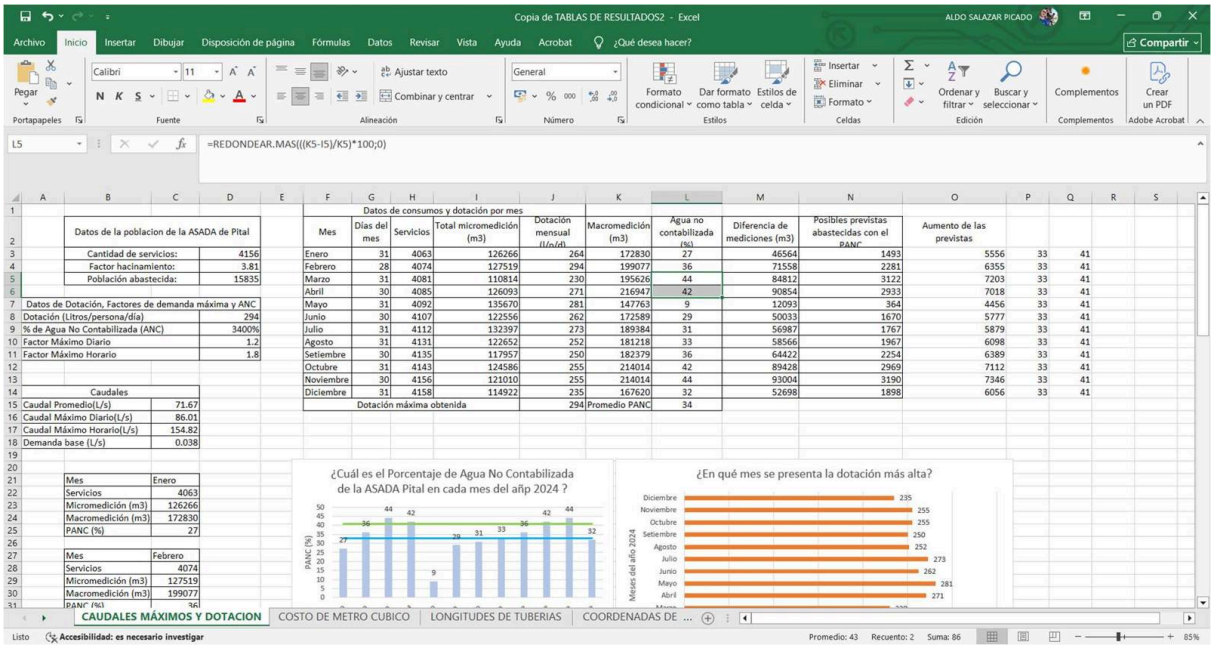
Sánchez, K. (2012). *Análisis hidráulico del Acueducto del Gran Puntarenas* (Tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica. San José.

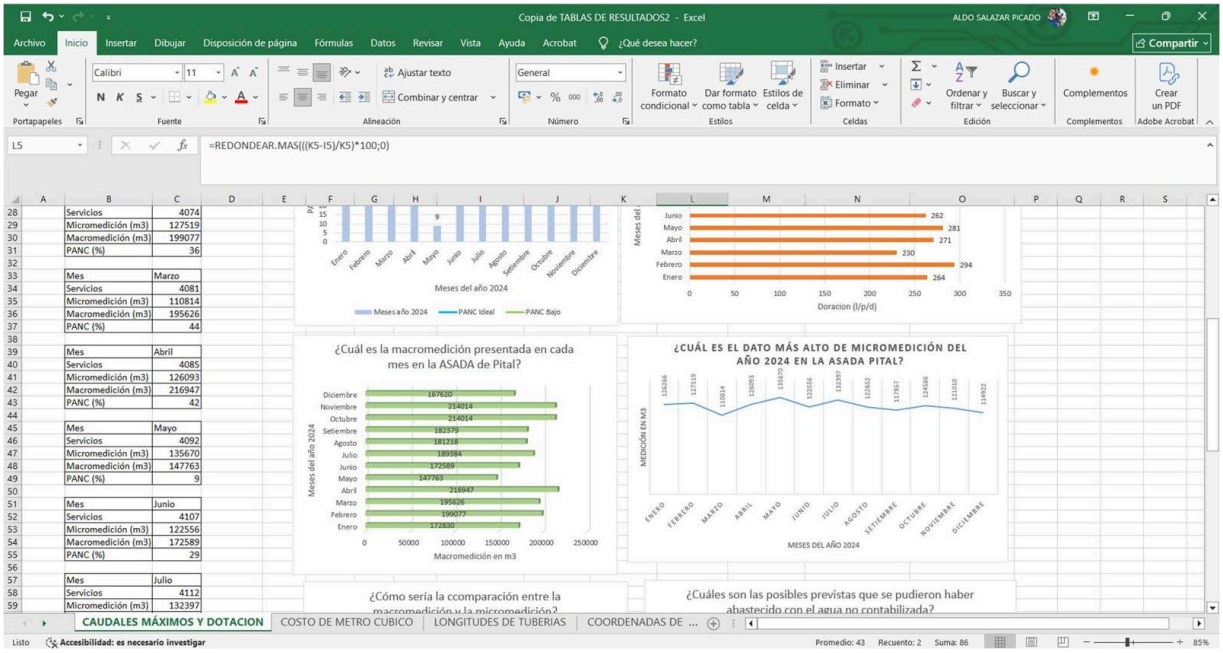
Superintendencia de Telecomunicaciones. (2021). *Sobre solicitud de homologación del dispositivo medidor ultrasónico para agua, marca: Bove Technology, modelo: B39 VW-M, versión de hardware: WM1058 V1.2, versión de software: 2.27.2.* San José: SUTEL.

