Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Físicas
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

Modelamiento hidráulico computacional para la reducción del agua no facturada en las redes de distribución de agua potable en el sector 73, San Borja, Lima

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Jesús Alexander PILAR HILARIO

ASESOR

Mg. Juan Miguel DE LA TORRE OSTOS

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Pilar, J. (2026). *Modelamiento hidráulico computacional para la reducción del agua no facturada en las redes de distribución de agua potable en el sector 73, San Borja, Lima*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Jesus Alexander Pilar Hilario
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74041412
URL de ORCID	**https://orcid.org/0009-0004-7322-5283**
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Juan Miguel De La Torre Ostos
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09634918
URL de ORCID	**https://orcid.org/0000-0001-8226-5376**
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Jesus Walter Acha Espinoza
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07387415
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Reuter Arturo Aliaga Diaz
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07229778
Datos de investigación	
Línea de investigación	Hidráulica de Tuberías
Grupo de investigación	Ninguno

Agencia de financiamiento	Propio
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Borja Latitud: 12°06'36.1"S Longitud: 76°58'59.7"W
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023-2024
URL de disciplinas OCDE	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.11 https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

UNMSM
Firmado digitalmente por ARAMBULO MANRIQUE Miguel Ernesto FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 24.04.2026 16:45:20 -05:00

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú, Decana de América

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS

Siendo las 18:00 p.m horas del jueves 23 de abril del 2026, en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, bajo la presidencia del Mg. Ing. JESÚS WALTER ACHA ESPINOZA y con la asistencia del asesor Mg. Ing. JUAN MIGUEL DE LA TORRE OSTOS, y miembro Ing. REUTER ARTURO ALIAGA DÍAZ se dio inicio a la sesión pública de sustentación de tesis para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, mediante la sustentación y aprobación de una tesis del Bachiller:

PILAR HILARIO JESÚS ALEXANDER

El presidente del Jurado en primer lugar dio lectura al documento formal que designa al Jurado y aprueba el acto de sustentación de la tesis, así corno del resumen del expediente e invitó al citado Bachiller a realizar la presentación y exposición de su tesis titulada "MODELAMIENTO HIDRÁULICO COMPUTACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DEL AGUA NO FACTURADA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR 73, SAN BORJA, LIMA".

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el presidente del mismo, invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó al candidato a regresar a la Sala de Sesión, para dar lectura a la calificación obtenida por el Bachiller, la misma que es:

16	Dieciseis	Honrosa
(NUMERO)	(LETRAS)	(MENCIÓN)

El presidente del Jurado Mg. Ing. JESÚS WALTER ACHA ESPINOZA, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller PILAR HILARIO JESÚS ALEXANDER, Ingeniero Mecánico de Fluidos.
Siendo las 18h 50 horas del mismo día, se levanta la sesión.

Mg. Ing. JESÚS WALTER ACHA ESPINOZA
PRESIDENTE

Ing. REUTER ARTURO ALIAGA DÍAZ
MIEMBRO TITULAR

Mg. Ing. JUAN MIGUEL DE LA TORRE OSTOS
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Juan Miguel de la Torre Ostos en mi condición de asesor acreditado mediante Dictamen/Resolución de la UPG o de la EP y/o Resolución Decanal **N°002-EPIMF-2026-FCF/UNMSM** de la tesis, cuyo título es **"MODELAMIENTO HIDRÁULICO COMPUTACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DEL AGUA NO FACTURADA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR 73, SAN BORJA, LIMA"**, presentado por el bachiller Jesús Alexander Pilar Hilario para optar el grado con título profesional de **Ingeniero Mecánico de Fluidos**,

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **13%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título profesional de **Ingeniero Mecánico de Fluidos**.

Lima, 14 de mayo de 2026

Firma del Asesor _____

Nombres y Apellidos del asesor: Juan Miguel de la Torre Ostos

DNI: 09634918

---

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un periodo de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

Dedicatoria

A mis padres Jesús y Maribel, por inculcarme los valores que hoy guían mi vida, por apoyarme en todo momento para cumplir con las metas que me propongo.

A mis hermanos Mabel y Thiago, para que vean que sí se puede. El siguiente es el de ustedes.

Agradecimientos

A mi alma máter, la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por proporcionarme las herramientas académicas y los valores que han cimentado mi desarrollo profesional y personal. A mis amigos y colegas de la empresa donde laboro quienes confiaron en mí y me brindaron el apoyo en la elaboración de la presente tesis, por sus valiosos aportes para la culminación de esta.

RESUMEN

El agua no facturada (ANF) es uno de los principales problemas en la gestión de los sistemas de distribución de agua potable, pues representa pérdidas físicas y aparentes que afectan la sostenibilidad económica y la eficiencia en el uso del recurso. El objetivo de esta investigación fue reducir el ANF en el Sector 73 del distrito de San Borja – Lima mediante el uso de modelamiento hidráulico computacional.

La metodología incluyó la recopilación y depuración de información primaria (planimetría, consumos y caudales), la ejecución de mediciones de campo y la construcción de un modelo hidráulico en el software EPANET, calibrado con un error máximo de ±2 m.c.a. Se identificaron las variables hidráulicas y operativas más relevantes, se identificaron los componentes del ANF y se diseñaron estrategias de intervención basadas en la gestión de presiones y la instalación de válvulas reductoras.

Los resultados mostraron que el ANF inicial, superior al 35%, se redujo a aproximadamente 25% tras la aplicación de las medidas propuestas, acercándose a los rangos recomendados por la International Water Association (IWA). Además, el análisis económico evidenció que la recuperación de volúmenes no facturados representa ingresos adicionales significativos para la empresa prestadora.

En conclusión, los resultados obtenidos evidencian que el modelamiento computacional es una herramienta eficaz y replicable para diagnosticar y optimizar estrategias de reducción del ANF, contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento urbano.

Palabras clave: Agua no facturada; modelamiento hidráulico; gestión de presiones; EPANET.

ÍNDICE

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN 1

1.1 Formulación del problema 2

1.1.1 Problema General 2

1.1.2 Problemas Específicos 2

1.2 Objetivos 3

1.2.1 Objetivos Generales 3

1.2.2 Objetivos Específicos 3

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES 4

2.1 Marco teórico 4

2.1.1 Agua no facturada 4

2.1.2 Principios del Modelamiento Hidráulico 6

2.1.3 Herramientas y Software para el Modelamiento Hidráulico (EPANET, WaterGEMS) 7

2.1.4 Aplicaciones del Modelado Hidráulico en la Gestión del Agua No Facturada 8

2.1.5 Variables Hidráulicas y Operativas en la Gestión del Agua 9

2.1.6 Tecnologías de Medición y Monitoreo en Tiempo Real 10

2.1.7 Análisis Económico del Agua No Facturada 12

2.2 Antecedentes 14

2.2.1 Antecedentes internacionales 14

2.2.2 Antecedentes nacionales 18

CAPITULO 3: HIPÓTESIS Y VARIABLES 23

3.1 Hipótesis 23

3.1.1 Hipótesis general 23

3.1.2 Hipótesis específicas 23

3.2 Variables 24

3.2.1 Variable Independiente 24
3.2.2 Variable Dependiente: 27
CAPITULO 4: MATERIALES Y MÉTODOS 28
4.1 Tipo de investigación 28
4.2 Diseño de la investigación 29
4.3 Método de la Investigación 29
4.4 Población o universo de estudio 30
4.5 Unidad de Análisis 31
4.6 Tamaño de Muestra 31
4.7 Técnica de Recolección de Datos 32
4.7.1 Instrumentos de Recolección de Datos 33
CAPITULO 5: PROCEDIMIENTO 35
5.1 Objetivo Específico 1 35
5.1.1 Recopilación de Data Primaria 35
5.1.2 Parametrización de Demandas y Consumos: 39
5.1.3 Mediciones de Campo para Calibración 44
5.1.4 Construcción y Calibración del Modelo 47
5.2 Objetivo Específico 2 48
5.2.1 Identificación de Variables de Entrada: 48
5.2.2 Identificación de Variables de Salida: 53
5.2.3 Relación de Variables con el ANF: 54
5.2.4 Variable Clave para el Diagnóstico: 55
5.3 Objetivo Específico 3 56
5.3.1 Selección y Planificación de la Estrategia Óptima: 56
5.3.2 Ejecución de la Intervención en Campo: 57
5.3.3 Monitoreo Post-Ejecución y Verificación de Resultados: 57
5.3.4 Cuantificación de la Reducción de ANF y Validación del Modelo 58

CAPITULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 59

6.1 Resultados para el Objetivo Específico 1:..... 59

6.1.1 Una Metodología Estandarizada para la Construcción de Modelos: 59

6.1.2 Un Modelo Hidráulico Calibrado y Validado del Sector 73:..... 60

6.1.3 Un Diagnóstico Base del Sistema: 62

6.2 Resultados objetivo 2 65

6.2.1 Determinar las variables hidráulicas y operativas que intervienen en el modelamiento computacional para la reducción del agua no facturada..... 65

6.2.2 La Cuantificación del Agua No Facturada (ANF) Inicial:..... 66

6.2.3 La Identificación de las Principales Componentes del ANF: 67

6.3 Resultados para el Objetivo Específico 3:..... 68

6.3.1 Un Plan de Intervención con Estrategias Simuladas y Priorizadas:..... 69

6.3.2 La Evidencia de la Ejecución Física: 73

6.3.3 La Cuantificación del Impacto Real y Validación Final:..... 76

6.3.4 Análisis de Viabilidad Económica 77

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 80

7.1 Conclusiones 80

7.2 Recomendaciones.. 80

CAPITULO 8: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 82

ANEXO N°1: PLANO GENERAL DEL SISTEMA SECTOR 73..... 86

ANEXO 2: PLANOS CAD RECOLECTADOS..... 87

ANEXO N°3: PANEL FOTOGRÁFICO..... 90

ANEXO N°4: PLANO GENERAL – LOCALIZACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN 94

ANEXO N°5: FICHAS TÉCNICAS DE DATALOGGERS Y CAUDALÍMETROS INSTALADOS 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Esquema de Agua No Facturada (ANF)* 6

Figura 2*. Planimetría base del sistema de agua potable de la zona de estudio, elaborada con información oficial de SEDAPAL (GIS y planos CAD).* 35

Figura 3*. Plano CAD de la red de agua potable del sector 73, con indicación de tuberías, válvulas, cruces y accesorios* 36

Figura 4*. Plano topográfico con curvas de nivel del área de estudio para la asignación de cotas a los nodos de la red.* 37

Figura 5*. Consumo histórico mensual de agua potable por categoría de usuario (doméstico, comercial y especial).* 40

Figura 6*. Instalación de datalogger en la caja de medidor de agua* 41

Figura 7*. Ubicación superficial de la caja de medidor instrumentada* 42

Figura 8*. Curva de consumo horario – Subsector 1 (NIS 2584820)* 42

Figura 9*. Curva de consumo horario – Subsector 2 (NIS 2732669)* 43

Figura 10*. Curva de consumo horario – Subsector 3 (NIS 6693667)* 43

Figura 11*. Plano general del Sector 73 con ubicación de equipos de medición* 44

Figura 12*. Instalación de caudalímetro ultrasónico y datalogger en cámara de válvulas* 45

Figura 13*. Punto de instalación del caudalímetro en subsector hidráulico* 45

Figura 14*. Instalación de instrumentos de medición en punto crítico de red* 46

Figura 15*. Curva de caudal registrado durante 7 días continuos* 46

Figura 16*. Modelo hidráulico de la red en EPANET* 47

Figura 17*. Propiedades de tubería en EPANET* 48

Figura 18*. Inventario de materiales de colectores en la red, categorizados por tipo y longitud total.* 49

Figura 19. *Sistema hidráulico de control en la tubería de ingreso al sector 73* 51

Figura 20*. Controlador del sistema SCADA para registro de caudal y presión.* 51

Figura 21*. Tablero eléctrico de control asociado al sistema SCADA* 52

***Figura 22**. Volumen diario registrado en el periodo 2003–2023* 52

***Figura 23**. Resultados de simulación hidráulica: distribución de presiones en nodos de la red.* 53

***Figura 24**. Escenario 1 – Incremento en consigna de presión de entrada.* 56

***Figura 25**. Escenario 2 – Aumento de consigna de presión de ingreso e Instalación de VRP al ingreso del subsector 4* 57

***Figura 26**. Gráfico de correlación entre presiones observadas para calibración y simuladas en el modelo EPANET*.....60

***Figura 27**. Puntos aleatorios usados para la validación del modelo matemático*.....61

***Figura 28**. Gráfico de correlación entre presiones medidas para validación y presiones obtenidas del modelo* 61

***Figura 29**. Estado actual del sector 73: distribución espacial de presiones máximas*.....62

***Figura 30**. Estado actual del sector 73: distribución espacial de presiones mínimas*.....63

***Figura 31**. Serie de presiones en el abonado crítico (NIS 5985486) del subsector 73-II*.....64

***Figura 32**. Estado actual del sector 73: distribución espacial de velocidades máximas* 64

***Figura 33**. Comparación de presiones en el abonado crítico ante el aumento de la consigna de entrada.* 69

***Figura 34**. Distribución de presiones mínimas tras el aumento de consigna en el sector 73*.70

***Figura 35**. Distribución de presiones máximas tras el aumento de consigna en el sector 73* 71

***Figura 36**. Presiones en el abonado crítico del subsector 73-IV (verde) frente a la consigna de la VRP (rojo) bajo el escenario de cambio de consigna e instalación de la válvula reductora de presión.* 72

***Figura 37**. Distribución de presiones máximas con la instalación de una VRP y cambio de consigna en el subsector 73-IV* 72

***Figura 38**. Distribución de presiones mínimas con la instalación de una VRP y cambio de consigna en el subsector 73-IV.* 73

***Figura 39**. Trabajos de excavación para búsqueda de fugas en el subsector 73-I.*.....74

***Figura 40**. Zanja abierta para inspección de la tubería en el subsector 73-I* 74

***Figura 41**. Fuga detectada en tubería del subsector 73-I.*.....75

Figura 42. *Trabajos de instalación de la VRP en el subsector 73-IV*.....75

Figura 43. *Válvula reductora de presión instalada al ingreso del subsector 73-IV*.....76

Figura 44. *Evolución del Agua No Facturada (ANF) en el sector 73 tras la ejecución de medidas de control*.....77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de historial de incidencias (roturas, reparaciones) de usuarios en el año 2023. 38

T***abla 2.*** Tipos de reclamos registrados en el sistema de agua potable en el sector 73 39

Tabla 3. *Estado de conexión de los suministros de agua potable* 39

Tabla 4. *Principales usuarios con mayor consumo promedio en el año 2023 – San Borja* ...41

Tabla 5. *Tabla de rugosidad inicial según material*.....49

Tabla 6. *Tabla de consumo máximo anual y número de conexiones por periodo (2021–2023).* 50

Tabla 7. *Tabla de clientes especiales y su consumo promedio en el año 2023*.....50

Tabla 8. *Tabla de balance hídrico del sector 73: volúmenes distribuidos, facturados y Agua No Facturada (ANF).* 54

Tabla 9. *Tabla matriz de variables críticas y su influencia en el modelo hidráulico y en el ANF* 66

Tabla 10. *Balance hídrico del sector 73: cálculo del Agua No Facturada (ANF).* 67

Tabla 11. *Tabla de estimación de pérdidas reales en los 4 subsectores medidos a partir de caudales mínimos nocturnos.* 68

Tabla 12. *Resumen de costos de actividades y equipos para el proyecto intervención* 78

Tabla 13. *Cálculo del Período de Retorno de la Inversión (PRI) para la intervención en el sector 73* 78

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

El agua no facturada (ANF), entendida como el volumen de agua producido que no se convierte en ingresos por facturación, constituye uno de los principales desafíos en la gestión de los sistemas de agua potable. Los niveles elevados de ANF afectan la sostenibilidad financiera de las empresas prestadoras y limitan la eficiencia en el uso de un recurso cada vez más escaso (International Water Association [IWA], 2000). En América Latina, se estima que el promedio de ANF supera el 40%, muy por encima de los valores recomendados internacionalmente, que oscilan entre 15% y 25% (Banco Mundial, 2016).

En el Perú, los informes de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2023) reportan que Lima Metropolitana mantiene un ANF cercano al 36%, cifra que refleja las dificultades estructurales de las redes de distribución, la antigüedad de las tuberías y la falta de control operativo en determinados sectores de la ciudad. Este problema no solo representa pérdidas económicas significativas, sino que también compromete la sostenibilidad ambiental y la equidad en el acceso al agua potable.

El modelamiento hidráulico computacional se ha consolidado en los últimos años como una herramienta eficaz para el análisis de redes de distribución de agua potable. A través de softwares como EPANET, es posible simular el comportamiento de presiones, caudales y consumos, identificar zonas críticas y evaluar escenarios de intervención (Rossman, 2000). Investigaciones recientes han evidenciado que la gestión de presiones mediante válvulas reguladoras y la sectorización hidráulica son estrategias costo-eficientes para la reducción de pérdidas (Lambert, 2001; Mutikanga et al., 2013).

En este contexto, la presente investigación se propone reducir el ANF en el Sector 73 del distrito de San Borja – Lima, mediante la construcción y calibración de un modelo hidráulico computacional. El estudio incluye la identificación de variables hidráulicas y

operativas, la simulación de escenarios de intervención y la validación de resultados en campo. De esta manera, se busca generar un aporte académico y práctico que pueda ser replicado en otros sectores de Lima y en ciudades con problemáticas similares.

1.1 Formulación del problema

1.1.1 Problema General

¿Cómo contribuye el modelamiento hidráulico computacional a la reducción del agua no facturada en las redes de distribución de agua potable en el Sector 73, San Borja - Lima?

1.1.2 Problemas Específicos

Problema Específico 1.

¿Cuáles son los pasos y consideraciones necesarias para elaborar un modelo hidráulico computacional que contribuya a la reducción del agua no facturada en las redes de distribución de agua potable del Sector 73, San Borja - Lima?

Problema Específico 2.

¿Qué variables hidráulicas y operativas clave intervienen en el modelamiento para reducir el agua no facturada en las redes de distribución de agua potable del Sector 73, San Borja - Lima?

Problema Específico 3.

¿Cuáles son las estrategias basadas en un modelamiento hidráulico computacional que deben implementarse para reducir el agua no facturada en las redes de distribución de agua potable?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

El propósito de esta investigación es desarrollar un modelo hidráulico computacional que permita optimizar la gestión del sistema de distribución de agua potable y reducir el porcentaje de agua no facturada en el Sector 73 del distrito de San Borja, Lima.

1.2.2 Objetivos Específicos

Objetivo Específico 1.

Determinar los pasos y consideraciones necesarias para elaborar un modelo hidráulico computacional que contribuya a la reducción del agua no facturada en las redes de distribución de agua potable del Sector 73, San Borja - Lima.

Objetivo Específico 2.

Determinar las variables hidráulicas y operativas que intervienen en el modelamiento computacional para la reducción del agua no facturada en las redes de distribución de agua potable del Sector 73, San Borja, Lima.

Objetivo Específico 3.

Proponer y ejecutar estrategias técnico-operativas de gestión hidráulica, basadas en el modelamiento hidráulico computacional, que contribuyan a la reducción del agua no facturada en las redes de distribución del Sector 73, San Borja, Lima.

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

2.1 Marco teórico

2.1.1 Agua no facturada

El agua no facturada (ANF) se refiere al volumen de agua que se distribuye en un sistema de abastecimiento pero que no se cobra a los usuarios, debido a pérdidas o consumos no registrados. Este fenómeno representa un desafío significativo para las empresas de distribución de agua, ya que implica la pérdida de ingresos y la ineficiencia en la gestión del recurso hídrico. Según la Organización Mundial de la Salud (2014), el ANF se clasifica en dos grandes categorías:

Pérdidas reales: Estas se deben a fugas físicas en las redes de distribución, como tuberías rotas o deterioradas, que permiten que el agua se pierda antes de llegar al consumidor final (Idrica, 2023).

Pérdidas aparentes: Estas son causadas por errores administrativos, como mediciones inexactas o fraudes, donde el agua consumida no es registrada ni facturada correctamente (Ress & Roberson, 2016).

Las causas del ANF son diversas y pueden incluir una combinación de factores técnicos, operativos y administrativos. La antigüedad de la infraestructura, la falta de mantenimiento preventivo, la mala calidad de los materiales, y las fallas en la medición o la intervención de conexiones ilegales, son algunas de las principales causas (Moe, 2006). La gestión deficiente también puede generar altas tasas de pérdidas de agua no facturada.

Impacto del Agua No Facturada en los Sistemas de Distribución

El impacto del ANF en los sistemas de distribución de agua potable es significativo tanto desde el punto de vista económico como ambiental. En términos económicos, el ANF representa una pérdida directa de ingresos para las empresas encargadas de la distribución del agua. Según un informe de la IWA (International Water Association), el ANF en muchos países en desarrollo supera el 40%, lo que pone en peligro la sostenibilidad financiera de las empresas y puede generar un aumento en las tarifas de los usuarios (Moe, 2006).

Además, el ANF puede generar un uso ineficiente del agua, lo cual es especialmente crítico en regiones con escasez de recursos hídricos. Las pérdidas reales pueden contribuir a un mayor desperdicio del agua, lo que afecta el equilibrio hídrico en áreas ya afectadas por sequías o racionamientos. El control y reducción del ANF se han convertido en un objetivo prioritario para los gestores del agua, quienes utilizan diversas técnicas y estrategias para mejorar la eficiencia del sistema.

Relación entre Pérdidas de Agua y Eficiencia del Sistema

La eficiencia de un sistema de distribución de agua está directamente vinculada a las pérdidas de agua no facturada. Un sistema eficiente minimiza las fugas, optimiza el caudal y garantiza que la mayor parte del agua distribuida sea correctamente medida y facturada. Según un estudio de la IWA, los sistemas con altos niveles de ANF son menos eficientes, ya que las fugas y pérdidas afectan la presión en la red, lo que a su vez impacta la calidad del servicio (Ress & Roberson, 2016).

El control de las pérdidas de agua también está relacionado con el manejo de las presiones en la red de distribución, lo que permite reducir las fugas y optimizar el uso del recurso (Gamboa & Rodríguez, 2020). La implementación de tecnologías avanzadas como el

modelamiento hidráulico computacional, que permite simular y analizar el comportamiento de la red, es una herramienta clave para identificar áreas de alta pérdida y proponer soluciones efectivas.

Figura 1. *Esquema de Agua No Facturada (ANF)*



Fuente: Óptima Ingeniería. (s.f.). Programas de reducción de Agua No Facturada (ANF). Recuperado de https://optima-ingenieria.com/productos-y-soluciones/programas-de-reduccion-de-agua-no-facturada-anf/.

2.1.2 Principios del Modelamiento Hidráulico

El modelamiento hidráulico computacional se basa en la simulación matemática del flujo de agua en redes de distribución, utilizando ecuaciones que describen el comportamiento físico del sistema, tales como la ecuación de continuidad y la ecuación de energía (Boulos et al., 2017). Estos modelos permiten prever el comportamiento de las redes bajo diversas condiciones operativas, incluyendo las variaciones de presión, caudal, y la presencia de fugas.

Los modelos hidráulicos computacionales son herramientas esenciales para optimizar la gestión de los sistemas de distribución de agua, ya que permiten a los ingenieros identificar puntos críticos, evaluar las consecuencias de diferentes configuraciones de la red y tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y las inversiones en infraestructura (Rossman, 1999). Además, los modelos ayudan a prever los efectos de las pérdidas de agua en el rendimiento general del sistema y en la reducción del agua no facturada

2.1.3 Herramientas y Software para el Modelamiento Hidráulico (EPANET, WaterGEMS)

Existen varias herramientas y software especializados que permiten realizar el modelamiento hidráulico computacional de redes de distribución de agua. Los más utilizados son:

EPANET: Desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, es un software gratuito que permite simular el comportamiento de las redes de distribución de agua potable, incluyendo el flujo, la presión y la calidad del agua. EPANET es ampliamente utilizado debido a su accesibilidad y su capacidad para realizar análisis detallados de redes hidráulicas (Rossman, 1999).

WaterGEMS: Es un software comercial desarrollado por Bentley Systems, que ofrece análisis avanzados y capacidades de optimización para redes de distribución de agua. WaterGEMS es ideal para proyectos más grandes y complejos, ya que permite integrar información geoespacial y realizar simulaciones en tiempo real para la gestión eficiente de las redes (Bentley Systems, 2021).

