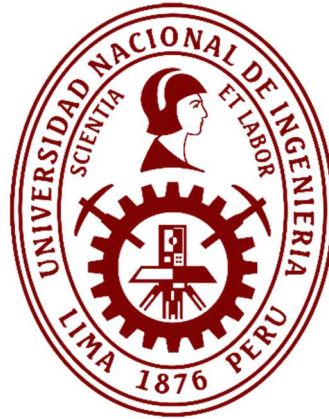


**Universidad Nacional de Ingeniería**

**Facultad de Ingeniería Ambiental**



TESIS

**Metodología para la gestión de la infraestructura en redes de  
distribución de agua aplicando el proceso de jerarquías analíticas  
(AHP)**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Sanitario.

Elaborado por

Dennys Javier Jahnsen Quezada

 [0009-0009-4291-8227](https://orcid.org/0009-0009-4291-8227)

Asesor

MSc. Yuri Marco Sánchez Merlo

 [0000-0003-0486-2292](https://orcid.org/0000-0003-0486-2292)

LIMA – PERÚ

2025

---

Citar/How to cite	Jahnsen [1]
Referencia/Reference	[1] D. Jahnsen, " <i>Metodología para la gestión de la infraestructura en redes de distribución de agua aplicando el proceso de jerarquías analíticas (AHP)</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

---



---

Citar/How to cite	(Jahnsen, 2025)
Referencia/Reference	Jahnsen, D. (2025). <i>Metodología para la gestión de la infraestructura en redes de distribución de agua aplicando el proceso de jerarquías analíticas (AHP)</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

***Dedicatoria***

*A Sebastian Jahnsen, Flavia Ramos y Daniro Quezada.*

## **Agradecimientos**

Expreso mi más profundo agradecimiento a mis padres, Diana Quezada y Marlon Jahnsen, así como a mis hermanos, Michael Jahnsen y Brenda Jahnsen, por su apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica. Su confianza en mí y su aliento constante han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

Asimismo, extiendo mi especial agradecimiento a mi padrino, Roberto Quezada, principal responsable de que haya podido acceder a una educación de calidad en la Universidad Nacional de Ingeniería. Su respaldo inquebrantable y su compromiso con mi desarrollo profesional han sido determinantes en este camino.

A mis profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, quienes, con su dedicación y conocimiento, han forjado en mí las bases necesarias para desenvolverme en esta disciplina. En especial, a mi asesor Yuri Sánchez, por ser no solo un guía académico, sino un verdadero maestro y ejemplo de ética, compromiso y excelencia profesional. Su orientación ha sido esencial para la elaboración de esta tesis.

Del mismo modo, expreso mi gratitud al Equipo de Operación y Mantenimiento – Comas de SEDAPAL, en particular al Grupo Funcional de Distribución, por su apoyo y colaboración durante la ejecución de esta investigación. De manera especial, agradezco a Alexis Riega, Jesús Fajardo y Julio Candela, quienes brindaron su orientación y respaldo en este proceso. También reconozco la colaboración de Christie Ruiz, Maira Girón, Mauro Espinoza y Jojhan Vera, cuyo apoyo y compromiso fueron valiosos en el transcurso de este proyecto.

Finalmente, a todas las personas que, de una u otra manera, han contribuido en este proceso, brindándome su apoyo, conocimientos y palabras de aliento. A todos ustedes, mi más sincero reconocimiento y gratitud.

## Resumen

El acceso al agua potable es un derecho fundamental y un pilar clave para el desarrollo sostenible. Su gestión eficiente es esencial para garantizar un suministro seguro y continuo a la población. Sin embargo, muchas redes de distribución presentan pérdidas de agua, deterioro estructural y limitaciones hidráulicas, comprometiendo su eficiencia y sostenibilidad.