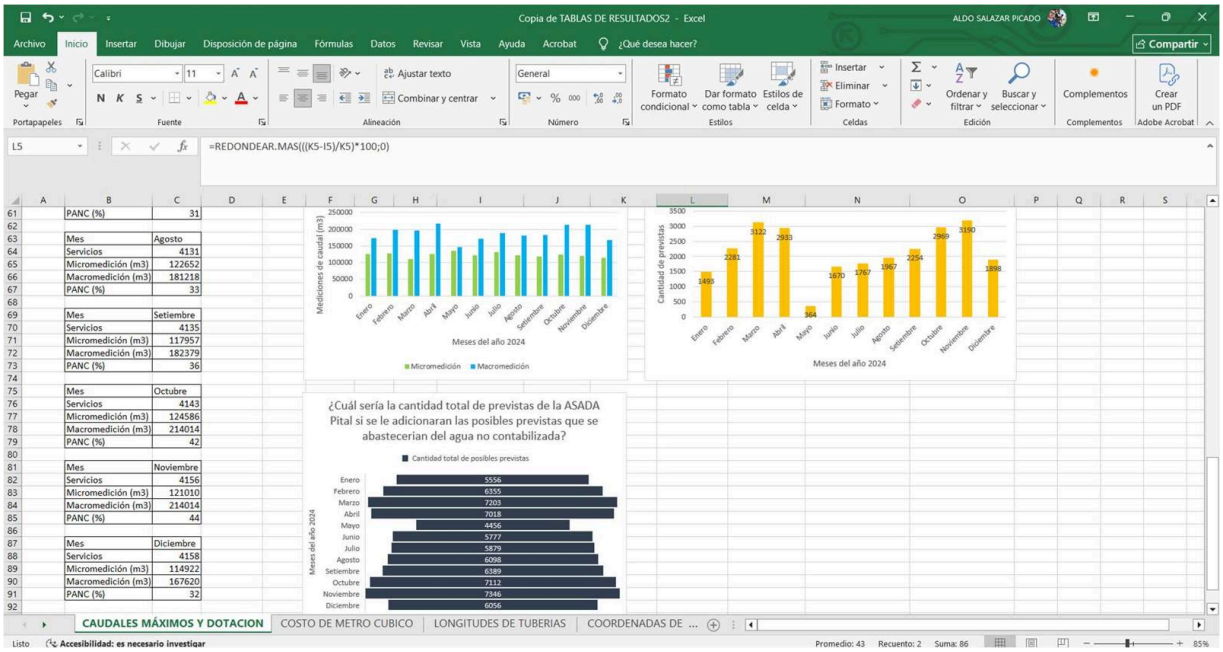
Szukalski, B. (2020). *Create your first dashboard using ArcGIS Dashboards*. [Blog]. Recuperado de https://www.esri.com/arcgis-blog/products/ops-dashboard/mapping/create-first-arcgis-dashboards/