Ambos programas permiten realizar simulaciones detalladas que ayudan a los ingenieros a analizar el impacto de las pérdidas de agua, la eficiencia de la red y las posibles mejoras en la infraestructura existente.

2.1.4 Aplicaciones del Modelado Hidráulico en la Gestión del Agua No Facturada

El modelado hidráulico computacional tiene varias aplicaciones en la gestión del agua no facturada. Algunas de las más relevantes incluyen:

Identificación de fugas y pérdidas de agua: Los modelos hidráulicos permiten simular la red y detectar puntos críticos donde ocurren pérdidas de agua, ya sea por fugas no visibles o por ineficiencia en las mediciones (Gamboa & Rodríguez, 2020).

Optimización de la presión y caudal: A través del modelado, se pueden ajustar los parámetros operativos, como la presión en las tuberías, para minimizar las pérdidas y mejorar la eficiencia del sistema (Bentley Systems, 2021).

Planificación de renovaciones y mantenimiento: El modelado hidráulico también es útil para planificar las inversiones en renovación de infraestructuras, identificando las tuberías que necesitan ser reemplazadas debido al deterioro (Gamboa & Rodríguez, 2020).

El uso de estas herramientas avanzadas no solo permite reducir las pérdidas de agua, sino que también contribuye a la mejora en la calidad del servicio y la reducción de costos operativos para las empresas de distribución.

2.1.5 Variables Hidráulicas y Operativas en la Gestión del Agua

Presión en Redes de Distribución

La presión es una de las variables más importantes en el diseño y operación de las redes de distribución de agua potable. La presión en las tuberías se refiere a la fuerza que impulsa el agua a través del sistema, y su correcta gestión es crucial para minimizar las pérdidas de agua y garantizar un suministro eficiente. Según Gamboa y Rodríguez (2020), la presión inadecuada puede provocar problemas como fugas o roturas en las tuberías, lo que incrementa la cantidad de agua no facturada.

En sistemas hidráulicos, una presión demasiado alta puede causar fugas debido a la mayor fuerza en las conexiones de las tuberías y válvulas, mientras que una presión baja podría afectar la capacidad del sistema para entregar agua a las zonas más altas o distantes (Bentley Systems, 2021). Por lo tanto, mantener la presión en un nivel adecuado es esencial para evitar la pérdida de agua y mejorar la eficiencia operativa de la red (Rossman, 1999).

Características de las Tuberías: Diámetro, Material y Edad

Las características de las tuberías, como su diámetro, material y antigüedad, tienen un impacto directo en la eficiencia de la red de distribución de agua y en las pérdidas de agua no facturada.

Diámetro: El diámetro de las tuberías afecta la capacidad de flujo del sistema. Tuberías de pequeño diámetro pueden generar mayores pérdidas de carga y aumentar el riesgo de fugas, mientras que un diámetro adecuado mejora la distribución del agua y reduce la posibilidad de problemas operativos.

Material: El material de las tuberías influye en su durabilidad y resistencia a las fugas. Las tuberías de hierro y acero pueden corroerse con el tiempo, mientras que las de PVC y materiales compuestos tienen una vida útil más larga y son menos propensas a la corrosión (Bentley Systems, 2021).

Edad de las Tuberías: Con el paso del tiempo, las tuberías se deterioran debido al desgaste y la corrosión, lo que aumenta la probabilidad de fugas. La identificación de tuberías antiguas o dañadas y su renovación es esencial para reducir las pérdidas de agua (Ress & Roberson, 2016).

Impacto de las Variaciones de Presión en las Pérdidas de Agua

Las variaciones de presión a lo largo del día pueden tener un impacto significativo en las pérdidas de agua en el sistema. Las fluctuaciones de presión suelen ser causadas por cambios en la demanda de agua, como durante las horas pico. Estas variaciones pueden generar "picos de presión" que, a su vez, causan la ruptura de tuberías o el desgaste acelerado de las infraestructuras (Gamboa & Rodríguez, 2020). Un control adecuado de la presión es, por tanto, esencial para reducir las pérdidas de agua y mejorar la eficiencia del sistema.

2.1.6 Tecnologías de Medición y Monitoreo en Tiempo Real

La incorporación de tecnologías de telemetría y análisis de Big Data ha transformado la gestión de las redes de agua potable. La telemetría permite la transmisión remota y en tiempo real de variables críticas como caudal, presión y niveles de almacenamiento, garantizando un monitoreo continuo de la red. Estas mediciones, integradas en sistemas SCADA, ofrecen a los operadores la capacidad de detectar anomalías de manera temprana y tomar decisiones inmediatas frente a fugas, sobrepresiones o fallas de suministro. Complementariamente, el uso de Big Data posibilita procesar grandes volúmenes de información histórica y operativa,

identificando patrones de consumo, tendencias de deterioro en las tuberías y áreas críticas de pérdidas. La combinación de estas herramientas no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también fortalece la planificación estratégica para la reducción del agua no facturada y la sostenibilidad del recurso hídrico.

Tecnologías de Medición de Caudal y Control de Pérdidas

Las tecnologías de medición avanzadas son fundamentales para la gestión eficiente de las redes de distribución de agua y la reducción del agua no facturada. Estas tecnologías incluyen medidores de caudal inteligentes, sensores de presión y sistemas de monitoreo en tiempo real que permiten una gestión más precisa y oportuna del recurso hídrico.

Los medidores inteligentes permiten la recopilación de datos sobre el consumo de agua en tiempo real, lo que ayuda a detectar posibles fugas o consumos no registrados de manera más eficiente (Gamboa & Rodríguez, 2020). Además, estos medidores pueden enviar datos de manera remota, eliminando la necesidad de lecturas manuales y reduciendo los errores humanos en la medición (Bentley Systems, 2021).

Los sensores de presión colocados en diferentes puntos de la red permiten monitorizar y ajustar la presión de manera dinámica. De acuerdo con Rossman (1999), la variación incontrolada de la presión en las redes de agua es una de las principales causas de las fugas, por lo que contar con sistemas automáticos para regular la presión puede ser clave en la reducción del ANF.

Importancia de la Medición en Tiempo Real para la Reducción de Agua No Facturada

La medición en tiempo real juega un papel crucial en la identificación temprana de problemas en las redes de distribución de agua. La integración de sistemas de telemetría y

monitoreo remoto permite a los operadores recibir datos constantes sobre el estado de la red, lo que facilita la toma de decisiones rápidas para reducir pérdidas de agua (Bentley Systems, 2021).

Los sistemas avanzados de monitoreo también permiten detectar patrones de consumo irregulares, como el consumo no autorizado o el mal funcionamiento de los medidores, lo que ayuda a reducir las pérdidas aparentes de manera eficiente (Ress & Roberson, 2016).

2.1.7 Análisis Económico del Agua No Facturada

Impacto Económico de las Pérdidas de Agua en las Entidades Prestadoras de Servicios

El agua no facturada tiene un impacto económico significativo para las empresas prestadoras de servicios de agua potable. La pérdida de ingresos debido a las fugas y a las mediciones inexactas no solo afecta la sostenibilidad financiera de la empresa, sino que también obliga a aumentar las tarifas para los usuarios (Moe, 2006).

Un estudio de la IWA (International Water Association) estima que la ANF representa un costo de miles de millones de dólares al año a nivel global. En el caso de las redes de distribución en Lima, donde la ANF puede superar el 40%, la reducción de estas pérdidas se traduce en una mayor eficiencia económica para la empresa prestadora, mejorando la capacidad de inversión en infraestructura y ampliación de la red (Idrica, 2023).

Evaluación de Costos y Beneficios de la Implementación de Modelos Hidráulicos Computacionales

La implementación de un modelo hidráulico computacional para la reducción del agua no facturada tiene implicaciones tanto en términos de costos como de beneficios. Aunque la

inversión inicial en tecnologías de modelado y monitoreo puede ser alta, los beneficios a largo plazo superan los costos iniciales al reducir las pérdidas de agua, optimizar el uso de recursos y evitar inversiones innecesarias en infraestructura (Gamboa & Rodríguez, 2020).

La evaluación económica de este tipo de proyectos se basa en un análisis de rentabilidad que considera tanto los ahorros operativos generados por la reducción de pérdidas de agua como el impacto positivo en la calidad del servicio (Rossman, 1999). Además, el análisis de costos debe considerar los beneficios ambientales derivados de la optimización del sistema y la reducción de la huella hídrica.

Rentabilidad de las Estrategias de Reducción de Agua No Facturada

Las estrategias de reducción de agua no facturada, como la sectorización de la red, la gestión de presiones y la renovación de infraestructura, tienen un impacto positivo en la rentabilidad a largo plazo. Según un estudio realizado por Ress y Roberson (2016), la implementación de estrategias de optimización puede reducir hasta un 30% el ANF en sistemas urbanos, lo que resulta en una significativa mejora en la eficiencia económica de las empresas de agua.

La rentabilidad de estas estrategias también se refleja en la mejora del servicio a los usuarios, ya que la reducción de pérdidas de agua mejora la continuidad y calidad del suministro (Idrica, 2023). Además, la reducción del ANF contribuye a la sostenibilidad financiera de las empresas de agua, permitiendo una mayor reinversión en infraestructura y en tecnologías de monitoreo y medición

2.2 Antecedentes

2.2.1 Antecedentes internacionales

López Arboleda, A. (2021). Identificación de los puntos críticos para las pérdidas de agua en la red de distribución de agua potable de la vereda El Rosario del municipio de Manizales-Caldas. *Tesis doctoral*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 250 pp.

La presente investigación tiene como objetivo identificar los puntos críticos para las pérdidas de agua en la red de distribución de agua potable en la vereda El Rosario del municipio de Manizales, Caldas, a través de un análisis hidráulico que permita optimizar el sistema de distribución y reducir el índice de agua no contabilizada (IANC). Se utilizó un modelo hidráulico con el software WATERGEMS para la simulación del sistema, con el fin de ajustar el comportamiento de la red a los datos obtenidos en campo. Además, se realizaron mediciones de caudal y presiones, lo que permitió determinar un IANC de 93 % en el sector de La Bombonera, mucho más alto que el promedio general de la empresa Aguas de Manizales S.A. E.S.P., que es de 24.5 %. Se identificaron cambios bruscos de diámetros y materiales en la red, lo que contribuyó significativamente a las pérdidas no identificadas. En base a estos resultados, se propuso la optimización de las redes, incluyendo la sustitución de tramos de tuberías con materiales más adecuados como polietileno, y la instalación de nuevas válvulas reguladoras. La optimización resultó en la mejora de las presiones de servicio, alcanzando un rango entre 21 y 71 PSI, y se estimó una reducción del IANC en un 73.1 % en el plazo de un año, lo que reflejaría una mejora significativa en la eficiencia operativa y una reducción de las pérdidas no identificadas.

Meza, E. J. R., Carrillo, B. D. G., Yánez, M. S. D., & Méndez, D. F. P. (2025). Métodos de intervención centrales para combatir pérdidas reales y aparentes de agua en sistemas de distribución. *INGENIO, 8*(1), 52-70.

El objetivo de este estudio fue realizar una revisión bibliográfica sobre los métodos de intervención centrales para reducir las pérdidas de agua en redes de distribución, con un análisis cualitativo de 250 documentos, de los cuales se seleccionaron 22 para identificar los métodos más efectivos. El estudio destaca que las pérdidas reales representan el 46% y las pérdidas aparentes el 22%. Además, se analizaron 136 casos de estudio, en los que se observó que el control de presión es el método más eficiente para gestionar el agua no facturada. La investigación también reveló que combinar diversos métodos es una estrategia eficaz para reducir costos. Los indicadores de prevención y análisis de fugas son ampliamente utilizados, con un 43% de aplicación en el manejo de pérdidas aparentes. Este estudio subraya la importancia de implementar estos métodos para prevenir pérdidas económicas considerables y asegurar la sostenibilidad del servicio de agua potable, resaltando que la aplicación de indicadores de gestión de pérdidas es esencial para las empresas de servicios públicos y organismos encargados de la gestión hídrica, garantizando la eficiencia operativa y la conservación del recurso. Asimismo, se destacó que la mayoría de las metodologías propuestas provienen de Europa y Asia, lo que resalta la necesidad de realizar más investigaciones adaptadas a las realidades y necesidades específicas de América Latina.

Saigua Yambay, H. K., & Vimos Ortiz, J. D. (2023). Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de los cantones de Alausí y Colta. *Tesis de licenciatura*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.

El objetivo de esta investigación fue analizar la incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de los cantones Alausí y Colta, en Ecuador, y cuantificarlas a través de un balance hídrico. El estudio también buscó identificar los sectores con la mayor cantidad de fugas en cada cantón utilizando datos proporcionados por los organismos reguladores del recurso. Se aplicaron métodos cuantitativos y cualitativos para procesar los

volúmenes de agua inyectados y facturados, así como para comprender el proceso de reparación de las fugas mediante inspecciones in situ. Los resultados indicaron que el sistema de abastecimiento de agua potable en Alausí presenta un porcentaje de caudal fugado del 28,06%, un rendimiento global del 60,71% y una calificación de gestión "regular", siendo los sectores más afectados "Aypan Chico" y "El Bosque". Por otro lado, en Colta, el porcentaje de fugas alcanzó el 50,73%, con un rendimiento global del 35,73% y una calificación de gestión "inaceptable", siendo el sector más afectado "2 de agosto". En términos económicos, Alausí registró mayores pérdidas anuales debido a un mayor costo de la tarifa básica de agua, alcanzando un máximo de $139,469.46 en 2021, mientras que Colta alcanzó un máximo de $107,288.44 en 2018. Ambos cantones carecen de registros oficiales de reparaciones y denuncias por parte de los usuarios, lo que dificulta un control adecuado de las fugas. Se propone la implementación de un plan para reducir las fugas visibles en ambos cantones, involucrando a los moradores en el reporte y seguimiento, y mejorando el control de los caudales mediante la instalación de macromedidores.

Martínez Artunduaga, G. A., & Chinchilla López, G. A. (2024). Impacto del plan de aseguramiento de servicios públicos en la mejora de la calidad y continuidad en la prestación de servicios esenciales, como el agua potable en Colombia, en el contexto de la ley 142 de 1994. *Revista INGENIO, 8*(1), 52-70.

El objetivo de este estudio fue analizar el impacto del Plan de Aseguramiento de Servicios Públicos en Colombia, específicamente en el servicio de agua potable, dentro del marco normativo establecido por la Ley 142 de 1994. Esta ley regula los servicios públicos en el país, buscando garantizar acceso universal y eficiente a estos servicios. El análisis incluyó la revisión de actividades, estrategias y productos relacionados con la gestión del servicio de agua potable, evaluando la efectividad de las medidas implementadas para mejorar la calidad

y continuidad del servicio. Las conclusiones del estudio destacaron la importancia de una respuesta rápida y eficiente para restablecer el servicio de agua, la gestión y actualización de planos de infraestructura, la implementación de formatos de reporte de fugas, la capacitación continua del personal, y la revisión normativa. Estos elementos son esenciales para mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad del servicio, y enfrentar los desafíos asociados con cada área, asegurando un suministro confiable y de alta calidad en Colombia. A través de un análisis detallado, se identificaron áreas de mejora y se formularon recomendaciones para fortalecer la implementación del Plan de Aseguramiento, con el fin de maximizar su impacto en el bienestar de la población.

Gentil Jácome, J. P. (2024). Análisis comparativo del LPDS (Lean Project Delivery System) y el sistema tradicional utilizado en Colombia para proyectos de construcción. *Monografía de Ingeniería Civil*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

El objetivo de esta investigación fue analizar y comparar el Lean Project Delivery System (LPDS) con el sistema tradicional utilizado en Colombia para la entrega de proyectos de construcción. Se examinaron diversos estudios, tesis y documentos sobre el método LPDS, que se presenta como una alternativa para resolver problemas recurrentes en el sector construcción colombiano, como los retrasos en los cronogramas de proyectos, la falta de seguimiento y control, y la desinformación en el proceso de entrega. A través de un análisis de caso de un hospital construido en España durante la pandemia del COVID-19, donde se implementó el LPDS, se desglosaron las etapas de la metodología y se demostró que esta filosofía puede generar productos de calidad en tiempos récord. La investigación concluyó que el LPDS, basado en la filosofía Lean Construction, se enfoca en minimizar pérdidas y optimizar procesos y actividades antes, durante y después de cada proyecto. Esta metodología permite identificar posibles problemas en la ejecución del proyecto y abordarlos de manera preventiva,

lo que contribuye a la calidad, eficiencia y productividad del proyecto. En Colombia, donde el incumplimiento de tiempos en la entrega de proyectos civiles es una problemática constante, se propuso que la aplicación del LPDS podría mejorar la coordinación entre propietarios y constructores, reduciendo retrasos y asegurando la entrega a tiempo.

2.2.2 Antecedentes nacionales

Avalos Bravo, C. A., & Flores Landa, W. A. (2021). Control de presiones y reducción de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable del Sector VI-Pueblo Joven Augusto B. Leguía en la Ciudad de Tacna. *Tesis de Maestría*. Tacna: Universidad Nacional de Tacna. 125 pp.

El objetivo de esta investigación fue estudiar el control de pérdidas y presiones en el sistema de distribución de agua potable del sector VI-Pueblo Joven Augusto B. Leguía en la ciudad de Tacna. El estudio identificó el índice de pérdidas de agua y evaluó la funcionalidad de las válvulas reductoras de presión, con el fin de mejorar la eficiencia operativa y mitigar las pérdidas en las redes de agua potable. La metodología empleada fue de tipo descriptivo, con un diseño de campo (cuantitativo y cualitativo), utilizando observación y cálculos matemáticos a partir de material de medición.

Los resultados mostraron que el sector presenta un índice de pérdidas de agua potable del 17%, lo que equivale a un volumen de 11,205 m³ por mes, lo cual implica una pérdida económica mensual de S/13,815.77. Aunque las presiones de agua en el sector son generalmente aceptables, se identificó que entre las 00:00:00 y 03:00:00 am, la presión estática alcanza los 42 m.c.a., lo que favorece las fugas. Además, el modelo hidráulico reveló que el área de influencia de las válvulas reductoras de presión es demasiado amplia para ser controlada por una sola válvula.

Se concluyó que es necesario realizar un seguimiento mensual de las pérdidas, reducir las presiones en el rango de 15 a 30 m.c.a., e instalar una válvula reductora de presión de mayor tamaño (DN 160 mm). También se recomendó actualizar el modelo hidráulico y alimentarlo con datos reales del campo para obtener resultados óptimos en la distribución del agua.

Cama Ticona, L., & Huanca Huaricallo, E. G. (2022). Modelamiento hidráulico para el control de pérdidas y gestión del sistema de agua potable de la ciudad de Piura. *Tesis de Ingeniería Civil*. Tacna: Universidad Privada de Tacna. 132 pp.

El objetivo de esta investigación fue desarrollar un modelamiento hidráulico para evaluar el comportamiento de la línea de conducción de agua potable en la ciudad de Piura, con el fin de determinar alternativas de solución para los problemas recurrentes de roturas en tramos de tuberías. El estudio utilizó un enfoque descriptivo con diseño in situ (cuantitativo y cualitativo), empleando observaciones y cálculos matemáticos a partir de datos de campo, siendo los instrumentos principales materiales medidos.

El estudio concluyó que una simulación hidráulica detallada puede identificar el impacto de las pérdidas de agua en el sistema de distribución, revelando que el índice actual de pérdidas (50%) afecta gravemente las zonas menos abastecidas de Piura. Si se reducen las pérdidas de agua, se podría aumentar significativamente el suministro al sistema. Se detectaron áreas desatendidas y cuellos de botella entre sectores operacionales, lo que causaba deficiencias en el abastecimiento. Con la modelación hidráulica, se propuso sectorizar el sistema de distribución, logrando reducir estos cuellos de botella y mejorando la eficiencia operativa.

Flores Mamani, Z. S., & Huallpa Mamani, N. N. (2021). Evaluación de pérdidas de agua en las plantas de tratamiento de agua potable de Calana y Alto Lima, Tacna. *Tesis de Ingeniería Civil*. Tacna: Universidad Nacional de Tacna. 124 pp.

El objetivo de esta investigación fue evaluar las pérdidas de agua en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable de Calana y Alto Lima, ubicadas en la ciudad de Tacna, debido a la escasez hídrica en la región. La investigación propuso alternativas para mitigar los impactos negativos generados por el desecho de aguas residuales al canal Caplina, que abastece áreas agrícolas de la parte baja de Tacna. El estudio se dividió en dos tramos: Tramo I, correspondiente a la Planta de Tratamiento de Calana, y Tramo II, correspondiente a la Planta de Alto Lima, midiendo el volumen de agua desde su captación hasta su tratamiento.

El estudio concluyó que las pérdidas de agua, derivadas principalmente del mantenimiento y lavado de las unidades hidráulicas en ambas plantas, suman un total de 727,508,824 litros de agua al año, lo que podría beneficiar a 10,708 habitantes si se recirculan esos volúmenes de agua desperdiciada. Se identificaron pérdidas de 458,178,424 litros en la Planta de Calana y 269,330,400 litros en la Planta de Alto Lima. Estas pérdidas representan un impacto económico de S/605,519.04 soles anuales debido al costo de la retribución económica a la Autoridad Nacional del Agua y el costo tarifario a los consumidores.

Como alternativa, se propuso un Sistema de Tratamiento de Lodos basado en los procesos de Espesamiento y Lechos de Secado, considerando factores técnicos, ambientales y económicos, como la mitigación de la contaminación en el Canal Caplina y los costos de instalación y mantenimiento del sistema. Finalmente, se sugirió la disposición final de los sólidos en rellenos sanitarios.

Corimanya Carreño, J. P. (2022). Determinación y gestión del agua no facturada (ANF) en los componentes operacional y comercial en el sistema de abastecimiento de agua potable de la EPS Ilo SA, en la localidad de Ilo-2021. *Tesis de Ingeniería Civil*. Ilo: Universidad Privada de Tacna. 180 pp.

El objetivo de esta investigación fue determinar y cuantificar los componentes y el nivel de agua no facturada (ANF) en el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de la EPS Ilo S.A. y, a partir de ello, gestionar el ANF para reducir su porcentaje a niveles técnicos y económicos razonables. Se utilizó la metodología de Balance Hídrico del IWA (International Water Association), calculando los valores a partir de información histórica proporcionada por la Gerencia de Operaciones y la Gerencia Comercial de la EPS Ilo S.A., así como mediante mediciones de campo. En cuanto a la gestión del ANF, se propuso la implementación de una Estrategia de Control de Pérdidas Operacionales utilizando tecnología para pre-localizar y localizar fugas en la red de distribución. Además, se desarrolló un modelo matemático mediante regresión lineal múltiple para gestionar las pérdidas comerciales y estimar la reducción de ANF con base en la micromedición. La investigación determinó un porcentaje de ANF del 42.2% en el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de EPS Ilo S.A. para el año 2021. La hipótesis general fue demostrada, ya que el porcentaje de ANF determinado fue de 42.2%, superior al 40% planteado. Las pérdidas operacionales fueron del 26.2%, superando el 25% propuesto en la subhipótesis. Las pérdidas comerciales fueron de 12.2%, lo que no alcanzó el 15% esperado en la subhipótesis. La estrategia de control de pérdidas operacionales es clave para reducir el ANF, con una reducción del 18.2% en el componente operacional. La implementación del modelo de regresión lineal múltiple para las pérdidas comerciales no tuvo un impacto significativo debido al alto nivel de micromedición (94.9%). El componente más relevante de ANF es el operacional (26.2%), por lo que se recomienda priorizar su gestión. Se

demostró que el Balance Hídrico del IWA es una metodología técnica y económicamente viable frente a otros métodos que requieren más tiempo y costos.

Tarqui Cabana, C. E. (2022). Análisis del índice de pérdida en el sistema de abastecimiento de agua potable en el subsector 27 de la ciudad de Tacna. Tesis de Ingeniería Civil. Tacna: Universidad Nacional de Tacna. 160 pp.

El objetivo de esta investigación fue determinar el índice de pérdida de agua en el sistema de abastecimiento de agua potable en el subsector 27 de la ciudad de Tacna, con el fin de identificar las causas de las altas tasas de agua no facturada y proponer acciones para optimizar el sistema y mejorar la eficiencia del servicio prestado a la población. A través de la metodología de balance hídrico, se calculó el caudal de ingreso, el consumo y la facturación para identificar las pérdidas del sistema. Los resultados mostraron que el índice de pérdidas en el sistema de abastecimiento del subsector 27 alcanzó un 22.32 % de agua no facturada (ANF).