Esta investigación propone una metodología para evaluar y priorizar la rehabilitación de redes de distribución de agua, considerando dos niveles de análisis: sectorial y por tramos. Para ello, se aplica el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) con criterios diferenciados en cada nivel. A nivel sectorial, se evalúan volumen perdido, vida útil remanente, presión promedio y número de fallas para identificar los sectores más críticos. A nivel de tramos, se jerarquizan las tuberías dentro del sector más crítico, considerando capacidad hidráulica, vulnerabilidad, tasa de roturas y vida útil remanente.

Los resultados se presentan mediante mapas temáticos, proporcionando una herramienta de toma de decisiones estratégica que optimiza recursos y mejora la gestión patrimonial de las redes de distribución de agua potable.

Palabras clave – redes de distribución de agua, rehabilitación de tuberías, análisis multicriterio, proceso analítico jerárquico (AHP), gestión patrimonial del agua.

## **Abstract**

Access to drinking water is a fundamental right and a key pillar for sustainable development. Its efficient management is essential to ensure a safe and continuous supply to the population. However, many distribution networks suffer from water losses, structural deterioration, and hydraulic limitations, compromising their efficiency and sustainability.

This research proposes a methodology to evaluate and prioritize the rehabilitation of water distribution networks, considering two levels of analysis: sectoral and segment-based. To achieve this, the Analytic Hierarchy Process (AHP) is applied with differentiated criteria at each level. At the sectoral level, the evaluation includes lost volume, remaining service life, average pressure, and number of failures to identify the most critical sectors. At the segment level, pipelines within the most critical sector are ranked based on hydraulic capacity, vulnerability, failure rate, and remaining service life.

The results are presented through thematic maps, providing a strategic decision-making tool that optimizes resources and improves the asset management of water distribution networks.

**Keywords** – water distribution networks, pipeline rehabilitation, multi-criteria analysis, Analytic Hierarchy Process (AHP), water asset management.

## Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Introducción.....	xv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo .....	1
1.1 Generalidades .....	1
1.1.1 Abastecimiento de agua en Perú .....	1
1.2 Descripción del problema de investigación .....	6
1.3 Justificación .....	9
1.4 Objetivos del estudio.....	10
1.4.1 Objetivo general.....	10
1.4.2 Objetivos específicos .....	10
1.5 Hipótesis.....	10
1.5.1 Hipótesis general .....	10
1.5.2 Hipótesis específicas .....	11
1.6 Antecedentes investigativos.....	11
Capítulo II. Marco teórico .....	15
2.1 Hidráulica de tuberías a presión.....	15
2.1.1 Ecuación de Bernoulli .....	15
2.1.2 Regímenes de flujo .....	17
2.1.3 Ecuación de Darcy-Weisbach .....	17
2.1.4 Ecuación de Hazen-Williams .....	19
2.1.5 Pérdidas de carga localizada .....	20
2.1.6 Hidráulica de fugas .....	21

2.1.7	Redes de distribución .....	22
2.1.8	Componentes de las redes de distribución .....	23
2.1.9	Métodos de solución .....	29
2.2	Eficiencia hidráulica .....	29
2.3	Eficiencia física .....	30
2.3.1	Balance hídrico .....	31
2.3.2	Métodos para reducir pérdidas reales en redes de distribución .....	37
2.3.3	Fijación de metas.....	48
2.4	Modelamiento hidráulico .....	49
2.4.1	Clasificación de modelos .....	50
2.4.2	Confección de un modelo hidráulico .....	52
2.5	Modelos de decisión multicriterio .....	61
2.5.1	Proceso de jerarquías analíticas .....	61
2.5.2	Base matemática del proceso de análisis jerárquico.....	62
Capítulo III. Desarrollo de la metodología propuesta .....		70
3.1	Delimitación del área de estudio .....	71
3.1.1	Micro medición.....	71
3.1.2	Macro medición .....	71
3.1.3	Medición de presión.....	72
3.1.4	Registro de incidencias.....	72
3.1.5	Registro de redes .....	72
3.1.6	Base cartográfica.....	72
3.1.7	Registro de data comercial .....	73
3.2	Criterios para determinar el sector crítico.....	73