Apéndices

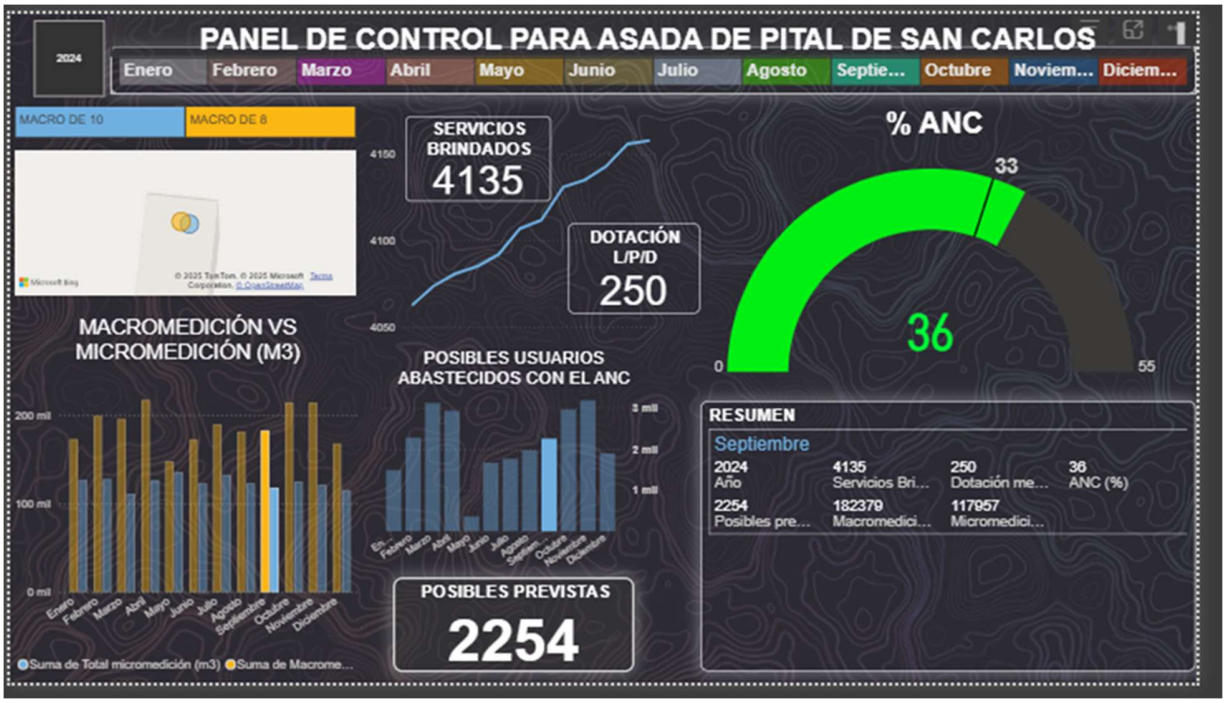
Apéndice A: hojas de cálculo para los cálculos hidráulicos y de ANC