El estudio identificó que las pérdidas de agua se dividen en pérdidas aparentes y pérdidas reales. Las pérdidas aparentes incluyen consumo no autorizado e inexactitudes en los medidores y errores de manejo de datos, mientras que las pérdidas reales comprenden fugas en las conexiones de servicio y fugas en las tuberías de distribución. Los porcentajes de pérdidas en los indicadores del balance hídrico en el subsector 27 fueron: consumo no facturado medido (0.00 %), consumo no facturado no medido (0.01 %), pérdidas aparentes (3.28 %), y pérdidas reales (40.66 %). En total, las pérdidas de agua no comercializada alcanzaron un 43.94 %.

Las principales acciones de mejora propuestas para reducir el índice de pérdidas incluyen la identificación de pérdidas a través de la atención de avisos de los clientes, la evaluación constante, la detección de posibles fugas en campo y la reparación de estas.

CAPITULO 3: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

La implementación de un modelo hidráulico computacional permite diagnosticar las causas del agua no facturada y sustentar propuestas técnicas para reducirla en las redes de distribución del Sector 73, San Borja – Lima.

3.1.2 Hipótesis específicas

Hipótesis Especifica 1.

El análisis de los pasos técnicos y criterios metodológicos permite establecer las bases necesarias para el desarrollo de un modelo hidráulico computacional aplicable a la reducción del agua no facturada en el Sector 73, San Borja – Lima.

Hipótesis Especifica 2.

La identificación y análisis de variables hidráulicas y operativas relevantes en el modelamiento hidráulico computacional permiten sustentar técnicamente estrategias para reducir el agua no facturada en el sistema de distribución del Sector 73, San Borja – Lima.

Hipótesis Específica 3.

La implementación de estrategias operativas sustentadas en el modelamiento hidráulico computacional —como la sectorización de redes, la gestión de presiones y la renovación de infraestructura crítica— contribuye significativamente a la reducción del agua no facturada en el sistema de distribución de agua potable del Sector 73, San Borja – Lima.

3.2 Variables

3.2.1 Variable Independiente

Presión (mca).

Definición de la Variable:

La presión en metros de columna de agua (mca) en las tuberías de la red de distribución, que influye directamente en la eficiencia del sistema y en la capacidad de medición precisa del caudal. Esta variable es clave para identificar áreas de alta pérdida de agua y para implementar estrategias de control de presiones que optimicen el rendimiento de la red.

Operacionalización con fórmula:

El caudal de fuga en una red de distribución se relaciona con la presión mediante una expresión empírica:

$$Q_{fuga} = k * P^N$$

donde:

- Q_{fuga}: caudal de fuga (L/s),
- P: presión en la red (m.c.a.),
- k: coeficiente de fuga dependiente del material y estado de la tubería,
- N: exponente de la relación presión–fuga, con valores típicos entre 0.5 y 1.5 según el IWA (Lambert, 2001).

Esto muestra que un aumento en la presión incrementa de forma más que proporcional el caudal de fuga, lo que justifica la gestión de presiones como estrategia de reducción de ANF

Dimensiones e Indicadores:

D1: Presión Promedio en la Red

Indicadores: Valor promedio de la presión en distintos puntos de la red de distribución, medida en metros de columna de agua (mca).

D2: Variación de la Presión en la Red

Indicadores: Rango de variación de la presión a lo largo del día, que puede generar pérdidas de agua por fugas o ineficiencia en la medición del caudal.

Variable Independiente 2

Diámetro, material y edad de la tubería (años).

Definición de la Variable:

Estas características de las tuberías de la red de distribución influyen en la resistencia al flujo del agua, la posibilidad de fugas y la eficiencia en la medición del caudal. El diámetro de la tubería afecta la velocidad del flujo, el material define la durabilidad y el desgaste, y la edad influye en la probabilidad de fallos estructurales.

Dimensiones e Indicadores:

D1: Diámetro de las Tuberías

Indicadores: Medición del diámetro de las tuberías en milímetros (mm) a lo largo de la red, que influye en la capacidad de conducción de agua y las posibles pérdidas por fricción.

D2: Material de las Tuberías

Indicadores: Clasificación de las tuberías por material (PVC, acero, hierro, etc.), que afecta la durabilidad y las posibilidades de corrosión.

D3: Edad de las Tuberías

Indicadores: Años de servicio de las tuberías, lo que determina su nivel de deterioro y la probabilidad de fallos estructurales.

Operacionalización con fórmulas:

Diámetro y rugosidad:

La pérdida de carga continua se expresa con la fórmula de Hazen–Williams:

$$h_f = 10.67 * \frac{L}{C^{1.852} * D^{4.87}} * Q^{1.852}$$

donde hf es la pérdida de carga (m), L la longitud (m), C el coeficiente de rugosidad, D el diámetro (m) y Q el caudal (m^3/s).
Esto permite relacionar el diámetro y rugosidad de las tuberías con el desempeño hidráulico y las pérdidas.

Edad y material:

El coeficiente de rugosidad C disminuye con el tiempo por corrosión y sedimentación. Por ejemplo, en tuberías de hierro fundido se observa una reducción de 120 a menos de 80 en 20–30 años (Mays, 2010).

Esto operacionaliza la "edad" como un factor de incremento en las pérdidas.

3.2.2 Variable Dependiente:

Agua no Facturada.

Definición de la Variable:

El agua no facturada representa la cantidad de agua distribuida que no ha sido facturada a los usuarios, es decir, el volumen de agua que se ha perdido o no ha sido registrado en el sistema de facturación. Se calcula utilizando la fórmula:

$$Agua\ no\ Facturada = \frac{Volumen\ distribuido - Volumen\ facturado}{Volumen\ distribuido}$$

Dimensiones e Indicadores:

D1: Volumen Distribuido

Indicadores: Total de agua distribuida en m³ por la red de distribución, medido a lo largo de un periodo de tiempo determinado (mensual, anual).

D2: Volumen Facturado

Indicadores: Total de agua facturada a los usuarios en m³, basado en los registros de medición de los usuarios finales.

D3: Agua No Facturada

Indicadores: Cálculo del porcentaje de agua no facturada, utilizando la fórmula: (Volumen distribuido - Volumen facturado) / Volumen distribuido x 100.

CAPITULO 4: MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Tipo de investigación

El presente estudio corresponde al tipo de investigación aplicado y tecnológico, ya que se orienta a la solución de un problema concreto: la elevada tasa de agua no facturada en las redes de distribución de agua potable del Sector 73, San Borja – Lima.

Según Hernández Sampieri, Fernández-Collado y Baptista (2014), la investigación aplicada tiene como finalidad utilizar el conocimiento científico para resolver situaciones específicas de la realidad, mediante propuestas que generen beneficios prácticos y funcionales. Por otro lado, la investigación tecnológica se caracteriza por la aplicación de herramientas técnicas y modelos computacionales que permiten diseñar, simular o evaluar soluciones dirigidas a mejorar procesos en contextos reales.

En este caso, se desarrolla un modelo hidráulico computacional utilizando software especializado como EPANET, lo cual permite simular condiciones operativas del sistema de distribución, identificar causas de pérdidas de agua y proponer estrategias orientadas a su reducción. Esta investigación no solo analiza el estado actual de la red, sino que también permite predecir escenarios y evaluar impactos técnicos y económicos, lo cual refuerza su carácter evaluativo y predictivo.

Como lo plantea Sánchez (2022), este tipo de enfoque permite optimizar la eficiencia de los servicios públicos mediante la integración de tecnologías computacionales en la gestión hidráulica urbana.

4.2 Diseño de la investigación

El presente estudio se enmarca en un diseño de investigación experimental, del tipo cuasiexperimental, ya que se manipulan directamente las variables independientes como la presión y diámetro de las tuberías para observar su efecto sobre la tasa de agua no facturada en el sistema de distribución de agua potable del Sector 73, San Borja – Lima. El análisis se realizará a partir de datos preexistentes y actuales, recolectados en un periodo determinado, lo cual permite evaluar el comportamiento del sistema en su estado actual.

Según Hernández Sampieri, Fernández-Collado y Baptista (2014), un diseño experimental se refiere a "elegir o realizar una acción" y después observar las consecuencias. En este caso, se recurre al uso de simulaciones y modelamientos hidráulicos computacionales para estudiar el sistema, utilizando herramientas especializadas como EPANET.

Las variables consideradas en el estudio —presión, diámetro, material, antigüedad de las tuberías, caudal y presencia de fugas— serán analizadas mediante simulación, permitiendo generar escenarios predictivos y evaluar estrategias operativas con un mínimo de alteración física de la infraestructura. Este enfoque posibilita tomar decisiones técnicas basadas en evidencia, con el objetivo de reducir el agua no facturada en el sistema de distribución.

4.3 Método de la Investigación

La presente investigación emplea un método descriptivo y analítico. Según Hernández Sampieri, Fernández-Collado y Baptista (2014), el método descriptivo permite caracterizar situaciones tal como se presentan en la realidad, con el fin de identificar patrones, comportamientos y relaciones entre variables. En este caso, se describirán las condiciones hidráulicas y operativas del sistema de distribución de agua potable del Sector 73, San Borja –

Lima, incluyendo variables como presión, caudal, estado de la infraestructura, material de las tuberías y localización de pérdidas.

Complementariamente, el método analítico se utilizará para descomponer el sistema en sus componentes técnicos e interpretar las interacciones entre las variables involucradas. Este análisis permitirá establecer relaciones causales entre los factores identificados y el volumen de agua no facturada, a fin de proponer soluciones basadas en evidencia técnica.

El estudio se basará en datos históricos proporcionados por la entidad prestadora del servicio. A partir de estos datos, se construirá un modelo hidráulico computacional utilizando software especializado como EPANET. Este modelo permitirá simular distintos escenarios operativos, evaluar estrategias de mejora (sectorización, gestión de presiones, renovación de infraestructura) y estimar su impacto en la reducción del agua no facturada.

La validación del modelo se realizará a través de la comparación de resultados simulados con datos reales disponibles (presiones y caudales históricos), y mediante revisión por expertos en hidráulica urbana, lo cual asegurará la coherencia técnica y la fiabilidad de los resultados obtenidos.

4.4 Población o universo de estudio

La población objetivo de este estudio está constituida por las redes de distribución de agua potable en el Sector 73 de San Borja, Lima. Este sector ha sido seleccionado como caso de estudio debido a su alta tasa de agua no facturada y a la necesidad de optimizar su sistema de distribución. A través del modelado hidráulico computacional, se analizarán los aspectos clave de la infraestructura de distribución, como las tuberías, las válvulas de control, y los puntos críticos donde se presentan mayores pérdidas de agua. El estudio se centrará

específicamente en las variables que afectan la eficiencia del sistema y en cómo el modelado hidráulico puede contribuir a la reducción de estas pérdidas, mejorando la gestión del agua en la zona.

4.5 Unidad de Análisis

La unidad de análisis del presente estudio está constituida por los componentes funcionales de la red de distribución de agua potable del Sector 73, San Borja – Lima. Esto comprende los tramos de tuberías, nodos de consumo, válvulas de control, puntos de fuga identificados y elementos de infraestructura hidráulica que conforman el sistema operativo del sector.

Sobre esta unidad se aplicarán simulaciones hidráulicas computacionales, utilizando software especializado, con el propósito de evaluar el comportamiento del sistema bajo distintas condiciones operativas. El análisis técnico de estos componentes permitirá identificar las causas del agua no facturada y proponer estrategias específicas para su reducción, como la sectorización de la red, la regulación de presiones y la renovación de infraestructura crítica.

4.6 Tamaño de Muestra

Para este estudio, se considera la red de distribución de agua potable en el Sector 73 de San Borja, Lima, como la muestra principal. Aunque el análisis se centrará en este sector específico, el modelo hidráulico computacional desarrollado y los resultados obtenidos pueden ser aplicables a otras zonas de Lima con características y problemas similares relacionados con el agua no facturada. El tamaño de la muestra se limita a la infraestructura del Sector 73 debido a la disponibilidad de datos específicos y el enfoque particular de la investigación, pero los

resultados servirán como base para la implementación de estrategias similares en otros sectores urbanos de la ciudad. Este enfoque permitirá extrapolar las soluciones propuestas a otras áreas con redes de distribución de agua potable que enfrentan problemas de eficiencia en la medición y altas tasas de pérdidas de agua.

4.7 Técnica de Recolección de Datos

La técnica principal utilizada en esta investigación es el análisis documental de fuentes secundarias, centrado en la recopilación de información técnica proveniente de entidades oficiales, particularmente de la empresa prestadora del servicio de agua potable en Lima (SEDAPAL), así como de reportes de organismos reguladores como SUNASS y otras fuentes complementarias.

Se recopilaron registros históricos y técnicos relacionados con el sistema de distribución de agua potable del Sector 73, San Borja – Lima, incluyendo:

- Lecturas históricas de caudal y presión en puntos de control de la red.
- Reportes de fugas e intervenciones operativas.
- Características de la infraestructura: diámetro, longitud, material y antigüedad de las tuberías.
- Planos catastrales y esquemas hidráulicos del sector.
- Datos de consumo y demanda registrada.

Estos datos serán empleados para alimentar, construir y validar el modelo hidráulico computacional en el software EPANET. La validación del modelo se realizará a través de la comparación con registros operativos reales previamente recopilados por SEDAPAL, así como

mediante revisión por expertos técnicos que aseguren la consistencia del modelo con las condiciones reales del sistema.

4.7.1 Instrumentos de Recolección de Datos

Para sistematizar la recolección, organización y análisis de la información, se utilizarán los siguientes instrumentos:

Fichas de levantamiento de campo

Instrumento diseñado para recopilar información clave de cada tramo o nodo hidráulico**,** que será incorporada posteriormente al modelo.
Las fichas incluirán, como mínimo, los siguientes campos: Código del tramo o nodo hidráulico

- Código del tramo o nodo hidráulico
- Diámetro de tubería (mm)
- Longitud de tramo (m)
- Material de la tubería
- Año de instalación
- Presión media registrada (m.c.a.)
- Caudal medio (L/s)
- Coordenadas geográficas
- Registro histórico de fugas
- Observaciones técnicas relevantes

Planos y catastro técnico de redes

Documentación oficial proporcionada por SEDAPAL o la Municipalidad de San Borja, utilizada para estructurar la red en el modelo hidráulico. Estos documentos permitirán la

digitalización precisa de la red en el software. Los planos proporcionados por SEDAPAL se visualizan en el ANEXO N°1

Base de datos histórica de operación hidráulica

Conjunto de registros operativos sobre caudales, presiones, fugas, consumo y reportes de mantenimiento. Estos datos serán depurados y organizados en tablas estructuradas para su ingreso al modelo computacional y para su posterior análisis técnico.

Software de simulación hidráulica (EPANET)

Aunque no constituye un instrumento de recolección tradicional, el software cumple una función central al integrar los datos recolectados, realizar simulaciones, generar escenarios y validar el comportamiento hidráulico del sistema bajo distintas condiciones operativas.

CAPITULO 5: PROCEDIMIENTO

El procedimiento a seguir en el "Modelamiento Hidraulico Computacional para la Reduccion del Aagua no Facturada en las redes de distribución de Agua Potable en el Sector 73, San Borja, Lima", esta ligado a los objetivos específicos y que a continuación se detallan, y con los cuales se lograría el objetivo principal.

5.1 Objetivo Específico 1

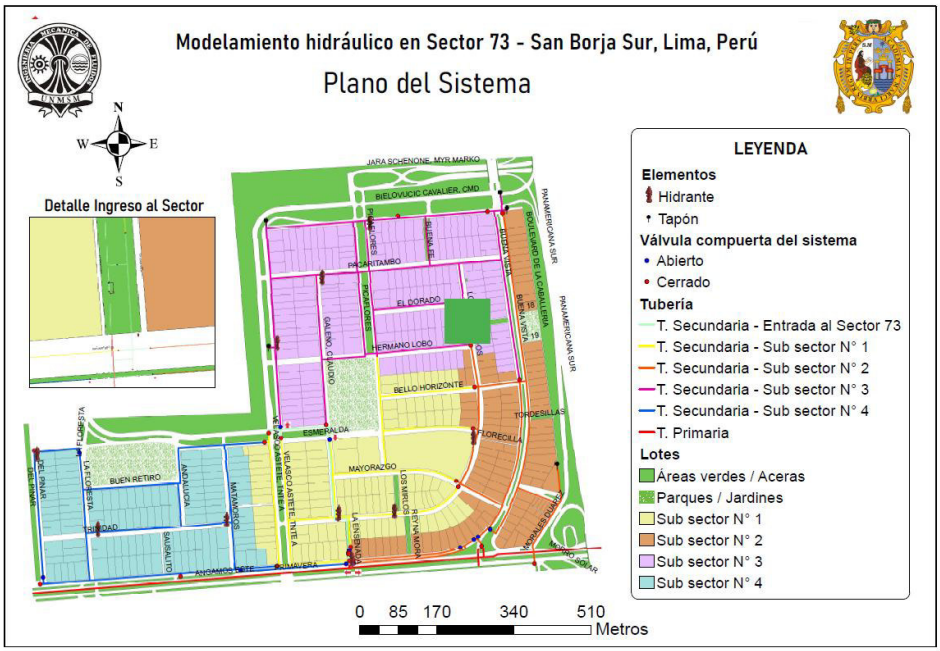
Determinar los pasos y consideraciones necesarias para elaborar un modelo hidráulico computacional que contribuya a la reducción del agua no facturada en las redes de distribución de agua potable del Sector 73, San Borja - Lima.

5.1.1 Recopilación de Data Primaria

Consiste en la adquisición de toda la información base del sistema. Esto incluye:

- Obtención de la planimetría oficial, datos del Sistema de Información Geográfica (GIS)

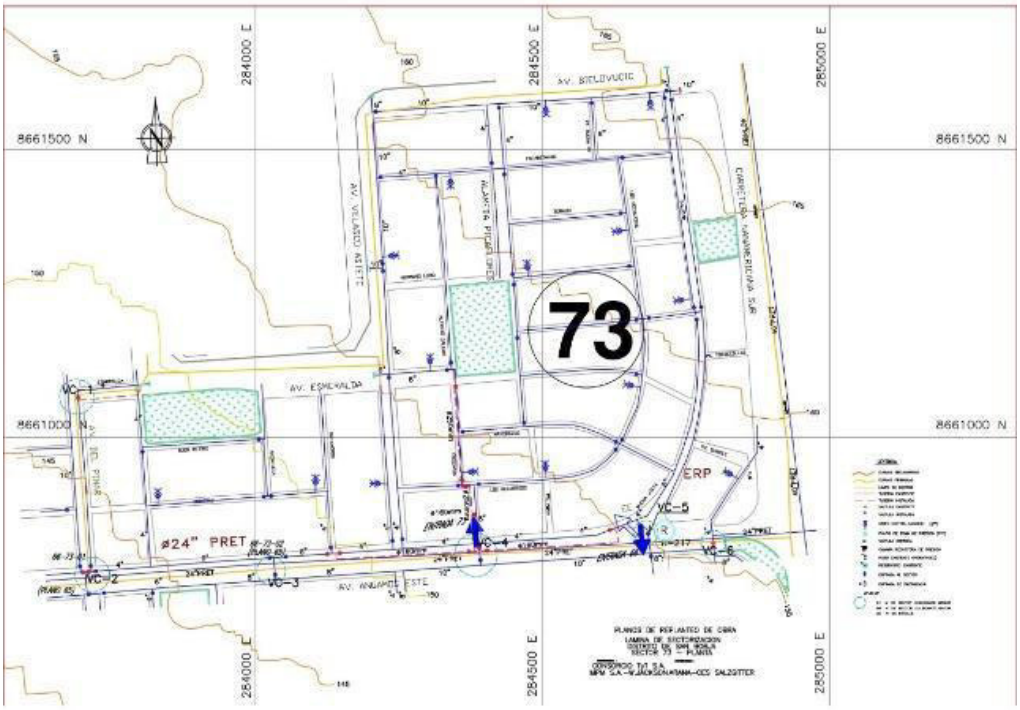
Figura 2. *Planimetría base del sistema de agua potable de la zona de estudio, elaborada con información oficial de SEDAPAL (GIS y planos CAD).*



Nota. La planimetría fue elaborada con base en datos oficiales de SEDAPAL y del Sistema de Información Geográfica (GIS). La información incluye geometría de la red, diámetros, materiales de tuberías y localización de válvulas y accesorios, se viasualiza en el Anexo N°1.

Planos CAD de SEDAPAL para definir la geometría exacta de la red (ubicación, diámetros, materiales y longitudes de tuberías; localización de válvulas, cruces y accesorios. Los planos proporcionados se visualizan en el Anexo N°2

***Figura 3**. Plano CAD de la red de agua potable del sector 73, con indicación de tuberías, válvulas, cruces y accesorios*



Nota. El plano muestra la red existente en el sector 73

La recopilación de curvas de nivel del terreno para asignar las cotas topográficas a cada nodo de la red

Figura 4. *Plano topográfico con curvas de nivel del área de estudio para la asignación de cotas a los nodos de la red.*

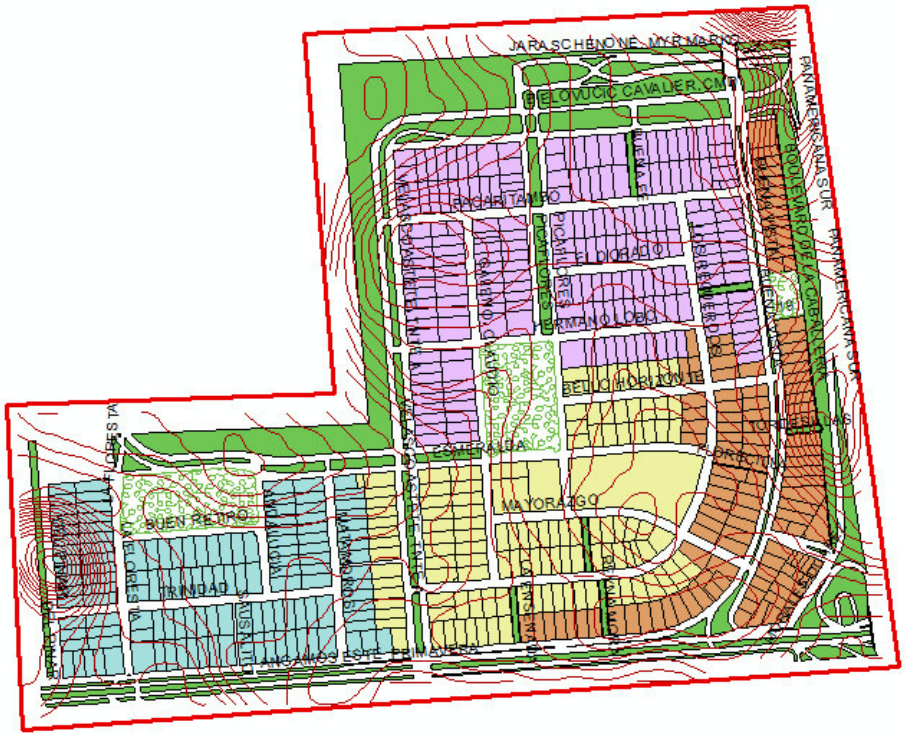

JARA SCHENONE - MYRMEX
BELGRANO CAVALIERI CNT
PANAMERICANA SUR
BOULEVARD DE LA CABALLERIA
PANAMERICANA SUR
PASAJE MARIA
PASAJE MARIA
PASAJE MARIA

Tabla 1. *Tabla de historial de incidencias (roturas, reparaciones) de usuarios en el año 2023.*

Cod Incidencia	**575944**	**602635**	**604673**	**630538**
NIS	2747479	2616095	2585022	2599893
Estado	RESUELTO	RESUELTO	RESUELTO	RESUELTO
Tipo	IMPREVISTA	IMPREVISTA	IMPREVISTA	IMPREVISTA
Municipio	SAN BORJA	SAN BORJA	SAN BORJA	SAN BORJA
Localidad	URB CHACARILLA DEL ESTANQUE	URB CHACARILLA DEL ESTANQUE	URB CHACARILLA DEL ESTANQUE	URB CHACARILLA DEL ESTANQUE
Calle	210 LECT AL FLORESTA	341 OTRO 0345 AV BIELOVUCIC CAVALIER, JUAN	290 296 AV ESMERALDA	990 LECT AV VELASCO ASTETE, ALEJANDRO
Fecha detección	05/08/2022 19:02:44	16/02/2023 12:46:42	06/03/2023 14:28:17	11/10/2023 15:08:34
Fecha resolución	05/08/2022 22:46:16	16/02/2023 21:55:56	06/03/2023 21:56:42	11/10/2023 19:33:21
Observación	TR4 INF. E.LSR. URPAY.	TUBERÍA ROTA DE 4" AFECTADA X TERCEROS, EN AV JUAN BIELOVICIC 341 URB. CHACARILLA, SAN BORJA	TUBERÍA MATRIZ ROTA DE 4" EN AV LA ESMERALDA 290 URB. CHACARILLA DEL ESTANQUE, SAN BORJA	TUBERÍA MATRIZ ROTA DE 4" EN AV VELASCO ASTETE FTE AL 991 URB. CHACARILLA, SAN BORJA

Nota. El formato permite registrar información detallada de cada incidencia, incluyendo código, NIS, estado, tipo, municipio, localidad, calle, fechas de detección y resolución, así como observaciones. Su objetivo es consolidar los datos operativos para mejorar la gestión, trazabilidad y atención de reclamos de usuarios en el sistema de agua potable.