3.2.1	Volumen perdido (m <sup>3</sup> /Km/mes).....	73
3.2.2	Vida útil remanente (años).....	73
3.2.3	Presión promedio (m.c.a.).....	74
3.2.4	Roturas del Sector (N°/año).....	75
3.3	Identificación del Sector crítico.....	75
3.4	Criterios para determinar los tramos críticos .....	76
3.4.1	Capacidad hidráulica (m/s) .....	76
3.4.2	Vulnerabilidad (%).....	77
3.4.3	Tasa de roturas (rotura/año/Km).....	78
3.4.4	Vida útil remanente (años).....	78
3.5	Tramos críticos .....	78
3.6	Resumen de la metodología .....	79
Capítulo IV. Aplicación de la metodología .....		81
4.1	Aplicación del Proceso de Jerarquías Analíticas (AHP) en sectores .....	84
4.1.1	Criterios .....	84
4.1.2	Matriz de comparaciones pareadas de criterios .....	84
4.1.3	Vector propio principal .....	85
4.1.4	Cálculo de la razón de la inconsistencia .....	86
4.1.5	Indicadores y normalización.....	88
4.1.6	Cuadro resumen .....	100
4.1.7	Plano temático .....	101
4.2	Aplicación del Proceso de Jerarquías Analíticas (AHP) en tramos del sector crítico.....	104
4.2.1	Criterios .....	104

4.2.2	Matriz de comparaciones pareadas de criterios .....	104
4.2.3	Vector propio principal .....	105
4.2.4	Cálculo de la razón de la inconsistencia .....	106
4.2.5	Indicadores y normalización.....	108
4.2.6	Cuadro resumen .....	113
4.2.7	Plano temático .....	114
	Conclusiones.....	116
	Recomendaciones.....	118
	Referencias bibliográficas .....	120
	Anexos .....	125

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Clasificación de las tuberías según el material, ventajas y desventajas. ....	25
Tabla 2: Componentes del balance hídrico. ....	33
Tabla 3: Componentes del balance hídrico propuesto por SEDAPAL basado en la metodología del IWA. ....	34
Tabla 4: Niveles de planificación. ....	45
Tabla 5: Probabilidad de Supervivencia. ....	46
Tabla 6: Coeficientes de Mantenimiento. ....	47
Tabla 7: Coeficientes de Incidencia. ....	48
Tabla 8: Vida Útil Proyectada Según Inventario Físico de SEDAPAL. ....	48
Tabla 9: Criterio para la calibración de modelos recomendados por la American Water Works Association (AWWA). ....	59
Tabla 10: Criterios para valorar la calibración de modelos. ....	60
Tabla 11: Escala de preferencias. ....	62
Tabla 12: Índices aleatorios de consistencia. ....	67
Tabla 13: Asignación de los valores del indicador. ....	68
Tabla 14: Valores y niveles de criticidad. ....	68
Tabla 15: Matriz de comparación de criterios A. ....	84
Tabla 16: Criterio volumen de agua perdida de los sectores en estudio. ....	88

Tabla 17: Rangos del criterio volumen perdido, indicador (I) y valor normalizado (N). ....	91
Tabla 18: Criterio vida útil remanente de los sectores en estudio .....	91
Tabla 19: Rangos del criterio vida útil remanente, indicador (I) y valor normalizado (N). .	94
Tabla 20: Criterio presión promedio de los sectores en estudio .....	94
Tabla 21: Rangos del criterio presión promedio, indicador (I) y valor normalizado (N). ....	97
Tabla 22: Criterio roturas del sistema de los sectores en estudio .....	97
Tabla 23: Rangos del criterio roturas del sistema, indicador (I) y valor normalizado (N).	100
Tabla 24: Resumen de criterios y pesos ponderados para cada sector. ....	100
Tabla 25: Matriz de comparación de criterios A' .....	104
Tabla 26: Rangos del criterio capacidad hidráulica, indicador (I) y valor normalizado (N) .....	109
Tabla 27: Rangos del criterio vulnerabilidad, indicador (I) y valor normalizado (N). ....	111
Tabla 28: Rangos del criterio tasa de roturas, indicador (I) y valor normalizado (N). ....	112
Tabla 29: Rangos del criterio Vida Útil Remanente, indicador (I) y valor normalizado (N) .....	113
Tabla 30: Resumen de criterios y pesos ponderados para cada tramo. ....	114