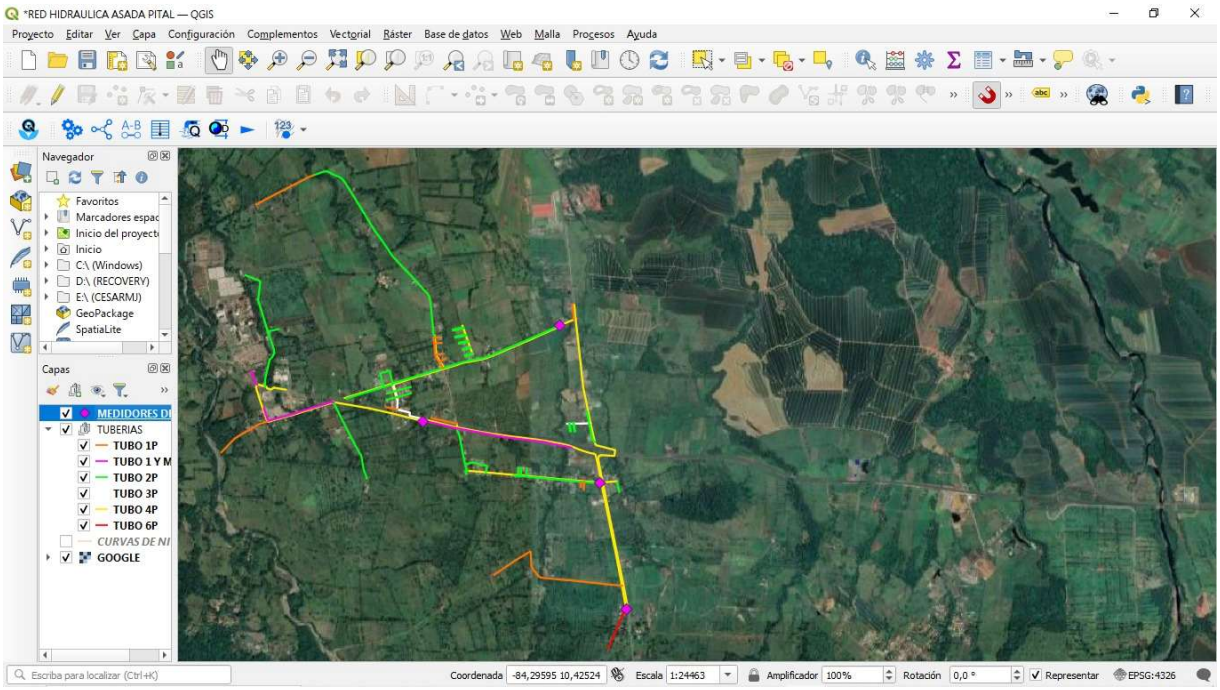


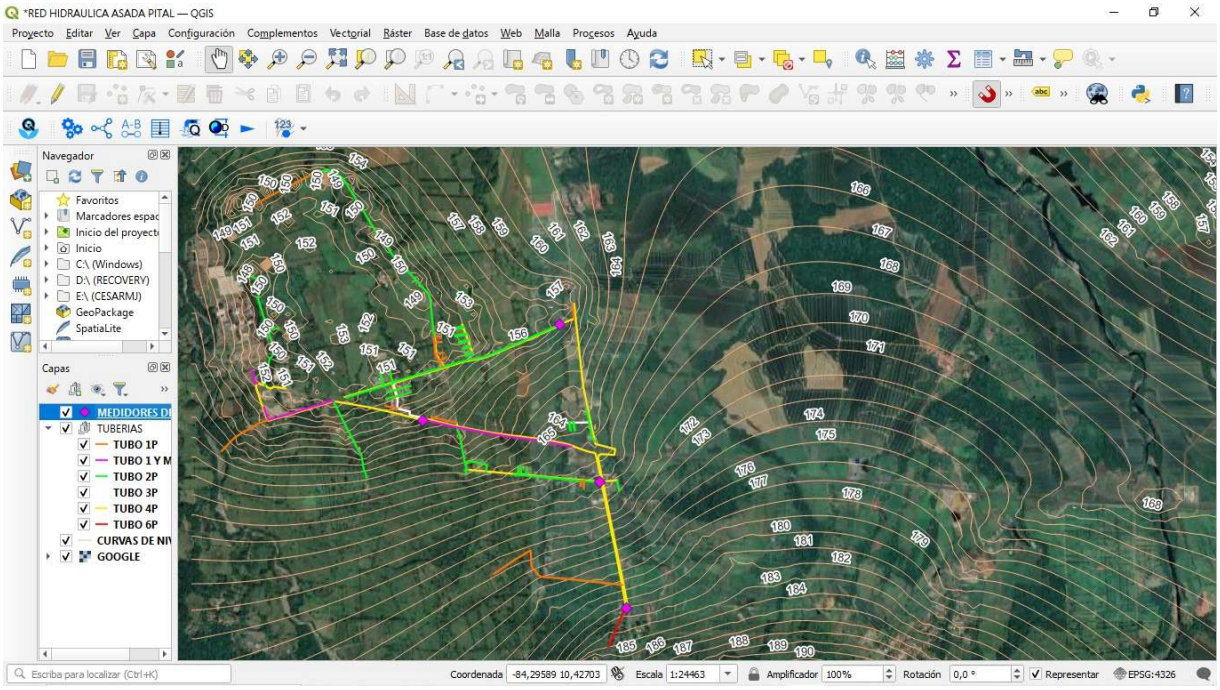

Copia de TABLAS DE RESULTADOS2 - Excel
ALDO SALAZAR PICADO
Archivo Inicio Insertar Dibujar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda Acrobat ¿Qué desea hacer?
Compartir
=REDONDEAR.MAS(((K5-I5)/K5)*100;0)
PANC (%) 31
Mes Agosto
Servicios 4131
Micromedición (m3) 122652
Macromedición (m3) 181218
PANC (%) 33
Mes Setiembre
Servicios 4135
Micromedición (m3) 117957
Macromedición (m3) 182379
PANC (%) 36
Mes Octubre
Servicios 4143
Micromedición (m3) 124586
Macromedición (m3) 214014
PANC (%) 42
Mes Noviembre
Servicios 4156
Micromedición (m3) 121010
Macromedición (m3) 214014
PANC (%) 44
Mes Diciembre
Servicios 4158
Micromedición (m3) 114922
Macromedición (m3) 167620
PANC (%) 32
Mediciones de caudal (m3)
Meses del año 2024
Micromedición Macromedición
Cantidad de previstas
1493 2281 3122 2833 364 1670 1767 1967 2254 2969 3190 1898
¿Cuál sería la cantidad total de previstas de la ASADA Pital si se le adicionaran las posibles previstas que se abastecerían del agua no contabilizada?
Cantidad total de posibles previstas
Enero 5556
Febrero 6355
Marzo 7203
Abril 7018
Mayo 4456
Junio 5777
Julio 5879
Agosto 6098
Setiembre 6389
Octubre 7112
Noviembre 7346
Diciembre 6056
CAUDALES MÁXIMOS Y DOTACION
COSTO DE METRO CUBICO
LONGITUDES DE TUBERIAS
COORDENADAS DE ...
Listo
Accesibilidad: es necesario investigar
Promedio: 43 Recuento: 2 Suma: 86
85%