Tabla 2. *Tipos de reclamos registrados en el sistema de agua potable en el sector 73*

Tipo de reclamo	**Cantidad**
Aniego	3
Baja presión (en predio)	7
Baja presión (zonal)	2
Falta de agua (en predio)	18
Falta de agua (zonal)	5
Falta de tapa en la caja de control	5
Filtración de agua	4
Fuga de agua en la caja de control	7
Obras inconclusas	1

Nota. registros de reclamos SEDAPAL (Sector 73, 2023). Elaboración propia.

5.1.2 Parametrización de Demandas y Consumos:

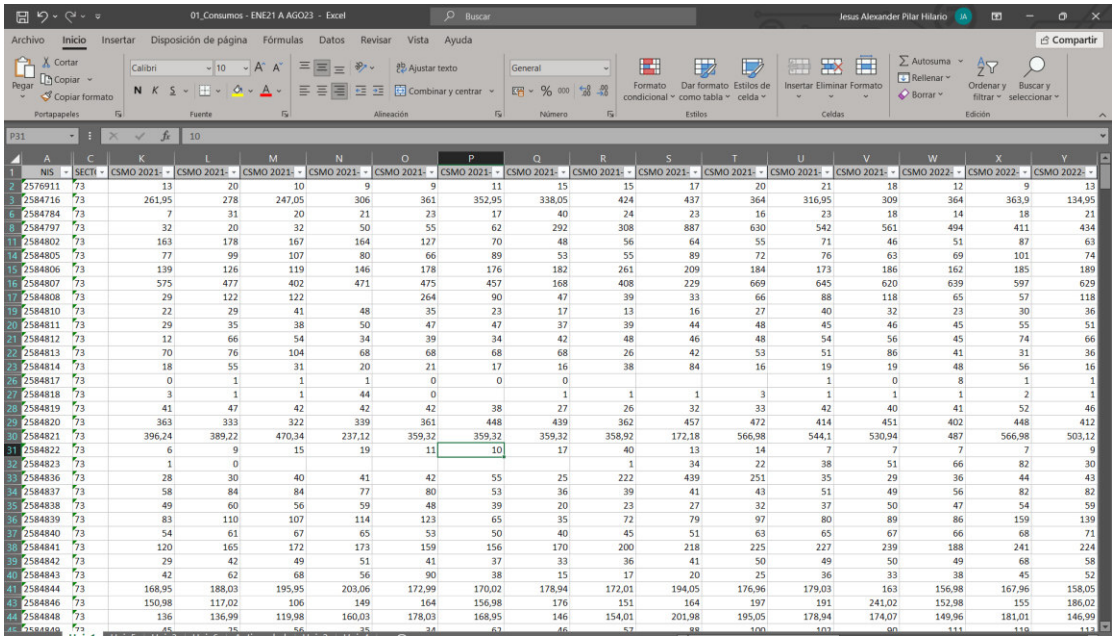
En paralelo, se analiza la base de datos de consumos históricos (mínimo 12 meses) proporcionada por la empresa operadora SEDAPAL. Esta data se desglosa por categorías de usuario (doméstico, comercial, especial). El objetivo es calcular el consumo promedio diario para cada subsector.

Tabla 3. *Estado de conexión de los suministros de agua potable*

Estado de conexión	Cantidad
Baja forzada	9
Baja por retiro de conexión	65
Baja voluntaria	2
Cortado por impago	9
Situación correcta	585
Total	670

Nota. base comercial de SEDAPAL (corte 2023). Elaboración propia.

Figura 5. *Consumo histórico mensual de agua potable por categoría de usuario (doméstico, comercial y especial).*



NIS	SECTI	CSMO 2021-	CSMO 2021-	CSMO 2021-	CSMO 2021-	CSMO 2021-	CSMO 2021-	CSMO 2021-	CSMO 2021-	CSMO 2021-	CSMO 2021-	CSMO 2021-	CSMO 2021-	CSMO 2022-	CSMO 2022-	CSMO 2022-
2576911	73	13	20	10	9	9	11	15	15	17	20	21	18	12	9	13
2584716	73	261,95	278	247,05	306	361	352,95	338,05	424	437	364	316,95	309	364	363,9	134,95
2584784	73	7	31	20	21	23	17	40	24	23	16	23	18	14	18	21
2584797	73	32	20	32	50	55	62	292	308	887	630	542	561	494	411	434
2584802	73	163	178	167	164	127	70	48	56	64	55	71	46	51	87	63
2584805	73	77	99	107	80	66	89	53	55	89	72	76	63	69	101	74
2584806	73	139	126	119	146	178	176	182	261	209	184	173	186	162	185	189
2584807	73	575	477	402	471	475	457	168	408	229	669	645	620	639	597	629
2584808	73	29	122	122		264	90	47	39	33	66	88	118	65	57	118
2584810	73	22	29	41	48	35	23	17	13	16	27	40	32	23	30	36
2584811	73	29	35	38	50	47	47	37	39	44	48	45	46	45	55	51
2584812	73	12	66	54	34	39	34	42	48	46	48	54	56	45	74	66
2584813	73	70	76	104	68	68	68	68	26	42	53	51	86	41	31	36
2584814	73	18	55	31	20	21	17	16	38	84	16	19	19	48	56	16
2584817	73	0	1	1	1	0	0	0				1	0	8	1	1
2584818	73	3	1	1	44	0		1	1	1	3	1	1	1	2	1
2584819	73	41	47	42	42	42	38	27	26	32	33	42	40	41	52	46
2584820	73	363	333	322	339	361	448	439	362	457	472	414	451	402	448	412
2584821	73	396,24	389,22	470,34	237,12	359,32	359,32	359,32	358,92	172,18	566,98	544,1	530,94	487	566,98	503,12
2584822	73	6	9	15	19	11	10	17	40	13	14	7	7	7	7	9
2584823	73	1	0						1	34	22	38	51	66	82	30
2584836	73	28	30	40	41	42	55	25	222	439	251	35	29	36	44	43
2584837	73	58	84	84	77	80	53	36	39	41	43	51	49	56	82	82
2584838	73	49	60	56	59	48	39	20	23	27	32	37	50	47	54	59
2584839	73	83	110	107	114	123	65	35	72	79	97	80	89	86	159	139
2584840	73	54	61	67	65	53	50	40	45	51	63	65	67	66	68	71
2584841	73	120	165	172	173	159	156	170	200	218	225	227	239	188	241	224
2584842	73	29	42	49	51	41	37	33	36	41	50	49	50	49	68	58
2584843	73	42	62	68	56	90	38	15	17	20	25	36	33	38	45	52
2584844	73	168,95	188,03	195,95	203,06	172,99	170,02	178,94	172,01	194,05	176,96	179,03	163	156,98	167,96	158,05
2584846	73	150,98	117,02	106	149	164	156,98	176	151	164	197	191	241,02	152,98	155	186,02
2584848	73	136	136,99	119,98	160,03	178,03	168,95	146	154,01	201,98	195,05	178,94	174,07	149,96	181,01	146,99

Nota. Datos proporcionados por SEDAPAL para el cálculo del consumo promedio diario por subsector.

Se realiza una campaña de medición para la parametrización de consumo por tipo de cliente y se definen los patrones de consumo horario que representen el comportamiento de la demanda a lo largo de un día típico y un fin de semana.

Para este trabajo se hará uso de dataloggers que fueron cedidos en calidad de préstamo por SEDAPAL.

Se tomó 5 tipos de abonados (colegio, residencia, restaurante, y demás) para ser medidos durante una semana y de esa manera tener el patrón de consumo

Tabla 4. *Principales usuarios con mayor consumo promedio en el año 2023 – San Borja*

NIS	Usuario	Consumo promedio (m³)
6743740	(tienda de muebles)	929.79
2584797		823.88
2614582	Vivienda multifamiliar	739.01
6759011	(restaurante)	623.13
2598476		611.67

Nota. Promedios mensuales 2023; fuente SEDAPAL. Elaboración propia.

Figura 6*. Instalación de datalogger en la caja de medidor de agua*



Nota. Instalación del equipo datalogger en la caja del medidor de agua de un abonado, como parte de la campaña de medición desarrollada.

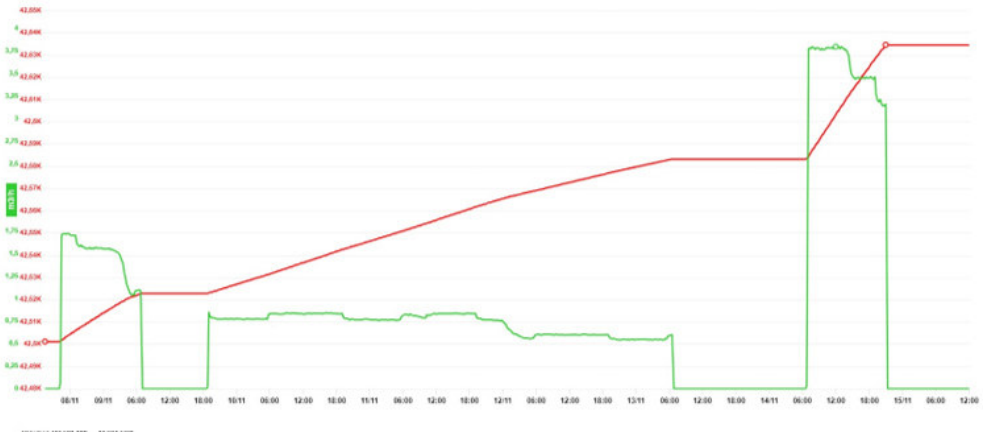
***Figura** 7. Ubicación superficial de la caja de medidor instrumentada*



Nota. Vista exterior de la zona donde se ubica la caja de medidor con datalogger, en un entorno residencial.

***Figura 8**. Curva de consumo horario – Subsector 1 (NIS 2584820)*

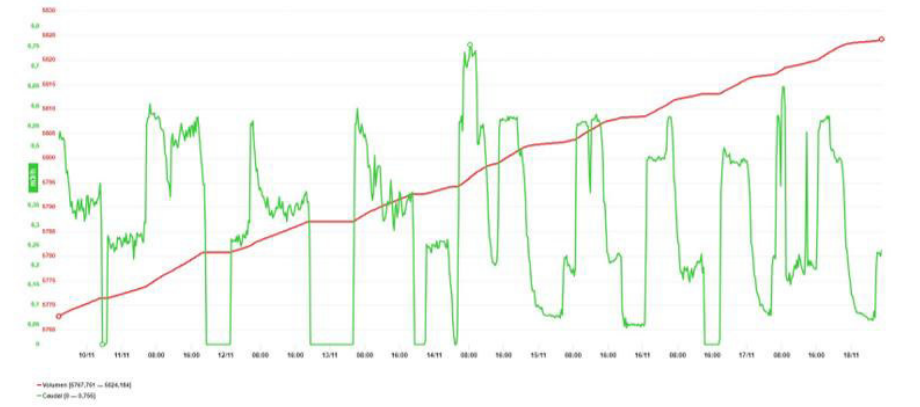
GIS		CLIENTES ESPECIALES		ANÁLISIS	
ID	SUB -SECTOR	NIS	OFICINA	PERIODO DE EVALUACIÓN	NOMBRE DEL EQUIPO DATALOGGER
89	1	2584820	EC SURQUILLO	08/11 al 17/11 del 2023	NIS 5



Nota. Registro horario del consumo de agua del Subsector 1 durante el periodo del 08/11 al 17/11/2023, obtenido mediante datalogger.

***Figura 9**. Curva de consumo horario – Subsector 2 (NIS 2732669)*

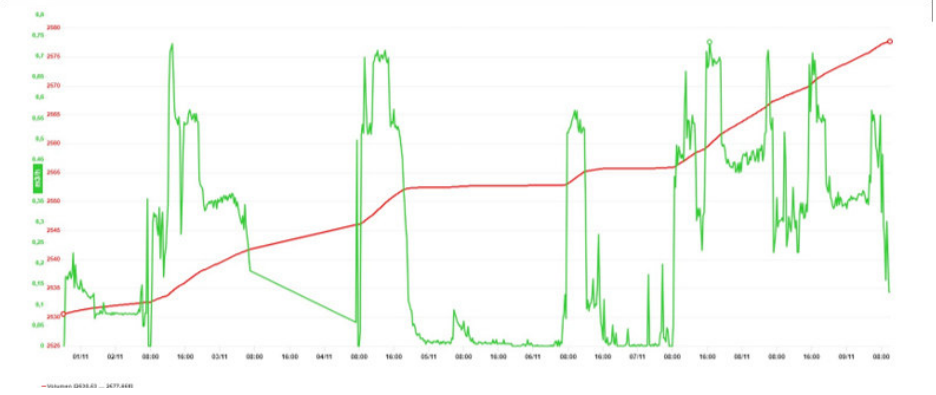
GIS		CLIENTES ESPECIALES		ANÁLISIS	
ID	SUB -SECTOR	NIS	OFICINA	PERIODO DE EVALUACIÓN	NOMBRE DEL EQUIPO DATALOGGER
257	2	2732669	EC SURQUILLO	10/11 al 18/11 del 2023	NIS 6



Nota. Registro horario del consumo de agua del Subsector 2 durante el periodo del 10/11 al 18/11/2023, obtenido mediante datalogger.

***Figura 10**. Curva de consumo horario – Subsector 3 (NIS 6693667)*

GIS		CLIENTES ESPECIALES		ANÁLISIS	
ID	SUB -SECTOR	NIS	OFICINA	PERIODO DE EVALUACIÓN	NOMBRE DEL EQUIPO DATALOGGER
521	3	6693667	EC SURQUILLO	01/11 al 09/11 del 2023	NIS 3



Nota. Registro horario del consumo de agua del Subsector 3 durante el periodo del 01/11 al 09/11/2023, obtenido mediante datalogger.

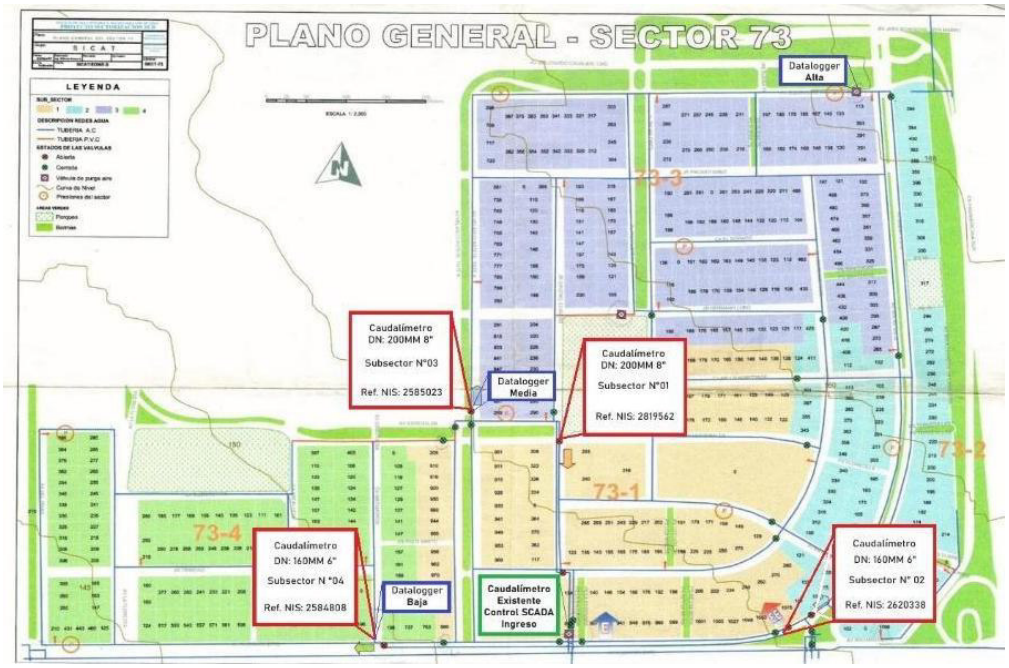
Se adjunta panel fotográfico en el Anexo N°3.

5.1.3 Mediciones de Campo para Calibración

Para asegurar la precisión del modelo, se diseña e implementa una campaña de medición *in situ*. Esto implica:

Localización e inspección de subsectores hidráulicos existentes.

Figura 11. *Plano general del Sector 73 con ubicación de equipos de medición*



Nota. Se muestra la localización de caudalímetros y dataloggers instalados en los subsectores hidráulicos del Sector 7-3, como parte de la campaña de medición in situ para la validación del modelo hidráulico, se adjunta panel fotográfico en el Anexo N°3.

La verificación y/o instalación de instrumentación (caudalímetros y registradores de presión - data loggers) en las entradas de estos subsectores y en puntos críticos de la red, en este caso se hará uso de los caudalímetros ultrasónicos instalados y dataloggers proporcionados por SEDAPAL, se adjunta plano de localización de instrumentación en el Anexo N°4.

Se adjunta ficha técnica de equipos utilizados para la medición en el Anexo N°5.

Figura 12. *Instalación de caudalímetro ultrasónico y datalogger en cámara de válvulas*



Nota. Verificación de la instrumentación existente en infraestructura del sector para la medición de caudales en puntos estratégicos de la red.

Figura 13. *Punto de instalación del caudalímetro en subsector hidráulico*



Nota. Cámara subterránea con caudalímetro ultrasónico y data logger instalado para el monitoreo en tiempo real de caudales y presiones.

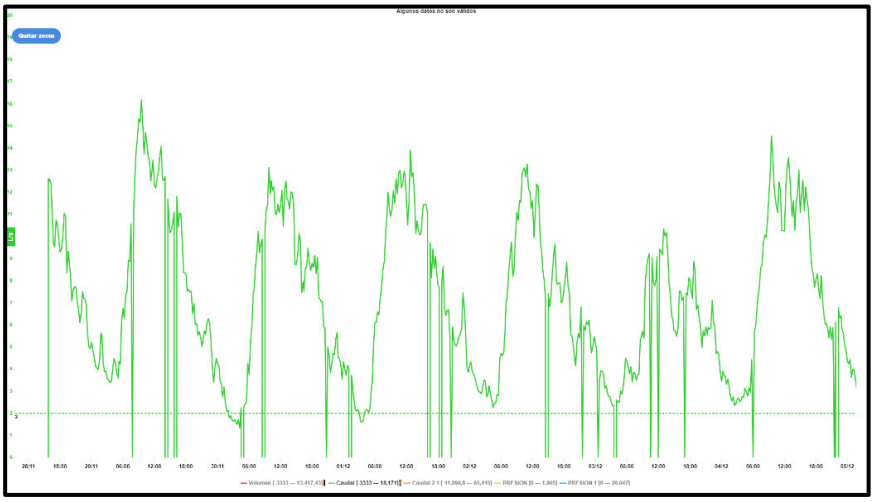
***Figura 14**. Instalación de instrumentos de medición en punto crítico de red*



Nota. Instrumentación instalada en un nodo crítico del sistema para evaluar condiciones hidráulicas durante la campaña de medición.

La medición continua de caudales y presiones durante un período mínimo de 7 días para capturar la variabilidad del sistema.

***Figura 15**. Curva de caudal registrado durante 7 días continuos*

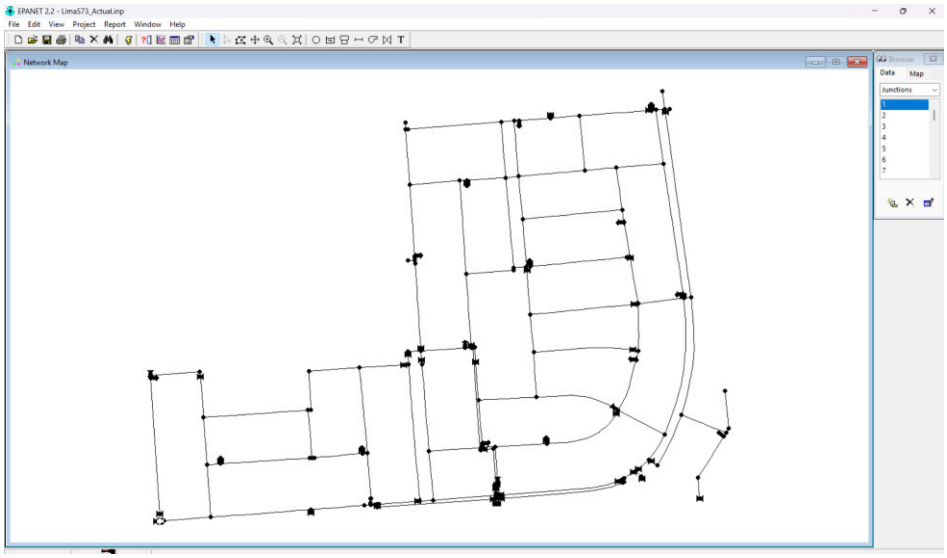


Nota. Medición continua de caudales mediante datalogger para capturar la variabilidad del sistema a lo largo de una semana típica.

5.1.4 Construcción y Calibración del Modelo

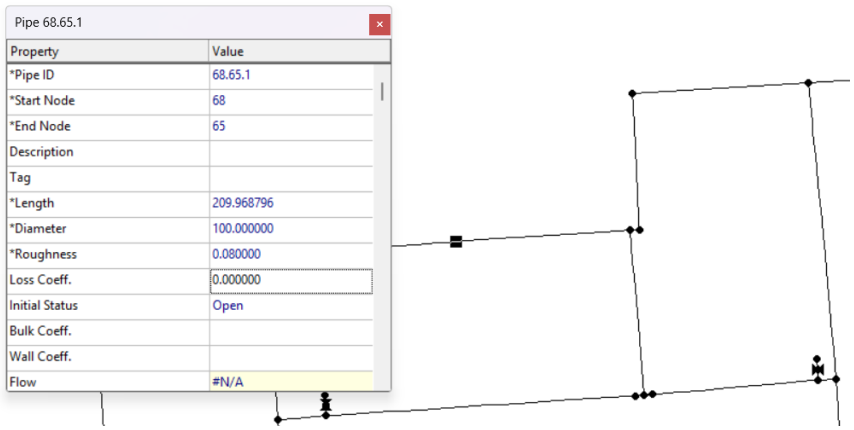
Con toda la información anterior, se construye el modelo en la plataforma del software EPANET. La data GIS se carga y se depura. Posteriormente, se asignan las demandas y los patrones de consumo calculados. El proceso de calibración se realiza mediante simulación hidráulica, comparando los valores de presión generados por el modelo con los valores reales medidos en campo. Se ajustan iterativamente los parámetros de rugosidad de las tuberías (Coeficiente C de Hazen-Williams) hasta que el error entre los valores simulados y medidos sea mínimo (± 2 metros de columna de agua), considerándose el modelo validado y representativo de la red real.

***Figura 16**. Modelo hidráulico de la red en EPANET*



Nota. Elaboración propia en EPANET con datos operativos y cartografía base de SEDAPAL; simulación de 24 h para condiciones representativas del sector 73.

***Figura 17**. Propiedades de tubería en EPANET*



Nota. Captura del diálogo de propiedades de tuberías del modelo; diámetros y materiales según catastro y registros de SEDAPAL.