## Lista de Figuras

	Pág..
Figura 1: Clasificación de la población rural y urbana en Perú.....	3
Figura 2: Clasificación de la población rural y urbana en Perú.....	4
Figura 3: Clasificación de prestadores de servicio en pequeñas ciudades.....	5
Figura 4. Clasificación de prestadores de servicio en el ámbito rural.....	5
Figura 5: Energía en los extremos de la tubería.....	16
Figura 6: Entradas y salidas de volúmenes en un sistema de abastecimiento.....	32
Figura 7: Relación entre la tasa de fuga y tiempo de fuga.....	36
Figura 8: Métodos de intervención para hacer frente a las pérdidas reales.....	38
Figura 9: Diseño típico de los distritos hidrométricos.....	39
Figura 10: Relación entre caudal consumido, caudal de fuga y presión.....	40
Figura 11: Esquema simplificado de presiones dentro de una red de distribución.....	42
Figura 12: Ley de retornos decrecientes en las metodologías en el control de fugas.....	49
Figura 13: Método basado en Área.....	56
Figura 14: Método basados en Punto.....	57
Figura 15: Proceso de solución de problemas.....	61
Figura 16: Variación de presiones.....	74
Figura 17: Esquema general y fases principales de la curva de la bañera.....	75

Figura 18: Resumen de la metodología .....	80
Figura 19: Distritos administrados por el Centro de Servicios Comas. ....	81
Figura 20: Sectores hidráulicos administrados por el Centro de Servicios Comas. ....	82
Figura 21: Sectores hidráulicos que cumplen con la información mínima. ....	83
Figura 22: Sectores en estudio, diferenciados por el volumen perdido (m <sup>3</sup> /Km/mes) .....	90
Figura 23: Sectores en estudio, diferenciados por vida útil remanente (años) .....	93
Figura 24: Sectores en estudio, diferenciados por presión promedio (mca).....	96
Figura 25: Sectores en estudio, diferenciados por número de incidencias (N°/año).....	99
Figura 26: Sectores en estudio, diferenciando según su criticidad.....	102
Figura 27: Red de distribución de agua potable del sector 208, diferenciando las tuberías según su capacidad hidráulica. ....	109
Figura 28: Red de distribución de agua potable del sector 208, diferenciando las tuberías según su vulnerabilidad.....	110
Figura 29: Red de distribución de agua potable del sector 208, diferenciando las tuberías según su tasa de roturas.....	111
Figura 30: Red de distribución de agua potable del sector 208, diferenciando las tuberías según su vida útil remanente. ....	112
Figura 31: Red de distribución de agua potable del sector 208, diferenciando las tuberías según su criticidad. ....	115

## Introducción

El acceso al agua potable es un derecho fundamental y un pilar clave para el desarrollo sostenible, reconocido en el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6. Su gestión eficiente es crucial para garantizar un suministro seguro y continuo a la población. Sin embargo, Perú enfrenta desafíos particulares debido a su distribución geográfica y climática: más del 70% de la población se encuentra en la costa, una región árida donde los recursos hídricos son escasos y la demanda sobre las redes de distribución es alta. Lima, al igual que otras ciudades costeras, está ubicada en un desierto, lo que hace que la optimización de la infraestructura de agua sea un factor crítico para la sostenibilidad del servicio.