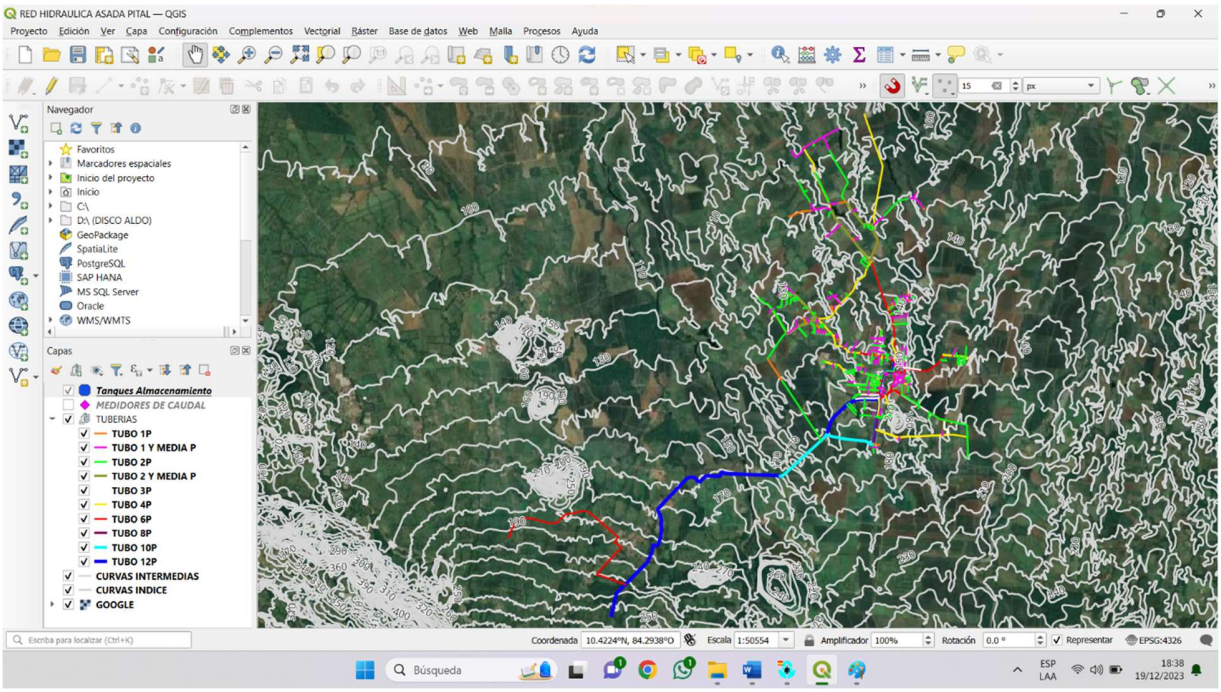
Apéndice B: Panel de control elaborado con el programa Power BI