5.2 Objetivo Específico 2

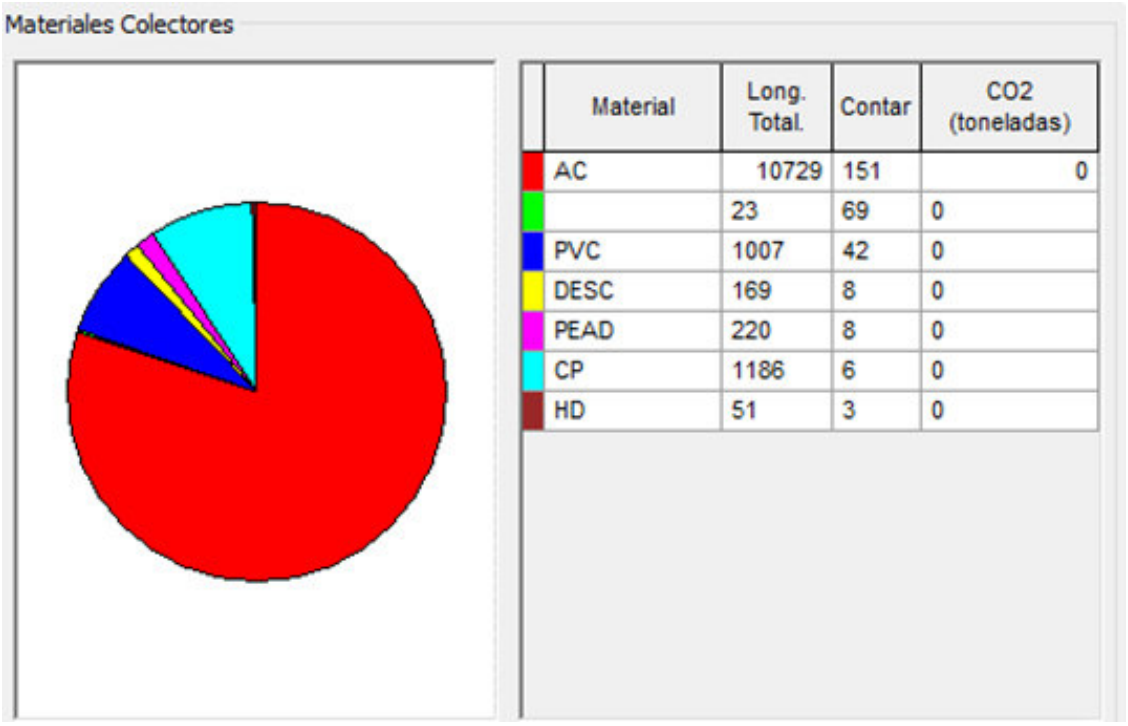
Determinar las variables hidráulicas y operativas que intervienen en el modelamiento computacional para la reducción del agua no facturada en las redes de distribución de agua potable del Sector 73, San Borja, Lima.

5.2.1 Identificación de Variables de Entrada:

Se realiza un inventario y categorización de todas las variables requeridas por el software de simulación. Estas se clasifican en:

Geométricas: Diámetro, longitud, material y rugosidad (Darcy Weisbach) de cada tubería; ubicación y elevación (cota) de cada nodo; localización y estado (abierto/cerrado) de válvulas y accesorios.

Figura 18. *Inventario de materiales de colectores en la red, categorizados por tipo y longitud total.*



Material	Long. Total.	Contar	CO2 (toneladas)
AC	10729	151	0
	23	69	0
PVC	1007	42	0
DESC	169	8	0
PEAD	220	8	0
CP	1186	6	0
HD	51	3	0

Nota. El gráfico y la tabla muestran la proporción de materiales de tuberías en el sistema, se nota mayor proporción de tuberías de asbesto cemento, el cual tiene más de 40 años de vida.

Tabla 5. *Tabla de rugosidad inicial según material*

Material	Rugosidad inicial
Polietileno	0.0015
PVC	0.0015
DESC	0.01
Fibrocemento (AC)	0.31
CP y HD	0.26

Nota. Se incluyen rugosidad inicial.

Demanda: Consumo promedio diario por sector; patrones de variación horaria de la demanda; número de conexiones domiciliarias por nodo; consumo de clientes especiales (colegios, clínicas, etc.).

Tabla 6. *Tabla de consumo máximo anual y número de conexiones por periodo (2021–2023).*

Consumo máximo en m³	2023	2022	2021
No consumen	83	78	98
0–100	256	261	260
100–250	226	216	203
250–500	86	96	90
500–750	15	15	12
>750	4	4	7

Nota. Se muestran las conexiones y consumos registrados en los últimos años.

Tabla 7. *Tabla de clientes especiales y su consumo promedio en el año 2023*

NIS	Usuario	Consumo promedio (m³)
6743740	Natuzzi Editions (tienda de muebles)	929.79
2584797	La Bistecca Buffet Libre	823.88
2614582	Vivienda multifamiliar	739.01
6759011	Panchita Chacarilla (restaurante)	623.13
2598476	Comisaría Chacarilla del Estanque	611.67

Nota. Elaboración propia a partir de los registros de consumo promedio anual de usuarios no domésticos en el Sector 73 - San Borja (año 2023), proporcionados por SEDAPAL.

Operativas y de Control: Caudal de entrada al sistema medido (SCADA o caudalímetros); presión de salida de la fuente de abastecimiento; estado de las válvulas límite que definen los sectores.

La fuente de abastecimiento del sector 73 es una tubería de 10 pulgadas ubicada en la av. primavera, al ingreso al sector se tiene un sistema SCADA en el cual como se observa en la imagen está compuesta por una Válvula reductora de presión, un actuador, un caudalímetro, un baipás, y demás elementos los cuales registran la presión y caudal al ingreso del sector.

Figura 19. *Sistema hidráulico de control en la tubería de ingreso al sector 73*



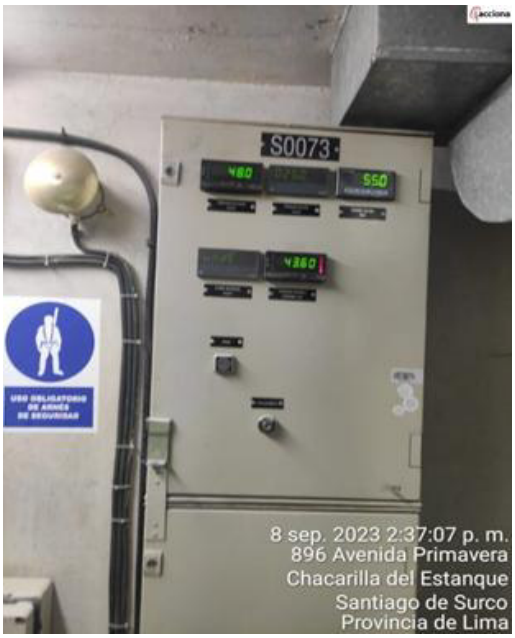
Nota. Incluye válvula reductora de presión, caudalímetro, actuador y baipás.

Figura 20*. Controlador del sistema SCADA para registro de caudal y presión.*



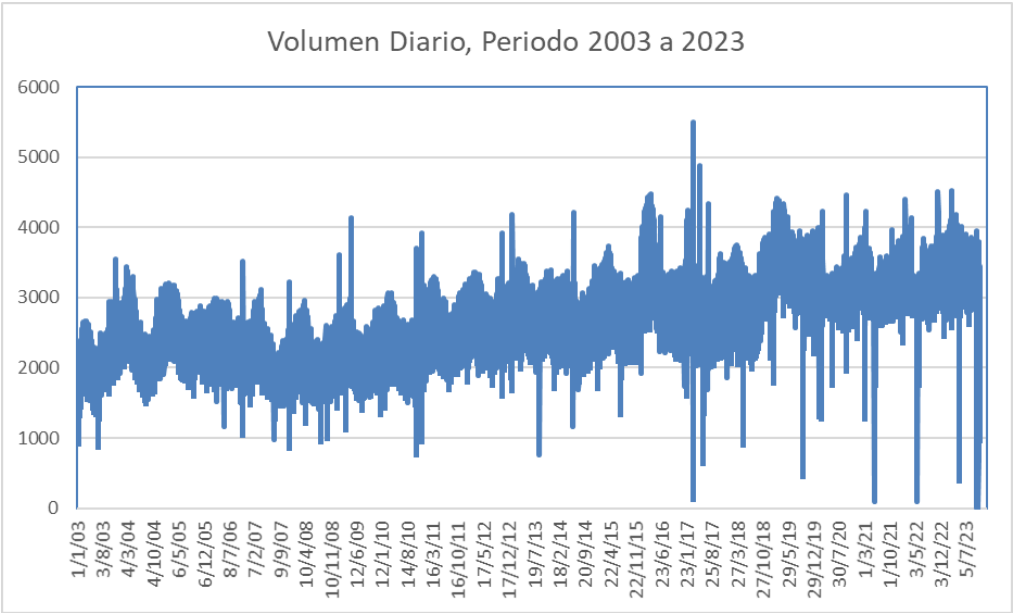
Nota. Permite monitorear en tiempo real los parámetros de operación.

Figura 21. *Tablero eléctrico de control asociado al sistema SCADA*



Nota. Registra valores de presión, caudal y estado operativo del sistema.

Figura 22. *Volumen diario registrado en el periodo 2003–2023*



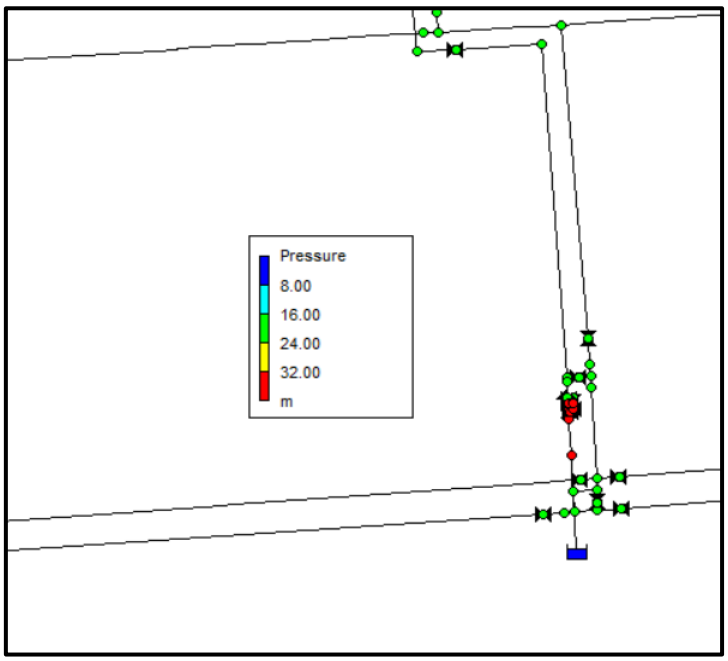
Nota. Datos obtenidos de SCADA y caudalímetros instalados en la red.

5.2.2 Identificación de Variables de Salida:

Se determinan las variables resultantes de la simulación hidráulica que son críticas para el diagnóstico del sistema y la cuantificación de pérdidas:

Hidráulicas: Presión en cada nodo de la red (para identificar zonas de sobrepresión o déficit); velocidad del flujo en cada tubería (para identificar problemas de erosión o estancamiento); pérdida de carga continua y localizada.

Figura 23. *Resultados de simulación hidráulica: distribución de presiones en nodos de la red.*



Nota. El mapa de colores permite identificar zonas de sobrepresión y déficit en el sistema.

Gestión: Balance de agua del sistema, calculado como la diferencia entre el volumen de agua introducida en la red y el volumen de agua facturada, lo que cuantifica directamente el Agua No Facturada (ANF).

Tabla 8. *Tabla de balance hídrico del sector 73: volúmenes distribuidos, facturados y Agua No Facturada (ANF).*

Año	Mes	Total, conexiones	Nivel de micro medición (%)	Volumen distribuido (m³)	Lectura (m³)	Promedio (m³)	Asignación (m³)	Volumen facturado (m³)	Agua no facturada (m³)	Agua no facturada (%)	Pérdida de agua por km (m³)
2023	Octubre	600	97.17%	112,135	70,536	1,108	—	71,644	40,491	36.11	3,289
2023	Setiembre	598	97.83%	108,550	71,003	1,073	—	73,104	35,446	32.65	2,875
2023	Agosto	598	97.83%	110,321	71,675	1,214	—	74,799	35,522	32.20	2,889
2023	Julio	599	97.83%	106,194	69,543	824	180	70,657	35,537	33.47	2,681
2023	Junio	599	97.83%	110,310	71,108	1,955	1	75,086	35,224	31.93	2,940
2023	Mayo	600	97.67%	104,825	73,030	2,564	—	75,594	29,231	27.89	2,575
2023	Abril	600	97.67%	110,496	74,200	1,849	—	75,998	34,498	31.23	2,870
2023	Marzo	600	97.00%	110,508	73,169	1,360	—	76,719	33,789	30.59	2,846
2023	Febrero	599	97.67%	114,155	74,625	2,428	—	77,171	36,984	32.40	2,983
2023	Enero	600	97.67%	102,525	77,728	2,151	—	74,790	27,735	30.58	2,735
2022	Diciembre	600	97.67%	108,135	72,716	1,703	—	74,990	33,145	30.66	2,895
2022	Noviembre	605	97.68%	105,325	67,687	879	—	68,516	36,869	34.99	2,864

Nota. El cuadro muestra la relación entre el agua distribuida y facturada, con la estimación del ANF hasta octubre de 2023.

5.2.3 Relación de Variables con el ANF:

❖ **Variables que Impactan en las PÉRDIDAS REALES (Fugas Físicas)**

- Presión en la Red (Variable Operativa de Salida): Es la variable de mayor impacto. Existe una relación física directa expresada de forma simplificada como Q_fuga ∝ P^N, donde el caudal de una fuga (Q_fuga) es proporcional a la presión (P) elevada a una constante N (usualmente entre 0.5 y 1.5). Un aumento de presión genera un aumento más que proporcional del caudal de fuga**.** Por lo tanto, las zonas de sobrepresión identificadas en el modelo son focos críticos de pérdidas. (Manual de la IWA, Alegre et al., 2006)

Rugosidad (Variable de Calibración): Un valor de rugosidad incorrecto (subestimado) hace que el modelo simule pérdidas de carga por fricción mayores a las reales.

Para compensar esto y lograr coincidir con las presiones medidas, el modelo "pide" más presión de entrada, lo que enmascara la existencia de fugas al atribuir la pérdida de energía solo a la fricción.

- **Variables que Impactan en las PÉRDIDAS APARENTES (Errores):**

Consumo Promedio Diario (Variable de Entrada): Esta variable se estima a partir de la data de micromedición (lectura de medidores). Si esta data es inexacta, el modelo se construye sobre una base errónea.

Sobreestimación de la Demanda: Lleva a que el modelo simule un consumo mayor al real. Al comparar con el caudal de entrada (macro-medición), la diferencia (ANF) aparecerá inflada artificialmente, incluso si no hay fugas.

Subestimación de la Demanda: Lleva a que el modelo simule un consumo menor al real. Esto puede enmascarar fugas existentes, ya que la discrepancia entre el caudal de entrada y el consumo subestimado será menor.

Caudal de Ingreso (Variable de Medición): Es la macro-medición. Una medición imprecisa del caudal total que entra al sector afecta directamente al balance hídrico: ANF = Q_ingreso - Q_facturado. Un error en la medición de Q_ingreso se traslada directamente como un error en el cálculo del ANF total, contaminando el diagnóstico.

5.2.4 Variable Clave para el Diagnóstico:

Patrón de Consumo Horario (Variable de Entrada): Permite aislar las componentes. Durante la hora de mínima demanda (ej., 2:00 - 4:00 AM), el consumo legítimo (Q_consumo) es muy bajo y estable. Por lo tanto, la ecuación se simplifica: Q_medido_nocturno ≈ Q_fugas

+ Q_errores. Si la macro-medición es precisa, el caudal medido en la noche es prácticamente igual al caudal de fugas, permitiendo cuantificar las pérdidas reales por separado

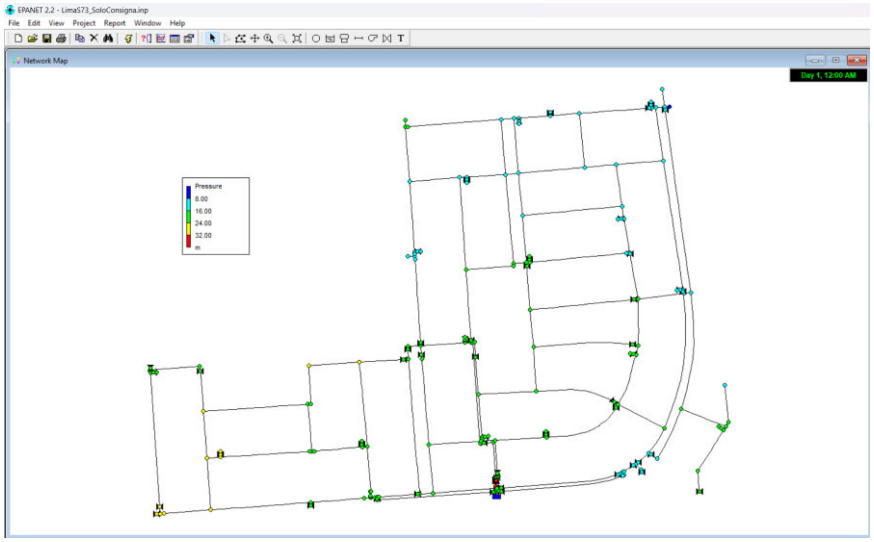
5.3 Objetivo Específico 3

Proponer y ejecutar estrategias técnico-operativas de gestión hidráulica, basadas en el modelamiento hidráulico computacional, que contribuyan a la reducción del agua no facturada en las redes de distribución del Sector 73, San Borja, Lima.

5.3.1 Selección y Planificación de la Estrategia Óptima:

Partiendo de los escenarios simulados y priorizados en el análisis del modelo (como la instalación de Válvulas Reductoras de Presión - VRP en un punto específico o el cambio de consigna de presión en la entrada), se selecciona la intervención con el mejor balance entre eficacia (mayor reducción de ANF) y viabilidad (costo y facilidad de ejecución). Se elabora un plan de ejecución que especifica: ubicación de la intervención, equipos y materiales requeridos, cronograma de trabajo y demás.

***Figura 24**. Escenario 1 – Incremento en consigna de presión de entrada.*

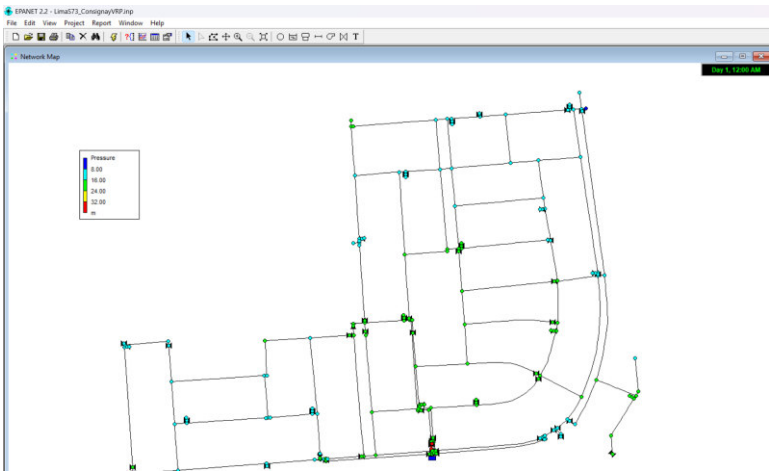


Nota. Mapa de presiones simulado en EPANET.

***Referencia.** Elaboración propia con EPANET 2.2.*

Escenario 2, aumento consigna e instalación VRP

***Figura 25**. Escenario 2 – Aumento de consigna de presión de ingreso e Instalación de VRP al ingreso del subsector 4*



Nota. Mapa de presiones simulado; reduce las zonas de sobrepresión.

***Referencia.** Elaboración propia con EPANET 2.2.*

5.3.2 Ejecución de la Intervención en Campo:

Se procede con la implementación física de la estrategia. Esto implica:

- La instalación y/o configuración de los equipos propuestos para el mejoramiento del sistema y reducción del agua no facturada**.**
- Durante la ejecución, se documenta fotográficamente el proceso y se registran los valores finales de configuración de los equipos instalados.

5.3.3 Monitoreo Post-Ejecución y Verificación de Resultados:

Tras la implementación, se iniciará una fase crítica de monitoreo. Se monitorea la instrumentación (caudalímetros y data-loggers de presión) en los mismos puntos donde se

midió inicialmente durante la calibración. Se registran datos de caudal y presión de forma continua por un período suficiente (7-15 días) para capturar el nuevo comportamiento estable del sistema. Estos datos se comparan directamente con las mediciones del "Estado Actual" y con las predicciones del modelo para el escenario ejecutado.

5.3.4 Cuantificación de la Reducción de ANF y Validación del Modelo

Con los datos de caudal de entrada medidos después de la intervención, se calcula el nuevo volumen de agua introducida. Al contrastarlo con el volumen facturado, se obtiene el nuevo valor de ANF. La diferencia entre el ANF inicial y el nuevo ANF representa la reducción real y tangible conseguida. Esta reducción medida en campo se compara con la reducción que había predicho el modelo, validando así su precisión como herramienta de predicción y permitiendo ajustes futuros. Finalmente, con el ahorro de agua cuantificado, se calcula el período de retorno de la inversión con datos reales, demostrando el éxito de la estrategia ejecutada.

CAPITULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Resultados para el Objetivo Específico 1:

Como resultado del cumplimiento de este objetivo, se obtuvo:

6.1.1 Una Metodología Estandarizada para la Construcción de Modelos:

Se elaboró un protocolo detallado, secuencial y replicable para la elaboración de modelos hidráulicos en redes de distribución de agua potable. Este protocolo integra de manera crítica las consideraciones identificadas, como la depuración de datos, la necesidad de una correcta identificación previa de la zona para la medición y la parametrización de demandas por categorías de usuario.

Fase 1: Preparación de Datos. Recolectar y depurar data GIS (tuberías, válvulas), curvas de nivel y consumos históricos.

Fase 2: Mediciones de Campo. Instalar caudalímetros y data-loggers. Medir presión y caudal por 7 días. Definir patrones de demanda.

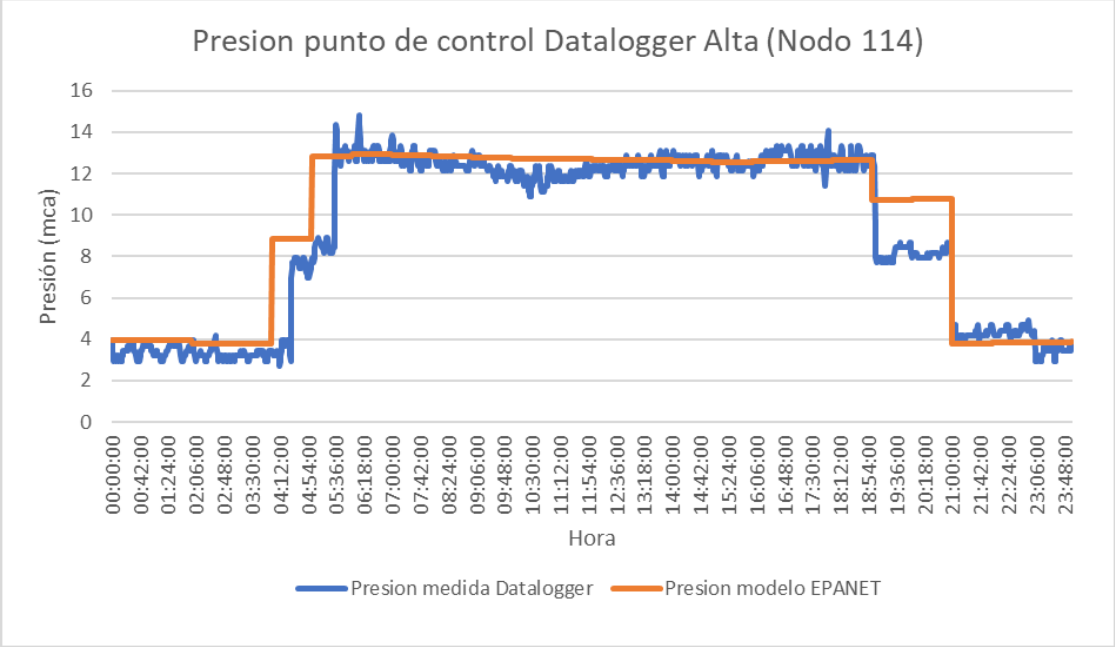
Fase 3: Construcción y Calibración. Importar data al software. Asignar demandas y patrones. Ajustar rugosidades hasta que el error presión $\leq \pm 2$ mca.

Fase 4: Aplicación. Simular estrategias (VRP, presión). Actualizar modelo periódicamente.

6.1.2 Un Modelo Hidráulico Calibrado y Validado del Sector 73:

El producto central es el modelo digital mismo, representado en el software EPANET. Su calibración se considera exitosa ya que los valores de presión simulados presentan una discrepancia máxima de ± 2 metros de columna de agua (mca) respecto a los valores medidos *in situ* de los puntos de control, demostrando ser una representación fiable de la red real.