A esto se suma el crecimiento urbano desordenado, tanto en expansión horizontal como en densificación vertical, impulsado en gran parte por la migración de población de zonas rurales a las ciudades. Este fenómeno ha generado una demanda creciente y muchas veces no planificada sobre las redes de distribución, llevando a problemas de sobrecarga en la infraestructura existente, incremento en las pérdidas de agua y dificultades en la gestión del mantenimiento.

El abastecimiento eficiente de agua potable en estas condiciones es un desafío técnico y de gestión. Muchas redes de distribución presentan pérdidas por fugas, deterioro estructural y limitaciones en su capacidad hidráulica, lo que afecta la calidad del servicio y aumenta el desperdicio de un recurso ya de por sí limitado. Para abordar esta problemática, la toma de decisiones basada en datos es esencial para priorizar la rehabilitación de las redes y optimizar la inversión en infraestructura. No obstante, los enfoques tradicionales de mantenimiento y planificación no siempre integran múltiples factores, lo que puede derivar en intervenciones poco eficientes y un uso inadecuado de los recursos.

En este contexto, la presente investigación propone una metodología para evaluar y priorizar la rehabilitación de redes de distribución de agua potable, orientada a optimizar la gestión operativa de los equipos de operación y mantenimiento. Esta herramienta

proporciona un enfoque estratégico para mejorar la planificación y eficiencia en la toma de decisiones sobre la red de distribución.

# Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

## 1.1 Generalidades

### 1.1.1 *Abastecimiento de agua en Perú*

Mucho antes de la conquista del Tahuantinsuyo e incluso antes de la consolidación del Imperio Inca, diversas civilizaciones dejaron un valioso legado de conocimientos, ritos y costumbres que aún perduran. Entre ellos, destacan las majestuosas obras hidráulicas, verdaderas maravillas de ingeniería que siguen asombrando al mundo. Entre las más notables, se encuentra:

- El sistema de represas, ubicado a lo largo de los Andes, se construía estratégicamente en el cauce de los ríos para minimizar la acumulación de sedimentos y evitar la reducción de su capacidad de almacenamiento. Este principio sigue vigente en la actualidad, como se observa en la represa del río Gallito Ciego.
- El sistema de amunas en la sierra de Lima consistía en captar y conducir el agua de lluvia durante la temporada de avenidas a través de canales hasta zonas de infiltración. Su función era recargar los acuíferos para que, en épocas de estiaje, el agua emergiera en forma de manantiales, puquios o también llamados ojos de agua.
- Los sistemas de riego en Cajamarca están conformados por extensos canales que atraviesan diversas cuencas, permitiendo aumentar la disponibilidad de agua para el riego de cultivos y el sustento de diversas especies.
- Finalmente, los sistemas de acueductos de Nazca canalizan las filtraciones de los ríos a través de una red de galerías subterráneas y zanjones a cielo abierto. En los tramos subterráneos, se construyeron chimeneas helicoidales que facilitan el mantenimiento y permiten la oxigenación del agua al conectarla con la atmósfera.

En la actualidad, se ha establecido una política nacional sobre el agua que la reconoce como un recurso natural renovable, esencial para la vida, vulnerable y estratégico

para el desarrollo sostenible. Además, destaca su importancia en el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, así como en la seguridad de la Nación. (Congreso de la República del Perú, Ley de Recursos Hídricos N° 29338, 2009, Artículo 1)

En julio del 2010, a través de Resolución la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció el derecho humano al agua y saneamiento, reafirmando ser un derecho esencial para realizar todos los derechos humanos. Esto referido al acceso al agua suficiente para mantener la vida y la salud para satisfacer las necesidades básicas y no una cantidad ilimitada de agua.