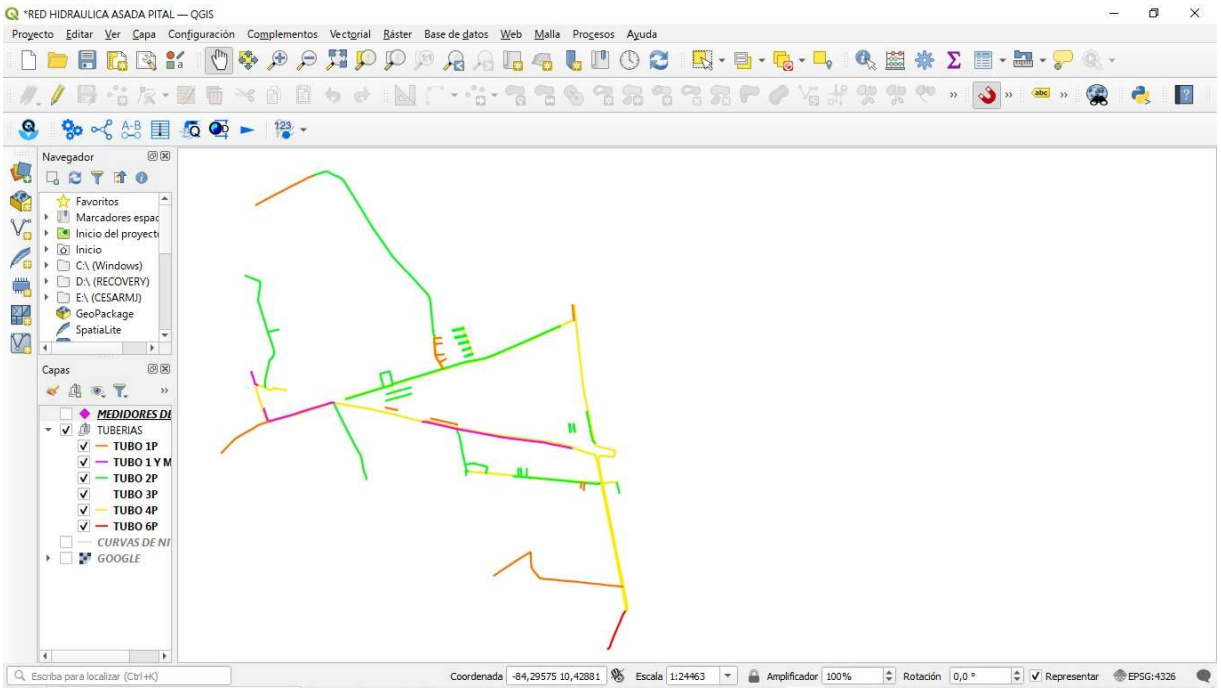


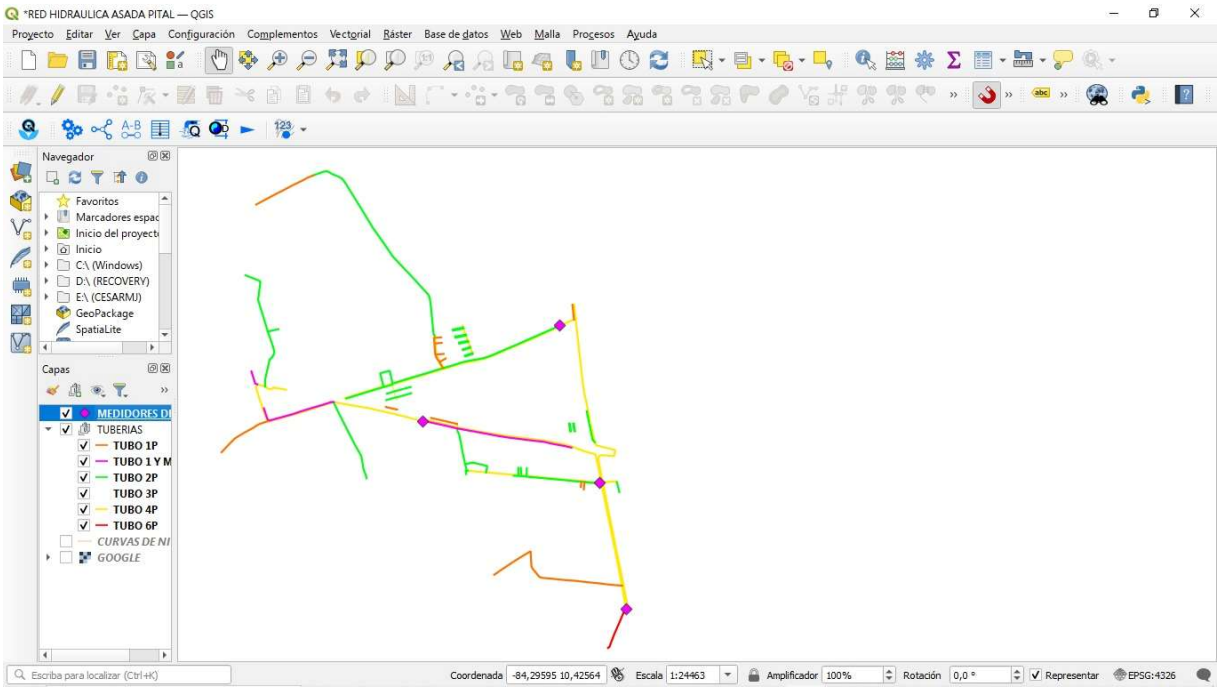
Apéndice C: Mapeo en el programa QGIS

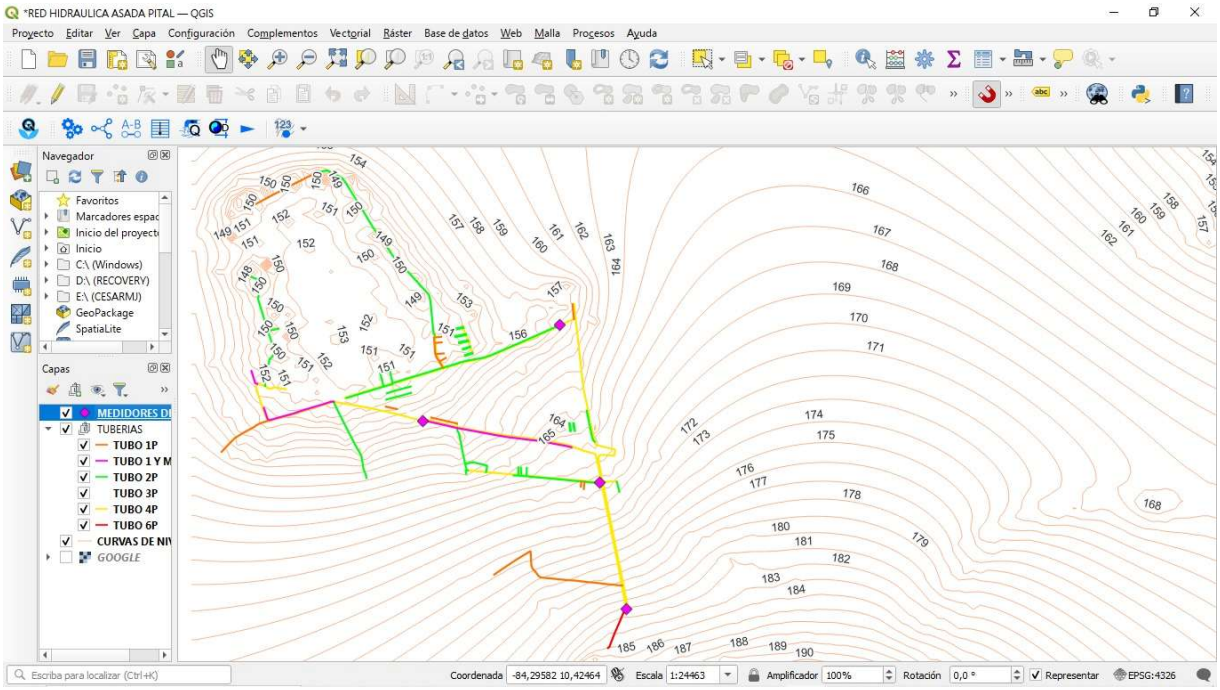




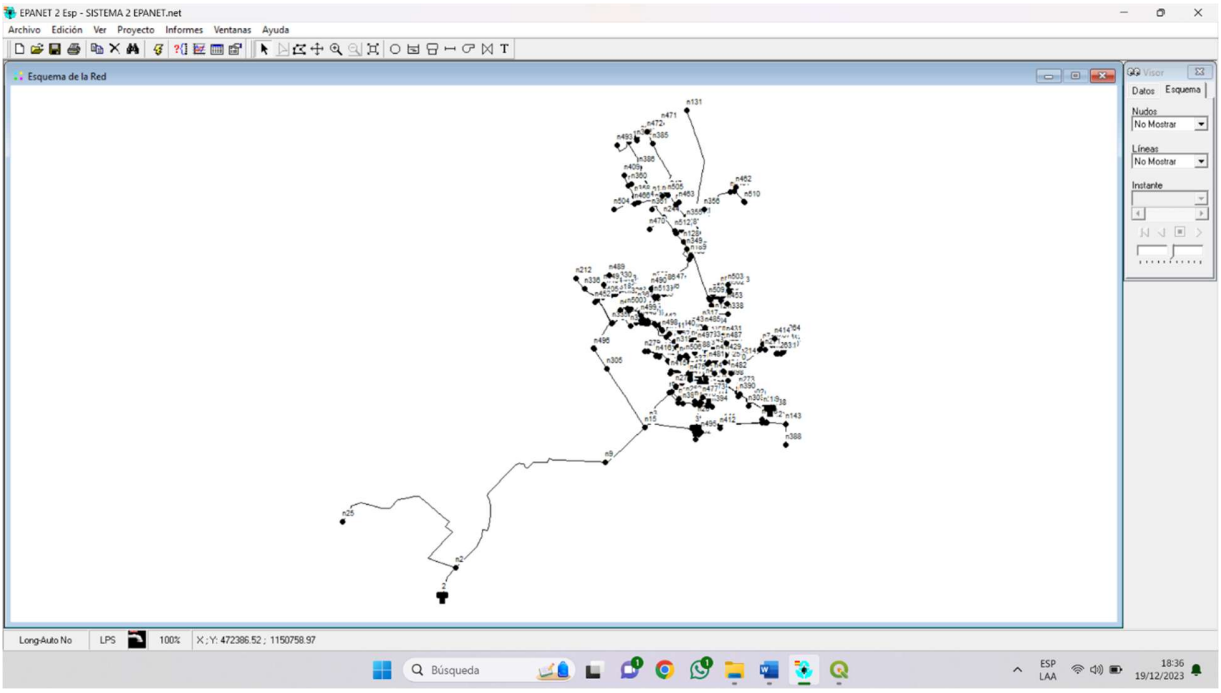

RED HIDRAULICA ASADA PITAL — QGIS
Proyecto Edición Ver Capa Configuración Complementos Vectorial Ráster Base de datos Web Malla Procesos Ayuda
Navegador
Favoritos
Marcadores espaciales
Inicio del proyecto
Inicio
C:\
D:\ (DISCO ALDO)
GeoPackage
SpatiaLite
PostgreSQL
SAP HANA
MS SQL Server
Oracle
WMS/WMTS
Capas
Tanques Almacenamiento
MEDIDORES DE CAUDAL
TUBERIAS
TUBO 1P
TUBO 1 Y MEDIA P
TUBO 2P
TUBO 2 Y MEDIA P
TUBO 3P
TUBO 4P
TUBO 6P
TUBO 8P
TUBO 10P
TUBO 12P
CURVAS INTERMEDIAS
CURVAS INDICE
GOOGLE
Escriba para localizar (Ctrl+K)
Coordenada 10.4224°N, 84.2938°O
Escala 1:50554
Amplificador 100%
Rotación 0.0 °
Representar
EPSG:4326
Búsqueda
ESP
LAA
18:38
19/12/2023