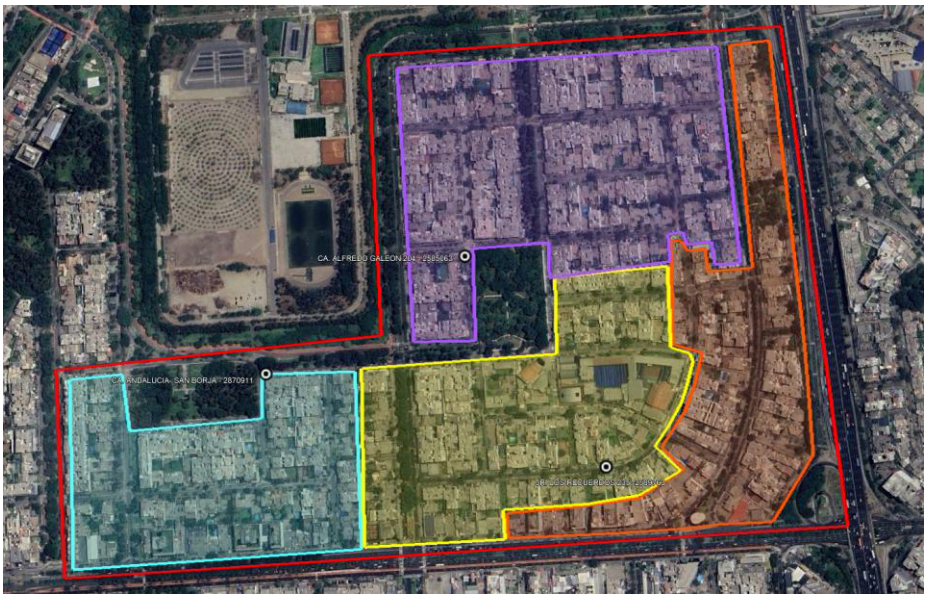
Figura 26. *Gráfico de correlación entre presiones observadas para calibración y simuladas en el modelo EPANET*



Nota. La calibración muestra una discrepancia máxima de ±2 mca en punto de control de presión datalogger alta, confirmando la confiabilidad del modelo.

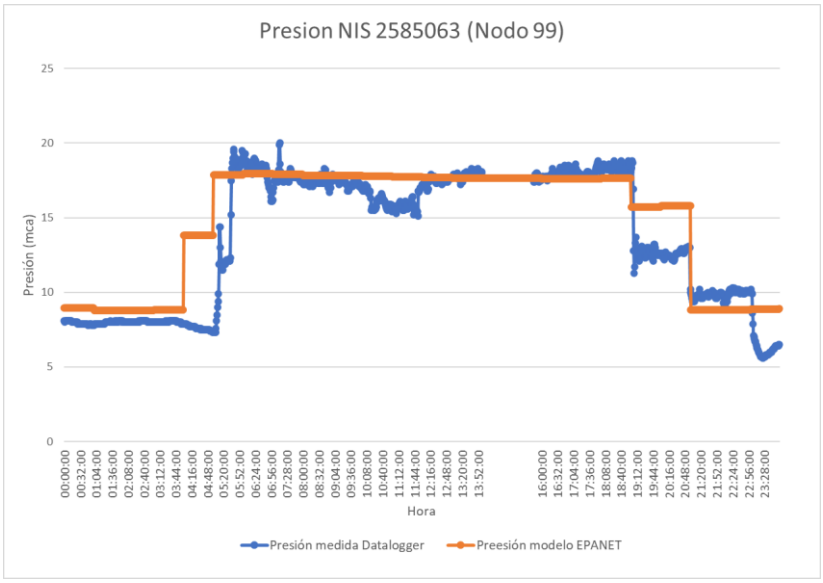
Para la validación del modelo se tomó datos de presión datos de presión de 3 puntos distintos a los usados para la calibración

***Figura 27**. Puntos aleatorios usados para la validación del modelo matemático*



Nota. Se tomaron datos de presión por 24 horas en 3 abonados para la validación del modelo.

***Figura 28**. Gráfico de correlación entre presiones medidas para validación y presiones obtenidas del modelo*



Nota. Se observa una buena correspondencia entre las presiones simuladas y las observadas para la validación.

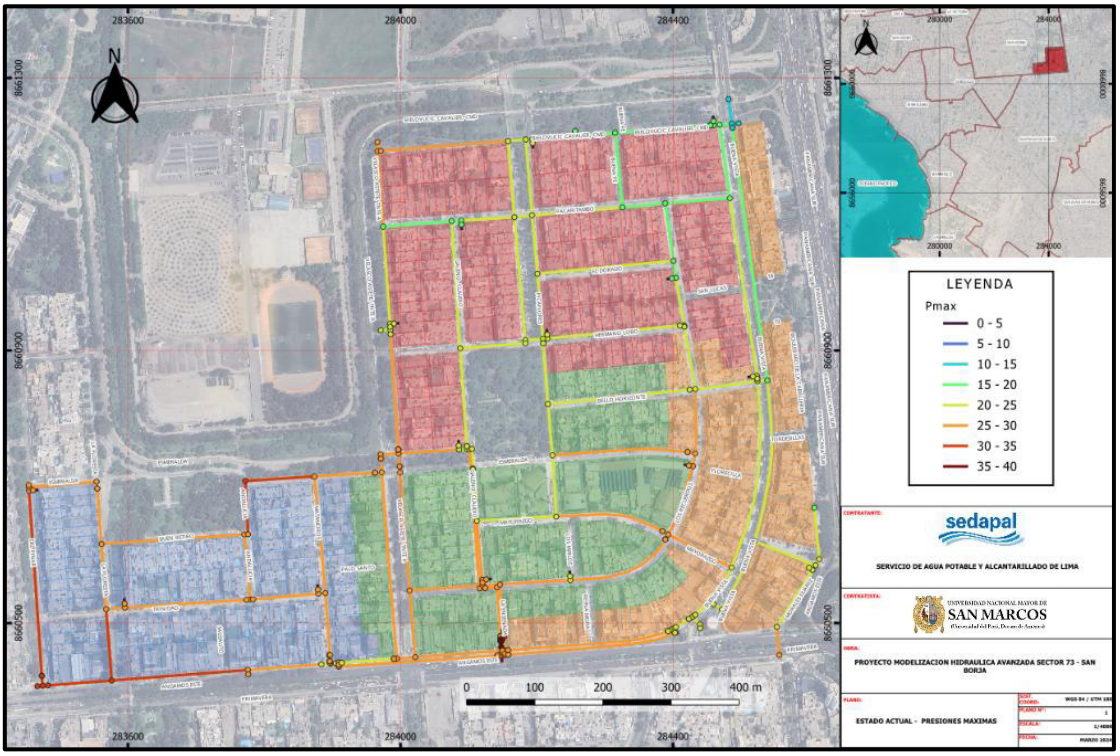
6.1.3 Un Diagnóstico Base del Sistema:

El modelo nos proporcionó el primer análisis cuantitativo del estado hidráulico del sector, identificando y cartografiando zonas de sobrepresión, baja presión y velocidades de flujo fuera de los rangos óptimos, lo que servirá como punto de partida para el análisis de pérdidas.

- **Estado actual**
- **Presiones máximas**

Las presiones máximas se ubican en el subsector 4 que a su vez contiene la cota más baja del sector, llegando a presiones de hasta unos 35 m.c.a.

Figura 29. *Estado actual del sector 73: distribución espacial de presiones máximas*

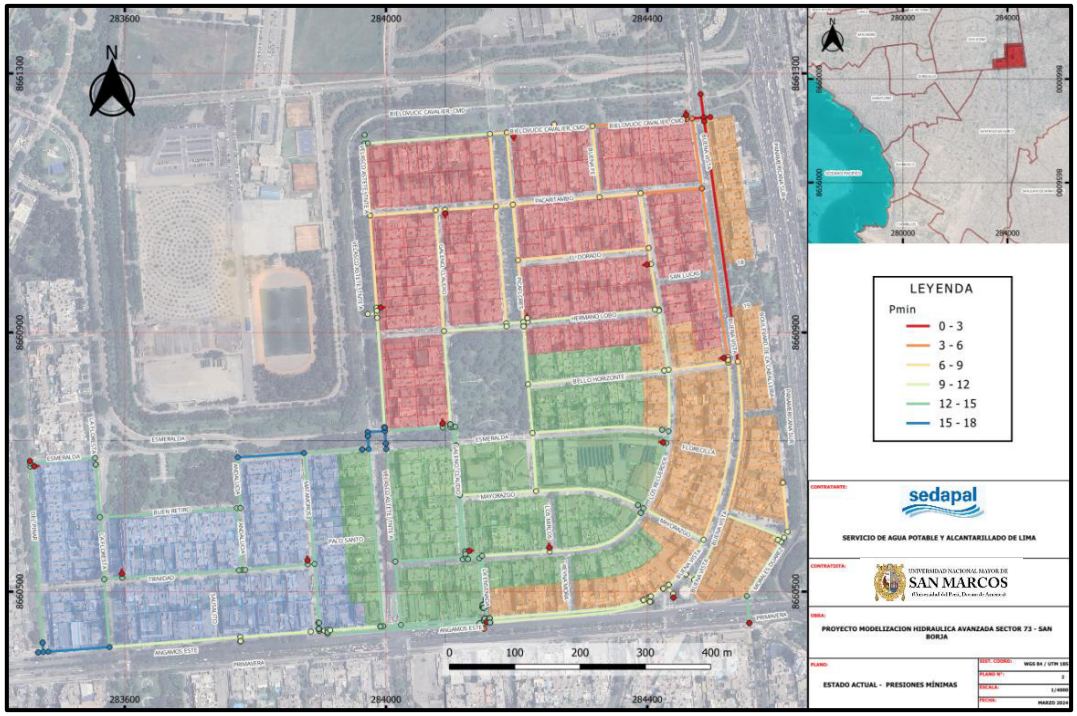


Nota. Se identifican zonas con sobrepresión en el subsector 4, alcanzando hasta 35 m.c.a.

❖ **Presiones mínimas**

Las presiones mínimas encontradas se ubican en la parte con la cota más alta del sector y en el horario nocturno, teniendo presiones con valores de hasta 2.5 m.c.a.

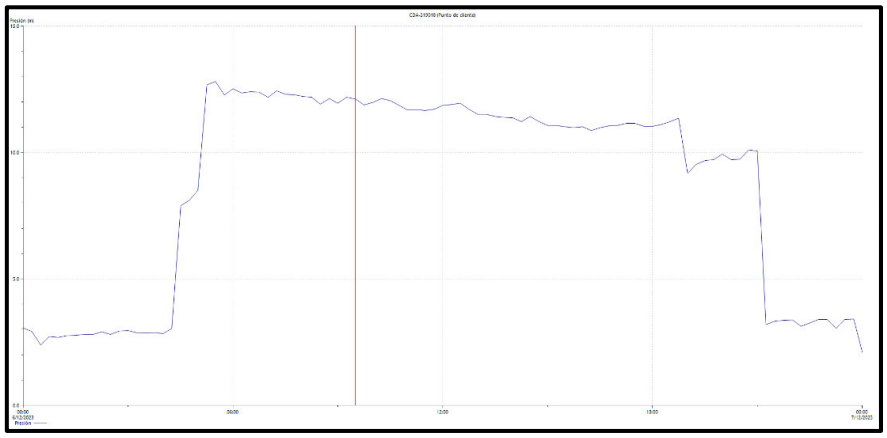
Figura 30. *Estado actual del sector 73: distribución espacial de presiones mínimas*



Nota. Se registran valores de hasta 2.5 m.c.a. en las zonas de mayor cota y durante horario nocturno.

En los resultados del modelo podemos observar que el abonado crítico se encuentra en el subsector 73-II con NIS 5985486 ya que cuenta con presiones mínimas de alrededor de 2.5 m.c.a. por la noche.

***Figura 31**. Serie de presiones en el abonado crítico (NIS 5985486) del subsector 73-II*

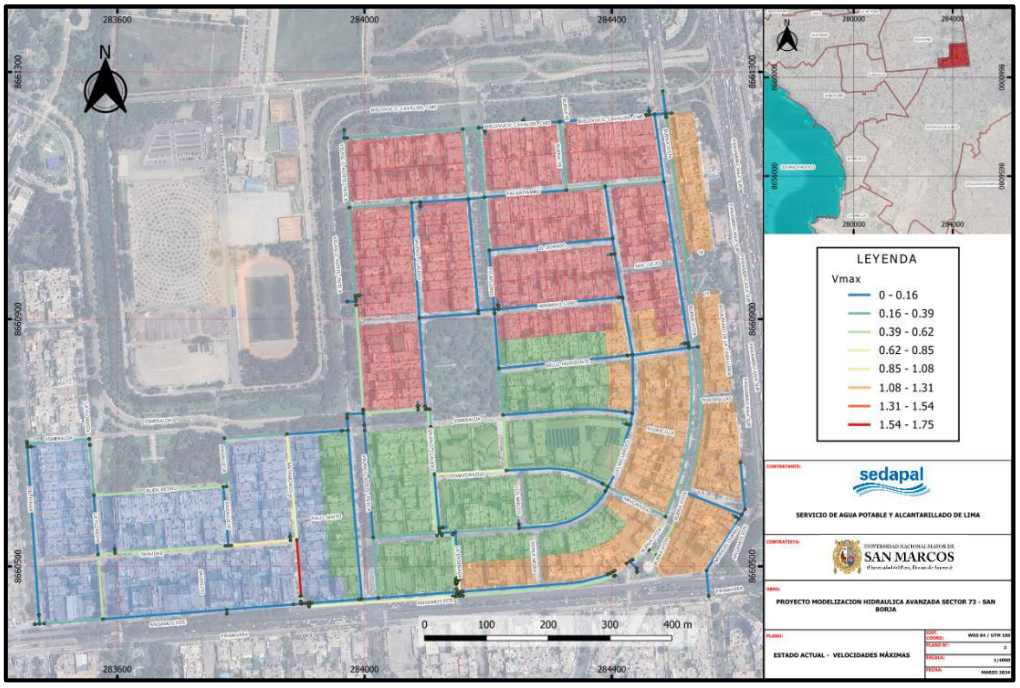


Nota. Se registran presiones mínimas cercanas a 2.5 m.c.a. durante el horario nocturno.

- **Velocidades máximas**

Las velocidades máximas alcanzadas se presentan en la entrada del sector y en la entrada del subsector 73 – IV, ninguna sobrepasa los 2 m/s.

***Figura 32**. Estado actual del sector 73: distribución espacial de velocidades máximas*



Nota. Se observan valores elevados en la entrada del sector y en el subsector 73-IV, sin superar los 2 m/s.

Síntesis del Objetivo Específico 1

Con este análisis se responde al Objetivo Específico 1, al contar con un modelo hidráulico computacional calibrado y validado que representa de manera confiable la red del Sector 73, y con un diagnóstico base que identifica las principales zonas críticas de presión y caudal, sirviendo como punto de partida para la reducción del agua no facturada.

6.2 Resultados objetivo 2

6.2.1 Determinar las variables hidráulicas y operativas que intervienen en el modelamiento computacional para la reducción del agua no facturada.

El cumplimiento de este objetivo generó:

- **Una Matriz de Variables Críticas e Influencia:**

Se realizó una tabla de doble entrada que clasifica todas las variables identificadas (diámetro, rugosidad, patrón de demanda, presión de entrada) y cuantificar su influencia relativa en la precisión del modelo y en el cálculo del ANF. Esta matriz destaca que variables como la presión en la red y el coeficiente de rugosidad (C de Hazen-Williams) se convierten en parámetros de calibración más sensibles.

***Tabla 9**. Tabla matriz de variables críticas y su influencia en el modelo hidráulico y en el ANF*

Variable crítica	Categoría	Influencia en el modelo	Impacto en el ANF
Rugosidad de la tubería	Geométrica	Calibración principal. Ajusta pérdida de carga y presión	Error distorsiona el cálculo de pérdidas reales (fugas)}
Presión de Entrada	Operativa	Condición de frontera. Define la energía del sistema	Variable de control clave. Reducirla disminuye directamente el caudal de las fugas
Caudal de Ingreso	Medición	Dato para calibración. Condición de frontera inicial.	Base para calcular el Agua Introducida en el balance hídrico
Patrón de Consumo	Demanda	Define la variación horaria de la demanda.	El patrón de mínima demanda nocturna permite aislar y cuantificar las fugas
Consumo Promedio	Demanda	Fuerza motriz del modelo. Define el caudal base	Error infla (sobrestimación) o enmascara (subestimación) el ANF.
Cota Topográfica	Geométrica	Referencia para el cálculo de la presión disponible	Error genera falsas zonas de sobrepresión o baja presión en el diagnóstico

Nota. Destaca la sensibilidad de la presión en la red y la rugosidad como parámetros clave de calibración.

6.2.2 La Cuantificación del Agua No Facturada (ANF) Inicial:

A partir del modelo calibrado y el balance entre el agua introducida y el agua facturada, se obtuvo el valor base del ANF para el Sector 73. Este resultado se expresa en unidades volumétricas (m^3/mes o m^3/año) y como un porcentaje del total de agua ingresada al sistema

Tabla 10. *Balance hídrico del sector 73: cálculo del Agua No Facturada (ANF).*

Año	Mes	Total, conexiones	Nivel de micro medición (%)	Volumen distribuido (m³)	Lectura (m³)	Promedio (m³)	Asignación (m³)	Volumen facturado (m³)	Agua no facturada (m³)	Agua no facturada (%)	Pérdida de agua por km (m³)
2023	Octubre	600	97.17%	112,135	70,536	1,108	—	71,644	40,491	36.11	3,289
2023	Setiembre	598	97.83%	108,550	71,003	1,073	—	73,104	35,446	32.65	2,875
2023	Agosto	598	97.83%	110,321	71,675	1,214	—	74,799	35,522	32.20	2,889
2023	Julio	599	97.83%	106,194	69,543	824	180	70,657	35,537	33.47	2,681
2023	Junio	599	97.83%	110,310	71,108	1,955	1	75,086	35,224	31.93	2,940
2023	Mayo	600	97.67%	104,825	73,030	2,564	—	75,594	29,231	27.89	2,575
2023	Abril	600	97.67%	110,496	74,200	1,849	—	75,998	34,498	31.23	2,870
2023	Marzo	600	97.00%	110,508	73,169	1,360	—	76,719	33,789	30.59	2,846
2023	Febrero	599	97.67%	114,155	74,625	2,428	—	77,171	36,984	32.40	2,983
2023	Enero	600	97.67%	102,525	77,728	2,151	—	74,790	27,735	30.58	2,735
2022	Diciembre	600	97.67%	108,135	72,716	1,703	—	74,990	33,145	30.66	2,895
2022	Noviembre	605	97.68%	105,325	67,687	879	—	68,516	36,869	34.99	2,864

Nota. El modelo calibrado estima el ANF en valores volumétricos y porcentuales respecto al agua ingresada.

El ANF inicial del Sector 73 es de 40,491 m³ en el mes de octubre del 2023, equivalente al 36.11% del agua introducida al sistema.

6.2.3 La Identificación de las Principales Componentes del ANF:

Mediante el análisis de los caudales mínimos nocturnos (cuando la demanda legítima es mínima), el modelo permitió estimar la proporción del ANF correspondiente a pérdidas reales (fugas) la cual se situaba en 25,6%. La diferencia con el ANF total permitió inferir el volumen atribuible a pérdidas aparentes (errores de medición, fraudes), proporcionando un diagnóstico específico sobre el origen de las pérdidas.

Tabla 11. *Tabla de estimación de pérdidas reales en los 4 subsectores medidos a partir de caudales mínimos nocturnos.*

Subsector	Qmin noc (L/s)	N.º de conexiones	Long. red (km)	Q prom (L/s)	R1 (L/min/km)	R2 (L/conex/día)	Qprom / Qmin noc
73-I	3.45	169	2.321	8.44	89.16	1763.28	2.45
73-II	1.88	127	2.581	8.40	43.61	1276.27	4.48
73-III	1.012	228	3.855	13.20	15.75	383.49	13.04
73-IV	5.06	146	2.638	12.00	115.11	2995.00	2.37

Nota. El análisis indicó que el 25,6% del volumen distribuido corresponde a pérdidas reales, diferenciándose de las pérdidas aparentes que representan el 10,51% restante.

Al analizar el caudal mínimo nocturno de cada uno de los subsectores se evidenció que el subsector con mayor probabilidad de presentar una fuga de gran magnitud es el subsector 73-1.

Síntesis del Objetivo Específico 2

Con este análisis se responde al Objetivo Específico 2, ya que se identificaron y caracterizaron las variables hidráulicas y operativas que inciden directamente en el ANF, demostrando que la presión, el estado de las tuberías y el caudal mínimo nocturno son factores clave para explicar y cuantificar las pérdidas reales y aparentes.

6.3 Resultados para el Objetivo Específico 3:

Proponer y ejecutar estrategias técnico-operativas de gestión hidráulica, basadas en el modelamiento hidráulico computacional, que contribuyan a la reducción del agua no facturada.

Los resultados de este objetivo son tangibles y medibles:

6.3.1 Un Plan de Intervención con Estrategias Simuladas y Priorizadas:

❖ **Búsqueda de fugas en el subsector 73 - I**

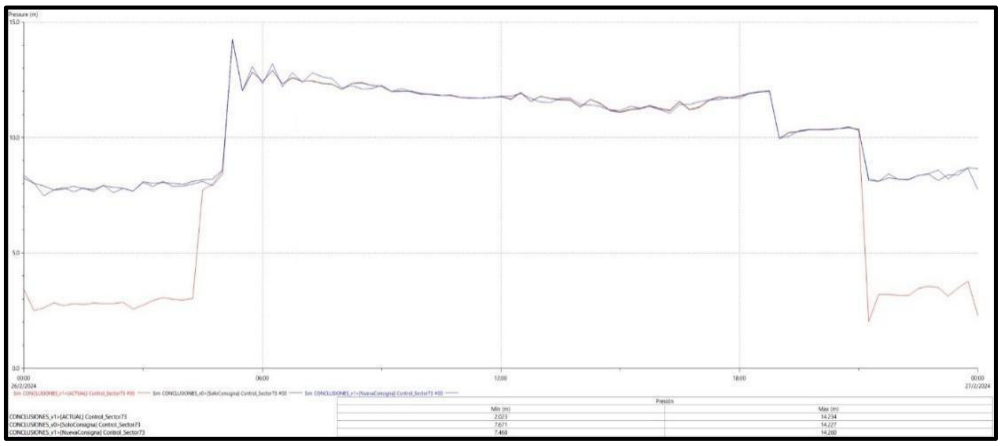
Se sugirió a la entidad prestadora de servicio que realice una campaña de búsqueda de fugas en el subsector 1 debido a que es la zona que presenta mayor porcentaje de pérdidas físicas en todo el sistema.

❖ **Aumento de presión en la consigna de entrada**

Se propuso el aumento en la consigna de entrada que tiene por objetivo alcanzar las presiones mínimas en el abonado crítico del sector.

Con el incremento de 5 m.c.a. al ingreso del sector se logra alcanzar las presiones mínimas requeridas para el abonado crítico

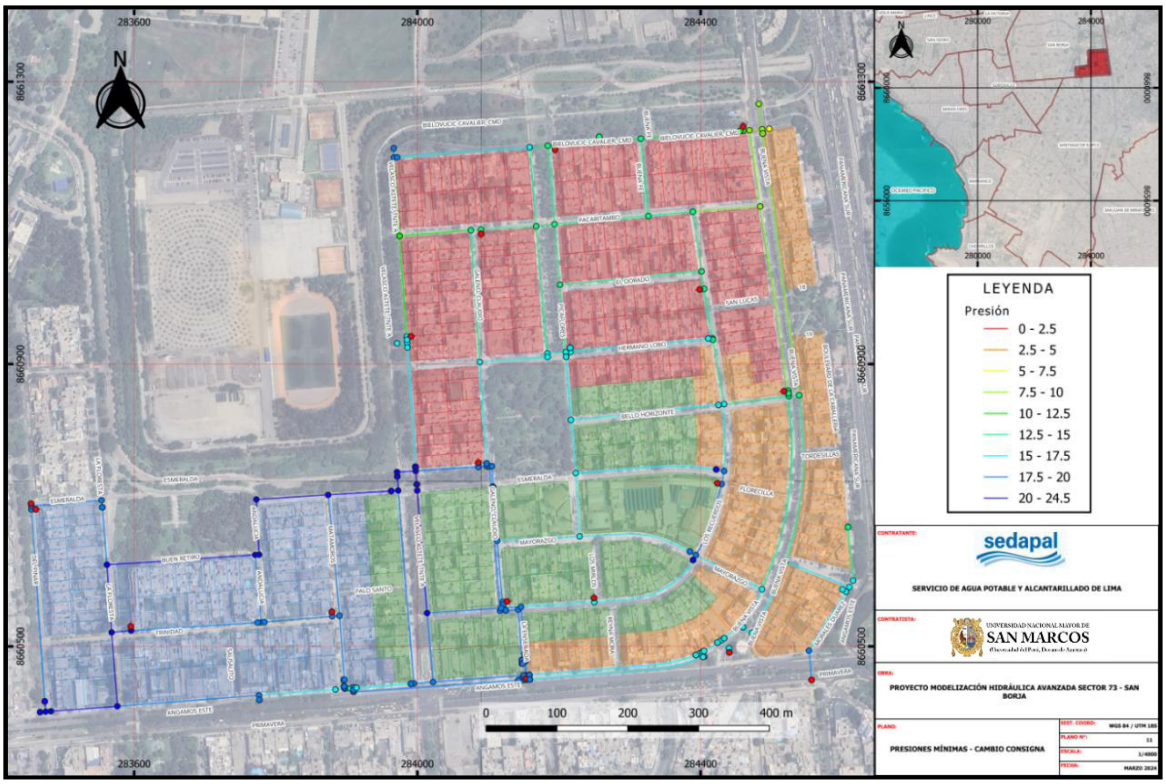
***Figura 33**. Comparación de presiones en el abonado crítico ante el aumento de la consigna de entrada.*



Nota. Con un incremento de 5 m.c.a. en la entrada se alcanzan las presiones mínimas requeridas, mejorando respecto al estado actual.