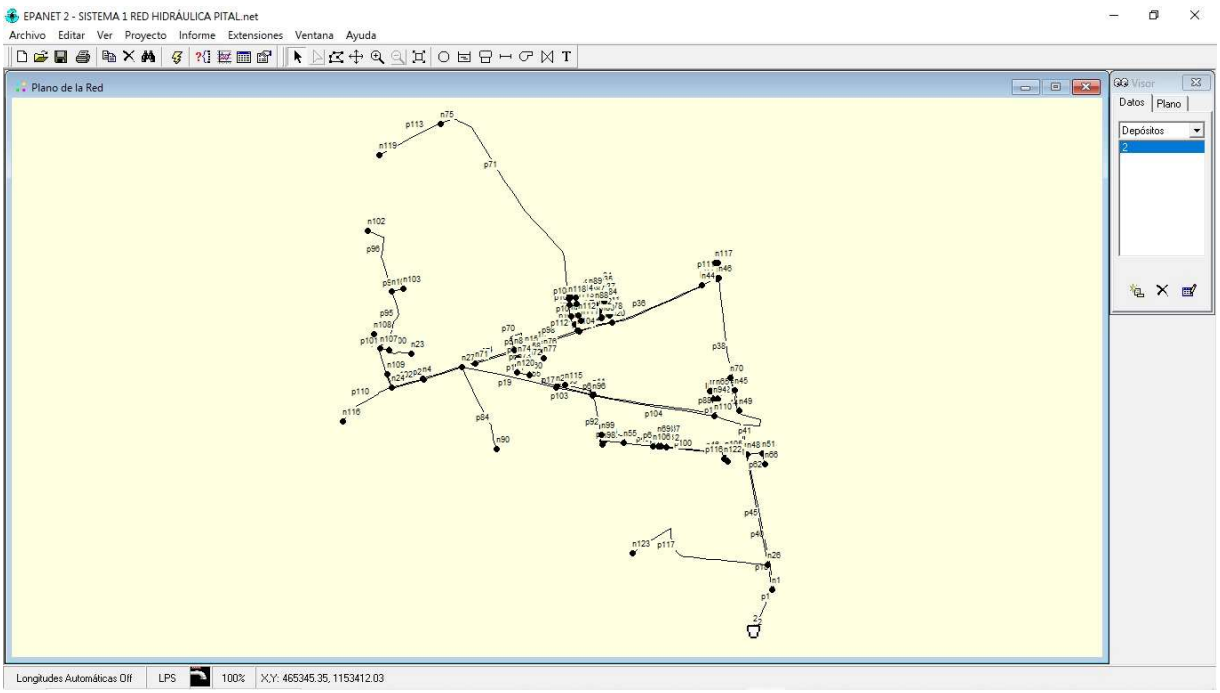

*RED HIDRAULICA ASADA PITAL — QGIS
Proyecto Editar Ver Capa Configuración Complementos Vectorial Ráster Base de datos Web Malla Procesos Ayuda
Navegador
Favoritos
Inicio
C:\ (Windows)
D:\ (RECOVERY)
E:\ (CESARMJ)
GeoPackage
SpatiaLite
Capas
TUBERIAS
TUBO 1P
TUBO 2P
TUBO 3P
TUBO 4P
TUBO 6P
GOOGLE
Escriba para localizar (Ctrl+K)
Coordenada -84,29575 10,42881
Escala 1:24463
Amplificador 100%
Rotación 0,0 °
Representar
EPSG:4326


*RED HIDRAULICA ASADA PITAL — QGIS
Proyecto Editar Ver Capa Configuración Complementos Vectorial Ráster Base de datos Web Malla Procesos Ayuda
Navegador
Favoritos
Marcadores espac
Inicio del proyecti
Inicio
C:\ (Windows)
D:\ (RECOVERY)
E:\ (CESARMJ)
GeoPackage
SpatiaLite
Capas
MEDIDORES DI
TUBERIAS
TUBO 1P
TUBO 1 Y M
TUBO 2P
TUBO 3P
TUBO 4P
TUBO 6P
CURVAS DE NI
GOOGLE
Escriba para localizar (Ctrl+K)
Coordenada -84,29595 10,42564
Escala 1:24463
Amplificador 100%
Rotación 0,0 °
Representar
EPSG:4326


*RED HIDRAULICA ASADA PITAL — QGIS
Proyecto Editar Ver Capa Configuración Complementos Vectorial Ráster Base de datos Web Malla Procesos Ayuda
Navegador
Favoritos
Marcadores espac
Inicio del proyecti
Inicio
C:\ (Windows)
D:\ (RECOVERY)
E:\ (CESARMJ)
GeoPackage
SpatiaLite
Capas
MEDIDORES DI
TUBERIAS
TUBO 1P
TUBO 1 Y M
TUBO 2P
TUBO 3P
TUBO 4P
TUBO 6P
CURVAS DE NIV
GOOGLE
Escriba para localizar (Ctrl+K)
Coordenada -84,29582 10,42464
Escala 1:24463
Amplificador 100%
Rotación 0,0 °
Representar
EPSG:4326

Apéndice D: Modelación hidráulica en el programa EPANET





Apéndice E: Dibujo y corrección en el programa AutoCAD