De color rojo la presión en el estado actual y de color negro con el aumento de consigna.

Figura 34. *Distribución de presiones mínimas tras el aumento de consigna en el sector 73*



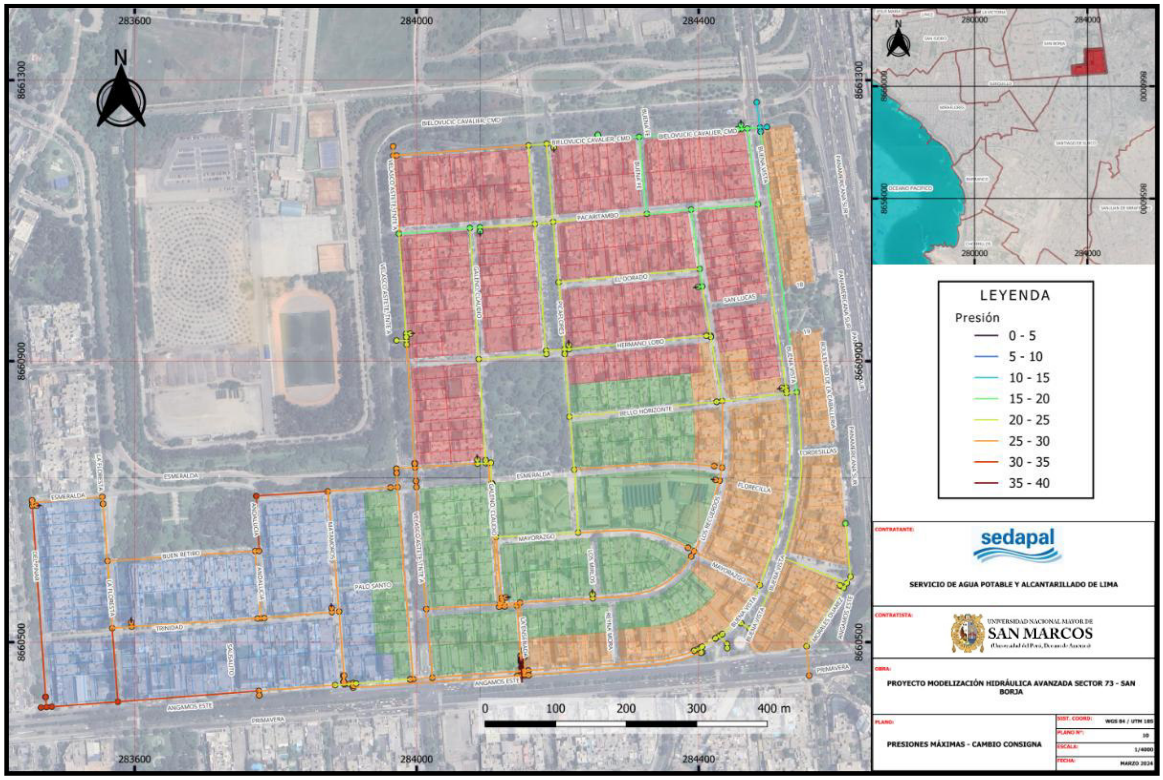
Nota. El abonado crítico alcanza al menos 5 m.c.a. en horario nocturno, asegurando la calidad del servicio.

Se verifica que el abonado crítico que se encuentra en la parte superior derecha ahora si tiene una presión mínima de 5 m.c.a. en el horario nocturno lo que garantiza una buena calidad del servicio.

- **Instalación de VRP en el sector 73 - IV**

Debido al incremento de presión para el horario nocturno se generan altas presiones en la zona baja del sector, llegando a alcanzar 35 m.c.a. como máximo y 24 m.c.a. como mínimo.

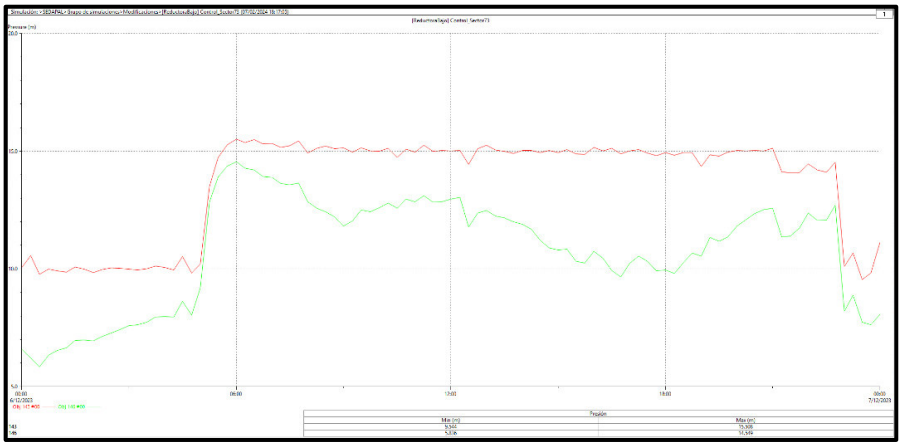
Figura 35. *Distribución de presiones máximas tras el aumento de consigna en el sector 73*



Nota. En la zona baja se alcanzan valores de hasta 35 m.c.a., con un mínimo de 24 m.c.a. durante el horario nocturno.

Por lo que se recomienda instalar una válvula reductora de presión al ingreso del subsector 73 – IV con el objetivo de disminuir las presiones y a su vez el ANF de dicha zona, la consigna propuesta es de 10 m.c.a en el horario nocturno y 15 m.c.a. en el día, con esta configuración logramos no perjudicar al usuario más crítico del subsector.

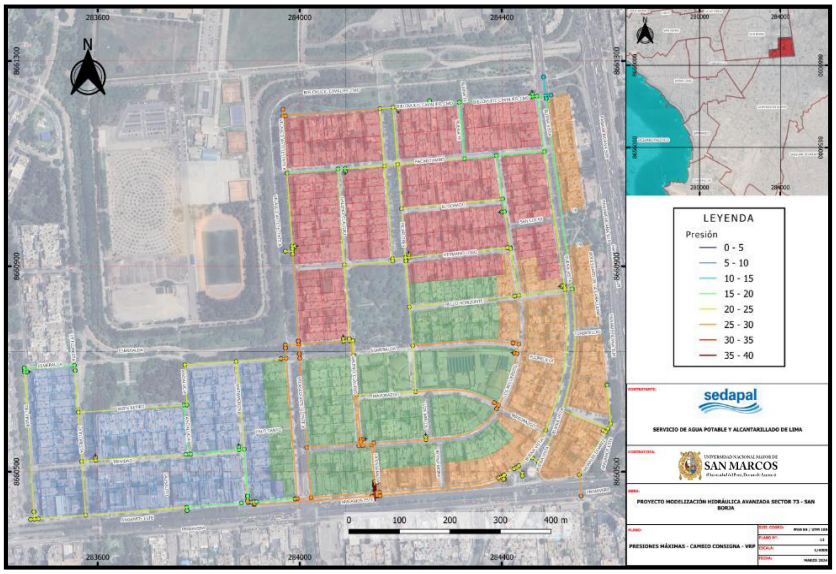
***Figura 36**. Presiones en el abonado crítico del subsector 73-IV (verde) frente a la consigna de la VRP (rojo) bajo el escenario de cambio de consigna e instalación de la válvula reductora de presión.*



Nota. Se observa que la VRP regula las presiones, evitando sobrepresiones sin afectar al usuario más crítico.

Con la implementación de la VRP logramos disminuir 10 m.c.a. en las presiones mínimas del subsector 73 – IV y 15 m.c.a. en las presiones máximas.

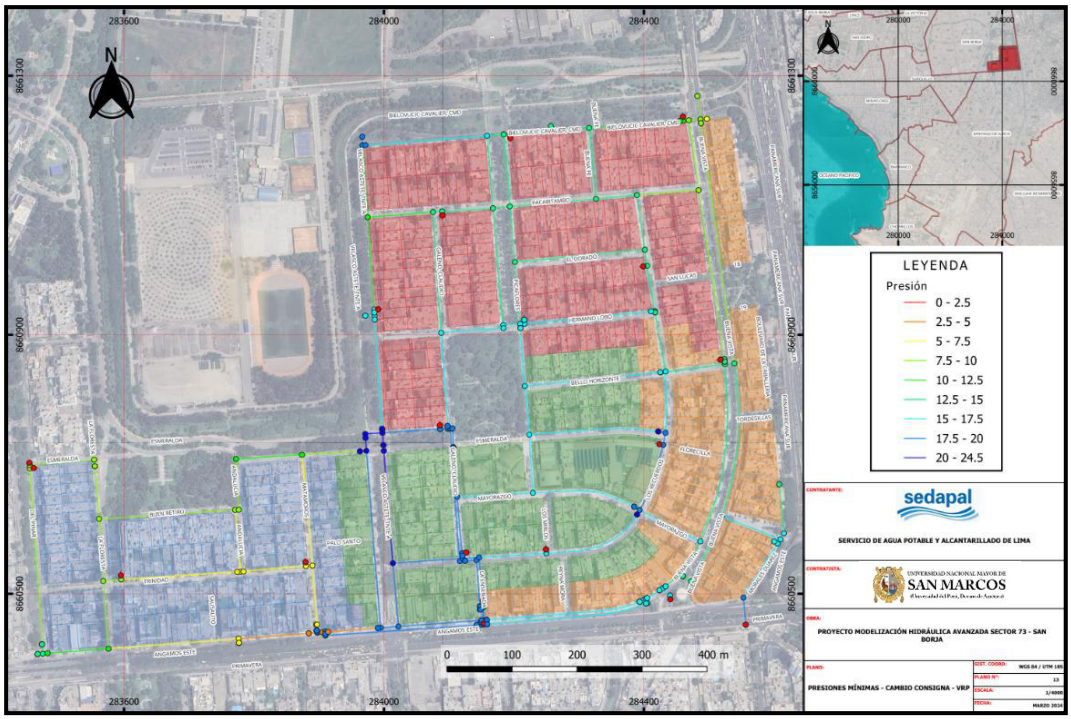
***Figura 37**. Distribución de presiones máximas con la instalación de una VRP y cambio de consigna en el subsector 73-IV*



Nota. Se reducen 10 m.c.a. en las presiones mínimas y 15 m.c.a. en las máximas, que no superan los 22 m.c.a.

Las presiones máximas no superan los 22 m.c.a. en el subsector 73 – IV.

Figura 38. *Distribución de presiones mínimas con la instalación de una VRP y cambio de consigna en el subsector 73-IV.*



Nota. Las presiones mínimas no superan los 12.5 m.c.a., asegurando niveles adecuados en el sector.

6.3.2 La Evidencia de la Ejecución Física:

El resultado es la implementación real de las estrategias de control de presión (ej., la instalación y puesta en marcha de la VRP propuesta) y la búsqueda de fugas, debidamente documentada con registros fotográficos y reportes de configuración.

Al realizar la búsqueda de fugas en el subsector 73-1 se logra encontrar y reparar una fuga de gran magnitud.

Figura 39. *Trabajos de excavación para búsqueda de fugas en el subsector 73-I.*



Nota. Se realizaron aperturas en la red como parte del plan de control de presión y detección de fugas.

Figura 40. *Zanja abierta para inspección de la tubería en el subsector 73-I*



Nota. La excavación permitió identificar anomalías en la red y preparar el área para reparación.

Figura 41. *Fuga detectada en tubería del subsector 73-I.*



Nota. Se identificó y reparó una fuga de gran magnitud, reduciendo pérdidas en el sistema.

Se instala la VRP en el subsector 73-4 con las consignas anteriormente descritas en las recomendaciones

Figura 42. *Trabajos de instalación de la VRP en el subsector 73-IV*



Nota. Se realizaron excavaciones y maniobras en campo para la implementación del sistema de control de presión.

***Figura 43**. Válvula reductora de presión instalada al ingreso del subsector 73-IV*



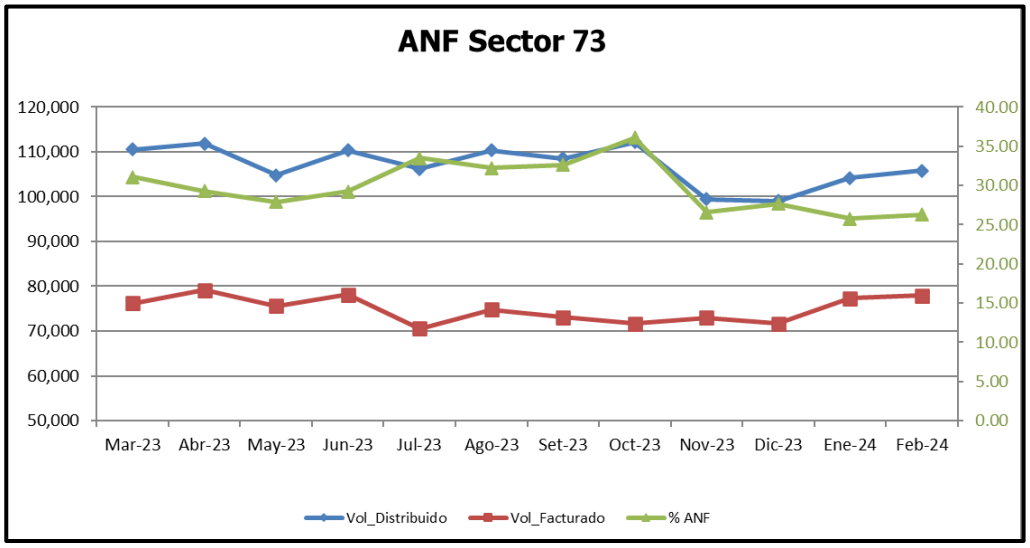
Nota. La VRP quedó operativa con consignas de 10 m.c.a. en la noche y 15 m.c.a. en el día como se proponía en el modelamiento matemático.

6.3.3 La Cuantificación del Impacto Real y Validación Final:

Tras un período de monitoreo post-ejecución, se midió la reducción efectiva del ANF.

Tras la reparación de la fuga e instalación de la VRP, el caudal de ingreso al subsector 73-1 y 73-4 durante la hora de mínima demanda se redujo, lo que equivale a un ahorro de 5,184 m^3/mes y una reducción del 10% en el indicador global de ANF (del 36.11% al 26%). Este resultado valida la efectividad de la estrategia y la precisión predictiva del modelo.

Figura 44. *Evolución del Agua No Facturada (ANF) en el sector 73 tras la ejecución de medidas de control*



Nota. La reparación de fugas y la instalación de la VRP permitieron reducir el ANF en un 10%, pasando de 36.11% a 26% y mantenerlo constante por los meses posteriores hasta febrero del 2024.

Se logra una reducción del 10% del ANF para los meses siguientes a la implementación de las propuestas de mejora en el sector de acuerdo con las mediciones mensuales realizadas por la entidad prestadora de servicios SEDAPAL.

6.3.4 Análisis de Viabilidad Económica

Se calcula el Período de Retorno de la Inversión (PRI) con datos reales.

En el siguiente cuadro las actividades y equipos utilizados.

Tabla 12. *Resumen de costos de actividades y equipos para el proyecto intervención*

Actividades y equipos	Costo (S/.)
Piques para comprobación	
Ca. Matamoros	S/. 264.24
Ca. Recuerdos 123	S/. 115.36
Construcción de cámara	
Av. Primavera 175	S/. 3,159.81
Adquisición e instalación de caudalímetros	
Subsector 73-II	S/. 9,486.96
Subsector 73-IV	S/. 9,486.96
Subsector 73-III	S/. 11,126.14
Subsector 73-I	S/. 11,126.14
Informe N° 1 y N° 2	S/. 13,212.22
Total	**S/. 57,977.83**

Nota. Base del cálculo del PRI con datos reales; inversión total: S/ 57,977.83.

Por el cual se realizó un cuadro donde se calcula en Periodo de retorno de la inversión en un plazo de 1 año y se toma como referencia el costo de producción de agua en S/ 2.15 el m3 de agua para hallar el monto ahorrado y una tasa de interés anual del 10 % (equivalente a 0.797 % mensual).

Adicionalmente se consideran gastos de Mantenimiento estimado mensual de S/ 1,533.00 lo que representa la toma de datos mensual de los 4 equipos datalogger.

Tabla 13. *Cálculo del Período de Retorno de la Inversión (PRI) para la intervención en el sector 73*

Mes	Importe	Mes Nº	Gastos mant. (S/.)	Ahorro (S/.)	CashFlow (S/.)	Actualiz. 0.797% (S/.)	Act. acumulado (S/.)
Oct-23	S/ 2,215	0	—	-57,977.83	-57,977.83	—	-57,977.83
Nov-23	S/ 2,215	1	1,533.00	11,145.60	9,612.60	9,536.59	-47,241.22
Dec-23	S/ 2,215	2	1,533.00	11,145.60	9,612.60	9,461.19	-37,780.03
Jan-24	S/ 2,215	3	1,533.00	11,145.60	9,612.60	9,386.38	-28,393.65
Feb-24	S/ 2,215	4	1,533.00	11,145.60	9,612.60	9,312.16	-19,081.49
Mar-24	S/ 2,215	5	1,533.00	11,145.60	9,612.60	9,238.53	-9,842.96
Apr-24	S/ 2,215	6	1,533.00	11,145.60	9,612.60	9,165.48	-677.48
May-24	S/ 2,215	7	1,533.00	11,145.60	9,612.60	9,093.01	8,415.53
Jun-24	S/ 2,215	8	1,533.00	11,145.60	9,612.60	9,021.11	17,436.64
Jul-24	S/ 2,215	9	1,533.00	11,145.60	9,612.60	8,949.78	26,386.42
Aug-24	S/ 2,215	10	1,533.00	11,145.60	9,612.60	8,879.02	35,265.44
Sep-24	S/ 2,215	11	1,533.00	11,145.60	9,612.60	8,808.81	44,074.25
Oct-24	S/ 2,215	12	1,533.00	11,145.60	9,612.60	8,739.16	52,813.40

Con un costo de producción de S/ 2.15 por m^3, gastos de mantenimiento de S/ 1,533 mensuales y tasa de interés anual del 10%, el PRI se alcanza en un año:

- $INVERSION\ INCIAL: S/\ 56{,}777.81$
- $VAN: S/\ 109{,}591.21$
- $TIR: 13\ \%\ (mensual)$
- $PERIODO\ RETORNO\ INVERSIÓN: 6.07\ MESES$

El dinero invertido para poder ejecutar el proyecto tiene un periodo de retorno de 6 meses debido a la reducción del 10% del ANF. Se observa también que para el periodo de 1 año la tasa interna de retorno tiene un valor del 13 % mensual y TIR (13 %) > VAN (0.797 %).

Síntesis del Objetivo Específico 3

Con este análisis se responde al Objetivo Específico 3, al demostrar que las estrategias técnico-operativas propuestas (aumento de consigna y VRPs) fueron efectivas en reducir el ANF, validadas tanto en simulación como en campo, y además económicamente viables, constituyendo un modelo replicable para otros sectores de Lima.

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

El modelo hidráulico computacional del Sector 73, desarrollado en EPANET y calibrado con un error máximo de ±2 m.c.a., permitió representar de manera confiable el comportamiento real de la red. Este modelo constituyó una herramienta sólida para diagnosticar zonas de sobrepresión y baja presión, aportando un punto de partida técnico para la reducción del agua no facturada (ANF).

La identificación y análisis de variables hidráulicas y operativas evidenció que la presión en la red, el caudal mínimo nocturno y la antigüedad del material de las tuberías son factores determinantes en la generación del ANF. El balance hídrico inicial reveló un valor superior al 35%, lo que confirma la magnitud del problema y la necesidad de intervenciones técnicas para su control.

La simulación y ejecución de estrategias de gestión hidráulica, como el incremento de la consigna de presión en el ingreso y la instalación de válvulas reductoras de presión (VRPs), permitieron reducir el ANF a aproximadamente 25%. Además, el análisis económico demostró que la recuperación de volúmenes previamente no facturados genera ingresos adicionales relevantes, confirmando la viabilidad técnica y financiera de las intervenciones propuestas.

Este trabajo de investigación servirá de base para futuros trabajos que aborden los problemas de agua no facturada.

7.2 Recomendaciones.

Ampliar la construcción y calibración de modelos hidráulicos computacionales a otros sectores de la red de San Borja y de Lima Metropolitana. La experiencia en el sector 73 demuestra que disponer de un modelo confiable es indispensable para cuantificar el ANF y

priorizar intervenciones; por ello, se recomienda institucionalizar el modelamiento como una herramienta permanente de gestión en SEDAPAL.

Implementar un sistema de monitoreo continuo de presiones y caudales mediante dataloggers y SCADA, priorizando los subsectores donde se identificaron sobrepresiones y presiones críticas mínimas. Asimismo, se recomienda actualizar periódicamente los parámetros de rugosidad y estado de las tuberías, a fin de mantener la precisión del modelo y anticipar riesgos de fugas o desabastecimiento.

Escalar las estrategias validadas en este estudio:

- **Instalación de válvulas reductoras de presión (VRP)** con consignas diferenciadas para controlar sobrepresiones.
- **Campañas periódicas de búsqueda y reparación de fugas en sectores críticos,** utilizando tecnologías de correlación acústica y georradar.
- **Revisión y modernización de la micro medición** para reducir pérdidas aparentes.

La experiencia en el sector 73 demostró que estas acciones permiten reducir el ANF en un 10% con un período de retorno menor a un año, lo cual justifica su aplicación progresiva en la red metropolitana.

Se recomienda continuar o producir este tipo de trabajos de investigación, utilizando otro software de modelamiento hidráulico.

CAPITULO 8: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avalos Bravo, C. A., & Flores Landa, W. A. (2021). Control de presiones y reducción de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable del Sector VI-Pueblo Joven Augusto B. Leguía en la ciudad de Tacna [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio UPT. https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1702.

Bentley Systems. (2021). WaterGEMS [Software]. https://www.bentley.com/products/brands/watergems.

Boulos, P., Koutsoyiannis, D., & Vasiliades, L. (2017). Hydraulic modeling for water distribution systems. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61545-9.

Cama Ticona, L., & Huanca Huaricallo, E. G. (2022). Modelamiento hidráulico para el control de pérdidas y gestión del sistema de agua potable de la ciudad de Piura [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2505.

Corimanya Carreño, J. P. (2022). Determinación y gestión del agua no facturada (ANF) en los componentes operacional y comercial en el sistema de abastecimiento de agua potable de la EPS Ilo SA, en la localidad de Ilo-2021 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua]. https://hdl.handle.net/20.500.12557/4855.

Flores Mamani, Z. S., & Huallpa Mamani, N. N. (2021). Evaluación de pérdidas de agua en las plantas de tratamiento de agua potable de Calana y Alto Lima, Tacna [Tesis de

pregrado, Universidad Privada de Tacna]. http://161.132.207.135/handle/20.500.12969/1891.

Gamboa, J., & Rodríguez, J. (2020). Elaboración del modelo hidráulico para la red de distribución de agua potable de Funza Cundinamarca utilizando el software EPANET [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/653611.

Gentil Jácome, J. P. (2024). Análisis comparativo del LPDS (Lean Project Delivery System) y el sistema tradicional utilizado en Colombia para proyectos de construcción [Tesis de maestría, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/xmlui/handle/20.500.14167/5236.

Idrica. (2023). La pérdida de agua no facturada en el Medio Oriente: Desafíos y soluciones. iAgua. https://www.iagua.es/noticias/idrica/perdida-agua-no-facturada-medio-oriente-desafios-y-soluciones.

López Arboleda, A. (2021). Identificación de los puntos críticos para las pérdidas de agua en la red de distribución de agua potable de la vereda El Rosario del municipio de Manizales-Caldas [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79626.

Moe, C. L. (2006). Global challenges in water, sanitation, and health. Journal of Water and Health, 4(1), 41–57. https://doi.org/10.2166/wh.2006.001.

Ress, E., & Roberson, J. A. (2016). What is unaccounted-for water? Journal of the American Water Works Association, 108(7), 54–62. https://doi.org/10.5942/jawwa.2016.108.0103.

Rossman, L. A. (1999). Computer models/EPANET. En L. Mays (Ed.), Water Distribution Systems Handbook (Cap. 12). McGraw-Hill.

Rueda Meza, E. J., González Carrillo, B. D., Delgado Yánez, M. S., & Paredes Méndez, D. F. (2025). Métodos de intervención centrales para combatir pérdidas reales y aparentes de agua en sistemas de distribución. INGENIO, 8(1), 52–70. https://doi.org/10.29166/ingenio.v8i1.6789.

Saigua, H., & Vimos, J. (2023). Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de los cantones de Alausí y Colta [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo]. http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10507.

Tarqui Cabana, C. E. (2022). Análisis del índice de pérdida en el sistema de abastecimiento de agua potable en el subsector 27 de la ciudad de Tacna [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2692.

International Water Association. (2000). Performance indicators for water supply services. IWA Publishing.

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2022). Benchmarking regulatorio de las EPS 2022 – Datos 2021. https://www.sunass.gob.pe.

UNESCO. (2016). World water development report 2016: Water and jobs. Naciones Unidas. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000243938,

Lambert, A. (2001). What do we know about pressure–leakage relationships in distribution systems? IWA Publishing.

Mays, L. W. (2010). Water distribution systems handbook (2.ª ed.). McGraw-Hill.

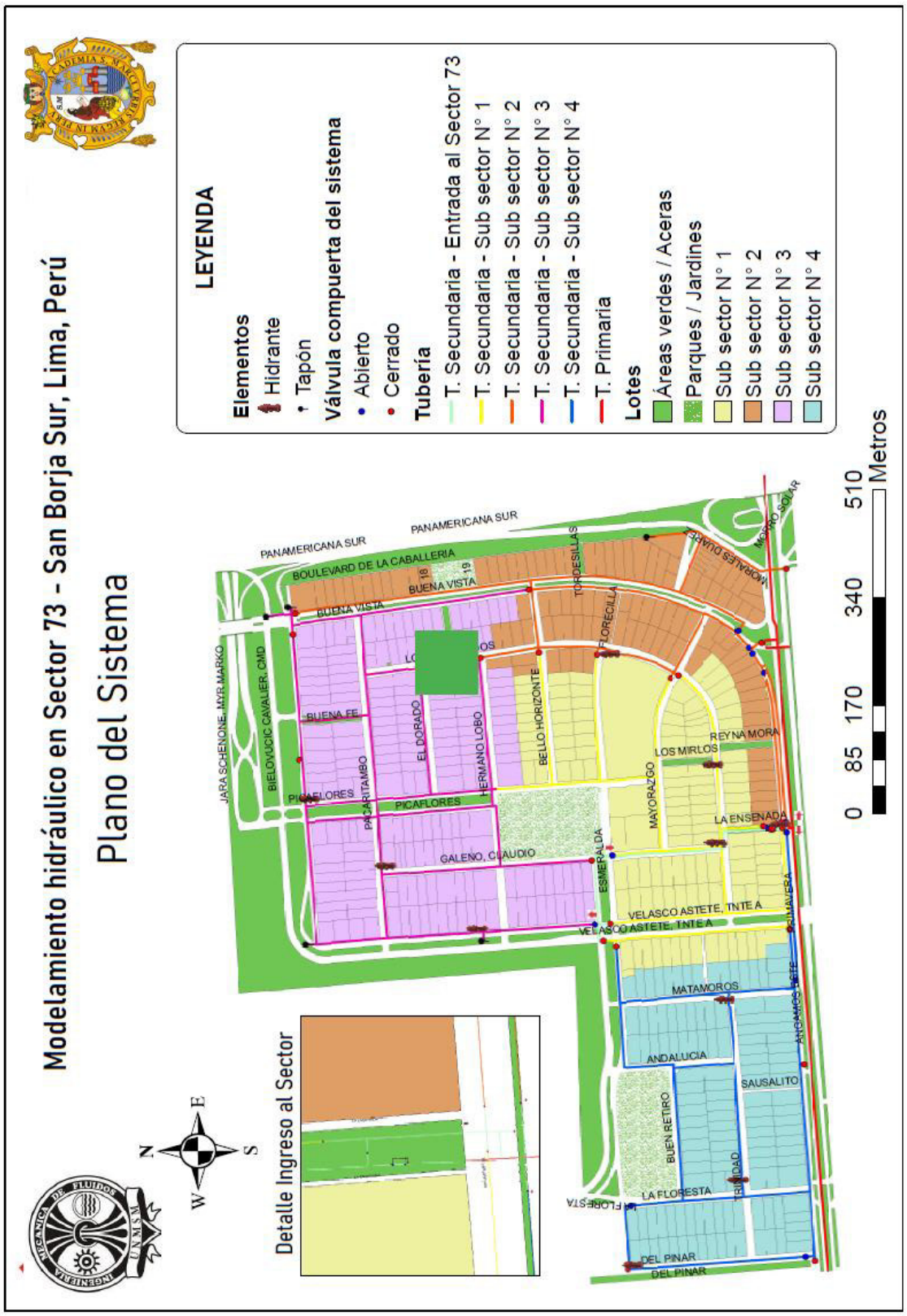
World Bank Group. (2016). Reducing non-revenue water in developing countries. World Bank. https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/986961468326712007/reducing-non-revenue-water-in-developing-countries.

Mutikanga, H. E., Sharma, S., & Vairavamoorthy, K. (2013). Methods and tools for managing losses in water distribution systems. Journal of Water Resources Planning and Management, 139(2), 166–174. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000245.

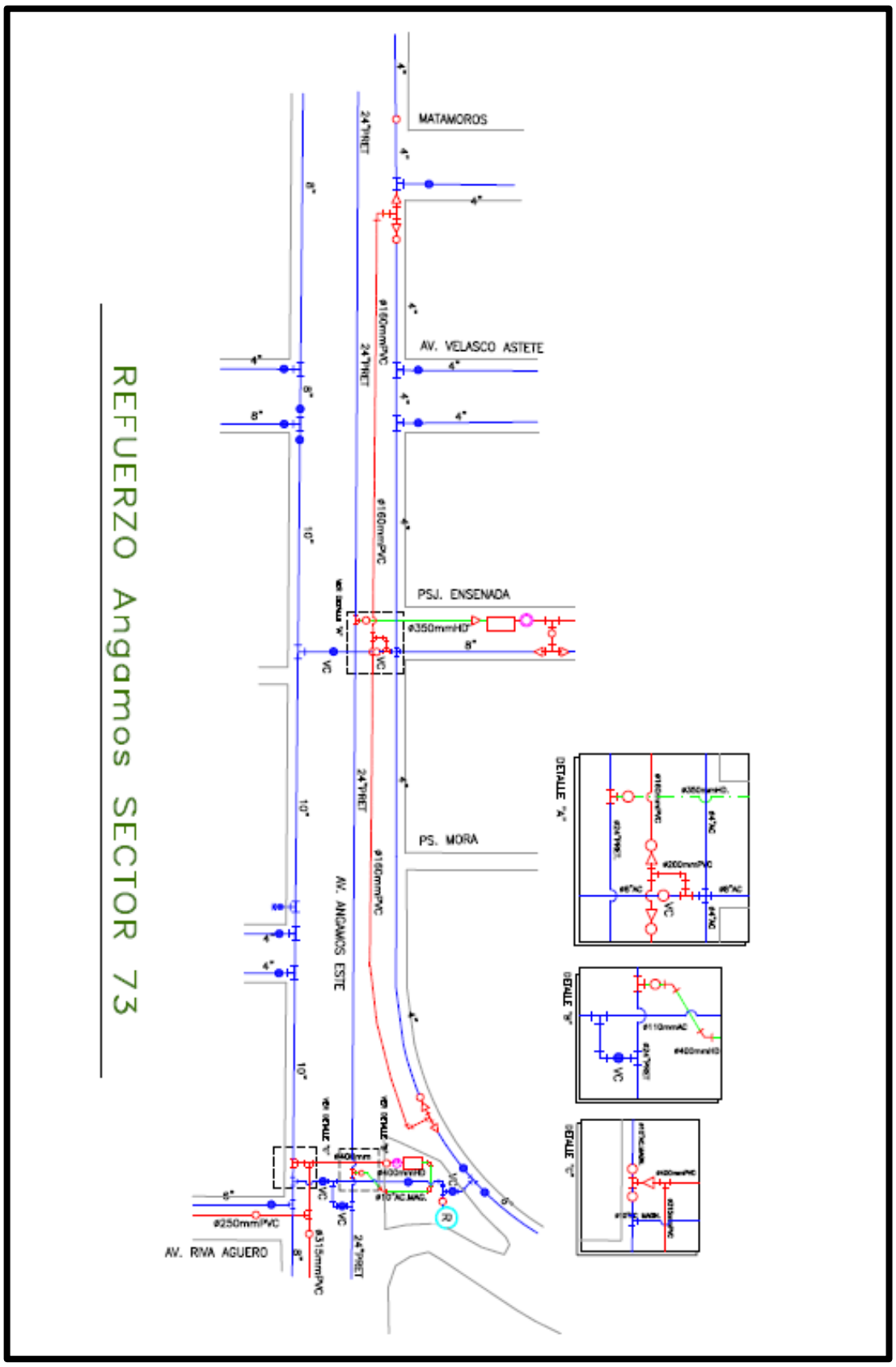
Rossman, L. A. (2000). EPANET 2: User's manual. U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/water-research/epanet.

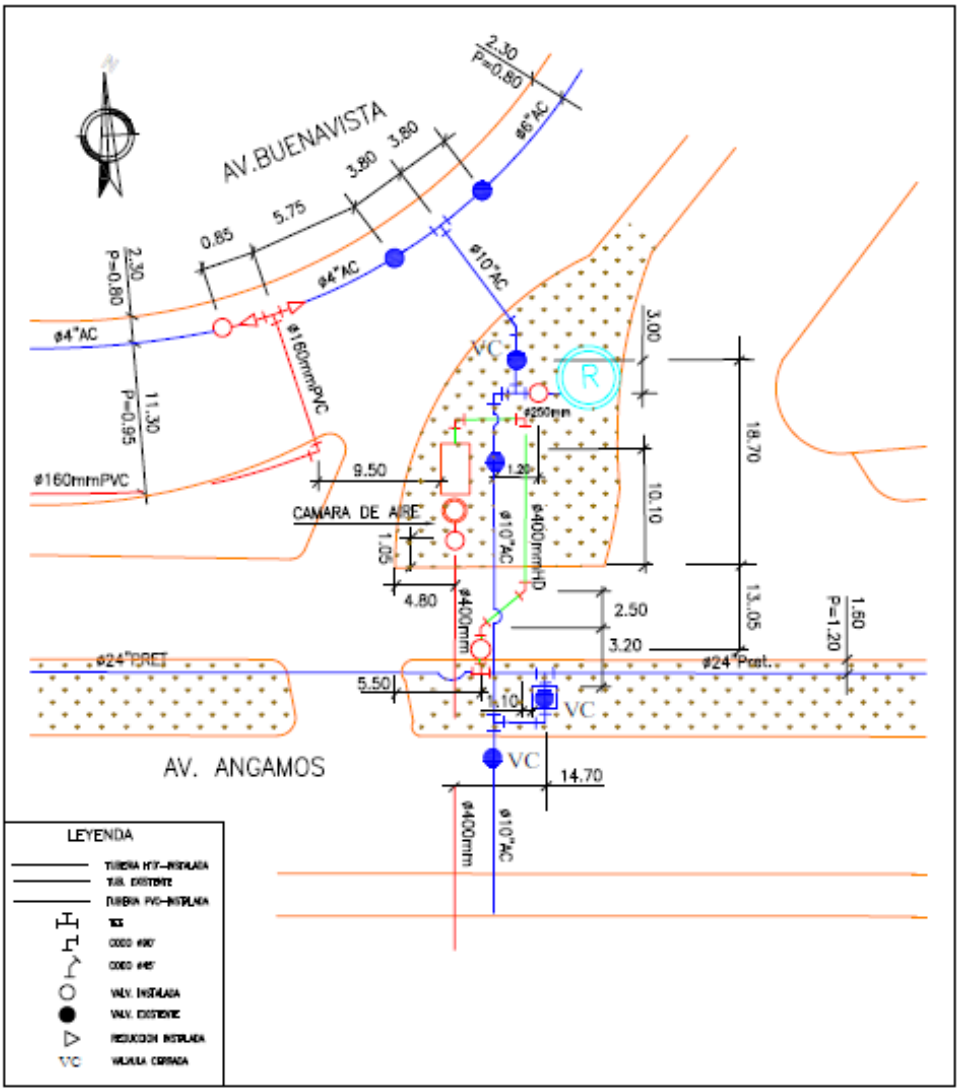
Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2023). Reporte de gestión de las EPS 2022-2023. https://www.sunass.gob.pe.

ANEXO N°1: PLANO GENERAL DEL SISTEMA SECTOR 73



ANEXO 2: PLANOS CAD RECOLECTADOS

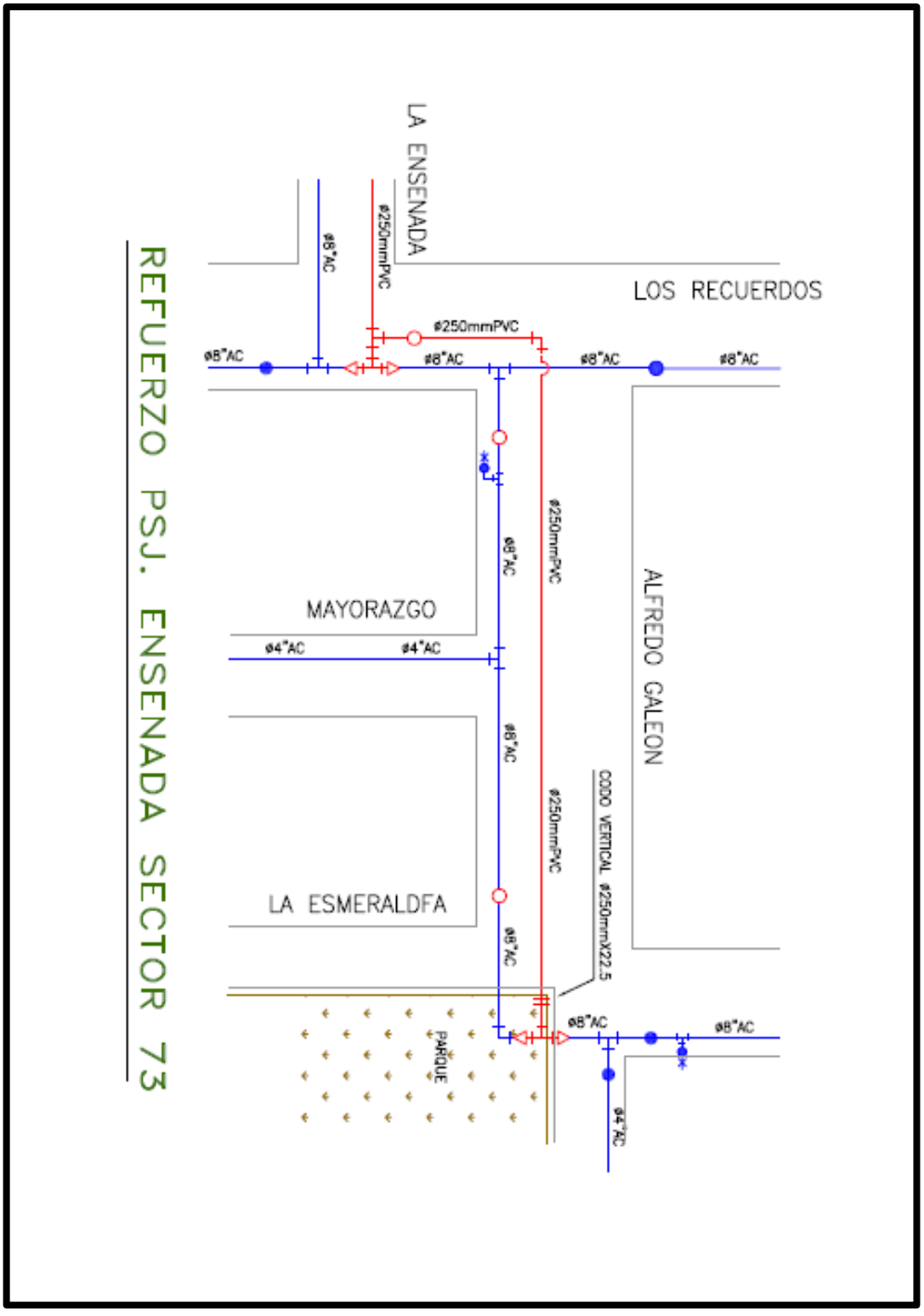




SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LIMA

sedapal

REVISADO POR: ING.ENRIQUE VILLANUEVA, ING.ENRIQUE VARGAS	OBRA: OBRAS DE SECTORIZACION DE LOS SECTORES 01 AL 05, 20 AL 24, 39 AL 40, 43, 47 AL 48, 59 AL 73 Y DEL 76 AL 78 DEL SISTEMA ATARJEA–CENTRO		CONTRATISTA: CONSORCIO TyT S.A. MPM S.A.–W. JACKSON
APROBADO: ING.RAFAEL NORIEGA			SUPERVISA: ARANA–CES, Asociados
DIBUJO: M.S.I. / N° ESQ.: 180	SECTOR N° : 73	PLANO N° : 48	
FECHA: DICIEMBRE 2001	DISTRITO : SAN BORJA	ESCALA : SIN ESCALA	UBICACION: Av. ANGAMOS–BUENAVISTA


REFUERZO PSJ. ENSENADA SECTOR 73
LA ENSENADA
LOS RECUERDOS
MAYORAZGO
LA ESMERALDFA
ALFREDO GALEON
PARQUE
ø8"AC
ø250mmPVC
ø4"AC
CODO VERTICAL ø250mmX22.5

ANEXO N°3: PANEL FOTOGRÁFICO

CAUDALÍMETROS INSTALADOS



Imagen. Instalación caudalímetro subsector 73 - I



Imagen. Instalación caudalímetro subsector 73 - II



Imagen. Instalación caudalímetro subsector 73 - III



Imagen. Instalación caudalímetro subsector 73 - IV

SITUACIÓN INCIAL







Imagen. Cámara de ingreso y cámara de control SCADA





Imagen. Cámara de control 1





Imagen. Cámara de control 2

DATALOOGERS EN ABONADOS (TEMPORAL)





Imagen. Instalación datalooger NIS 1





Imagen. Instalación datalooger NIS 2





Imagen. Instalación datalooger NIS 3



Imagen. Instalación datalooger NIS 4



Imagen. Instalación datalooger NIS 5



Imagen. Instalación datalooger NIS 6

ANEXO N°4: PLANO GENERAL – LOCALIZACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN



ANEXO N°5: FICHAS TÉCNICAS DE DATALOGGERS Y CAUDALÍMETROS INSTALADOS

MICROCOM

NEMOS N200+

Datalogger GSM IP68

El NEMOS N200+ es un dispositivo de adquisición de datos con comunicación GSM y alimentación a pilas concebido para su operación en arquetas y entornos susceptibles de inundación (grado de protección IP68). Cuenta con cuatro entradas digitales aptas para caudalímetro de pulsos, y dos analógicas.

En la concepción del NEMOS N200+ nos inspiramos en el principio clásico de diseño "la forma sigue la función". Algunas de las características más originales del equipo son consecuencia de esta filosofía: **la forma hexagonal y la posición del conector de antena.**

- La configuración hexagonal permite instalar la tarjeta electrónica y dos packs de pilas dobles en el menor volumen posible. De esta manera, el NEMOS N200+ contiene hasta **cuatro veces más energía** de lo habitual manteniendo un tamaño discreto.

- El conector de antena en la parte superior es clave para el concepto de antena desmontable. Las ventajas de esta solución son dos: por un lado, podemos ofrecer una **antena dipolo de tamaño completo y excelente rendimiento** solidaria con el datalogger; por otro, la flexibilidad de desmontarla e instalar una antena externa cuando el caso lo requiera. Un único modelo cubre todas las posibilidades.

Para la configuración y diagnóstico, el Nemos N200+ cuenta con comunicación Bluetooth que permite llevar a cabo estas tareas cómodamente desde fuera de la arqueta, evitando la necesidad de realizar este trabajo en espacios confinados.



Sus características principales son las siguientes:

- 4 entradas digitales para caudalímetros.
- 2 entradas analógicas configurables en modo 0-10v ó 4/20mA.
- 2 salidas de tensión en rango 5 a 24v para alimentación de sondas analógicas.
- Opcionalmente, 1 ó 2 sondas de presión integradas con muestreo rápido de hasta 128Hz.
- Autonomía típica de 10 años.
- Protección IP68 (2m 100 días).
- Antena desmontable de alto rendimiento.
- Disponible en versiones 2G/3G y NB-IoT.
- 5 años de garantía.

www.microcom.es

902 82 06 84 / 943 63 97 24
microcom@microcom.es

C/Gorostiaga, 53
20305 IRÚN
GUIPUZCOA - ESPAÑA

ZENNER

IUW

Medidor ultrasónico de agua de gran caudal para la distribución de agua potable y aplicaciones industriales

El medidor ultrasónico de agua de gran caudal IUW se utiliza para registrar caudales altos y fluctuantes en la distribución de agua potable y en la industria, con una pérdida de presión muy baja al mismo tiempo. Dos pares de sensores ultrasónicos garantizan una precisión de medición óptima. El IUW viene equipado de fábrica con una pantalla LCD de 9 dígitos y una interfaz NFC. Esto permite una conexión de un módulo NDC-wireless M-Bus (OMS) o NDC-LoRaWAN®. La tecnología de radio se configurará automáticamente a través de la función "plug and play" del módulo NDC. Todas las variantes están homologadas para cualquier instalación, por lo que también son adecuadas para la instalación en tuberías ascendentes y descendentes. También es posible el montaje en techo. Todos los materiales utilizados en el sector del agua potable cumplen las normas exigidas, las directrices, la Ordenanza de Agua Potable vigente y los principios de evaluación de la Agencia Federal de Medio Ambiente (listas UBA).

Resumen de características

- Tecnología de ultrasonidos
- Máxima precisión y fiabilidad incluso con flujos bajos
- Clase de protección IP68
- No hay partes móviles en el sensor de caudal
- Insensible a depósitos y partículas
- No requiere una entrada o salida recta (U0/D0) según OIML R49 y DIN EN ISO 4064
- Registro electrónico de LCD alimentado por batería con interfaz NFC
- Funciones de medición inteligentes
- Funciones de alarma y estadística
- Interfaz NFC aislada galvánicamente
- Duración de la batería >15 años
- Presión nominal MAP 16
- Aprobado según MID
- Módulo NDC con detección automática de la tecnología de radio mediante "plug and play"
- Aplicación de configuración
- Clase de entorno mecánico/electromagnético M2/E2



Áreas de aplicación

- Para la medición del consumo de agua potable fría y limpia o de agua de servicio hasta 50 °C
- Medición de flujos grandes

Opciones AMR

- Interfaz NFC (= captura de datos en campo cercano) para conectar un módulo NDC externo

interfaz NFC (Near Field Communication, comunicación de campo cercano)

- Identificación del instrumento de medición (número de serie)
- Visualización del consumo actual (equilibrado) o del volumen total en caso de desbordamiento
- Fecha / Hora
- Versión del firmware
- Hasta 15 valores del mes anterior
- Temperatura
- Fecha clave / Volumen de la fecha clave
- Volumen de caudal de avance / Volumen de caudal de retorno
- Alarmas o mensajes de error
- Final de la batería