En 2015, la Organización para las Naciones Unidas (ONU) adoptó una agenda que incluye 17 objetivos globales a cumplir al 2030 que tienen metas relacionadas con la pobreza, el hambre, la salud, educación, agua y saneamiento, etc.; este último relacionado al acceso universal y justo al agua potable y saneamiento a un precio accesible para todos.

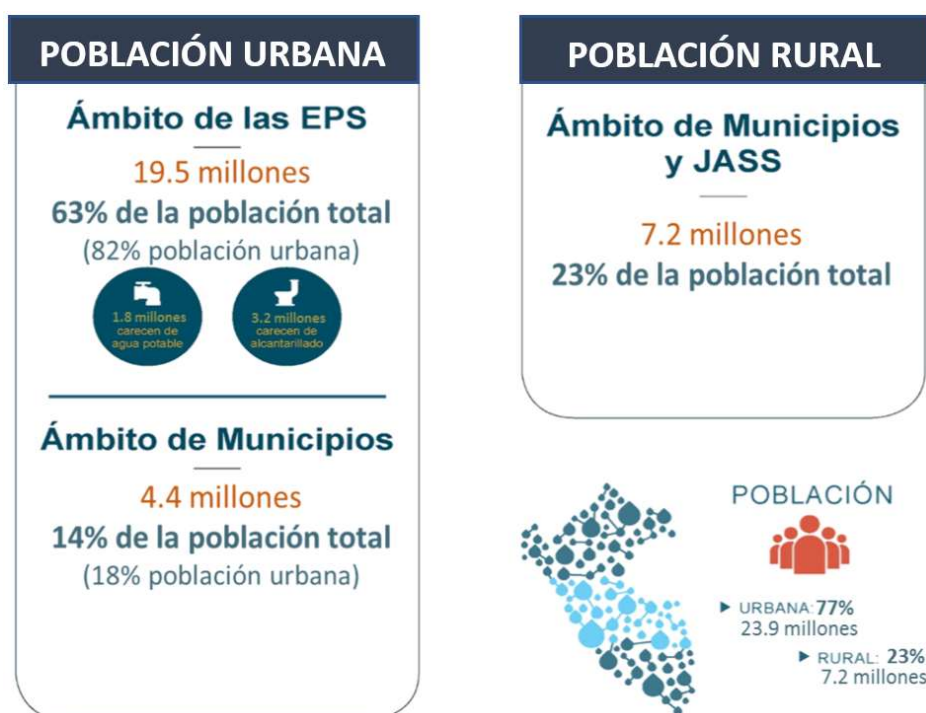
En junio del 2017 se incorporó el artículo en el cual el Estado reconoce el derecho de toda persona a acceder de forma progresiva y universal al agua potable, asimismo el estado debe garantizar este derecho priorizando el consumo humano sobre otros usos. También indica que el estado debe impulsar el manejo sostenible del agua el cual "... se reconoce como un recurso natural esencial y como tal, constituye un bien público y patrimonio de la Nación. Su dominio es inalienable e imprescriptible" (Congreso de la República del Perú, Ley N° 30588, 2017, Artículo 7A). Este es un derecho programático, es decir que no implica gratuidad ni acceso inmediato. Si bien el agua como recurso natural se encuentra ahí como fuente, debe tenerse en consideración el tiempo y costos que supone construir y operar la infraestructura para lograr abastecer a los usuarios.

**1.1.1.1 Prestación del servicio de saneamiento en Perú.** Según la Resolución de Consejo Directivo N° 011-2007-SUNASS-CD se da servicio de abastecimiento de agua

potable, servicio de alcantarillado sanitario, tratamiento de aguas residuales y disposición sanitaria de excretas. En cuanto a la administración de estos servicios de saneamiento, en la población urbana lo administra una Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento (EPS) o el municipio, por otro lado, la administración en la población urbana está encargada por la municipalidad o las Juntas Administradoras de los Servicios de Saneamiento.

**Figura 1**

*Clasificación de la población rural y urbana en Perú.*



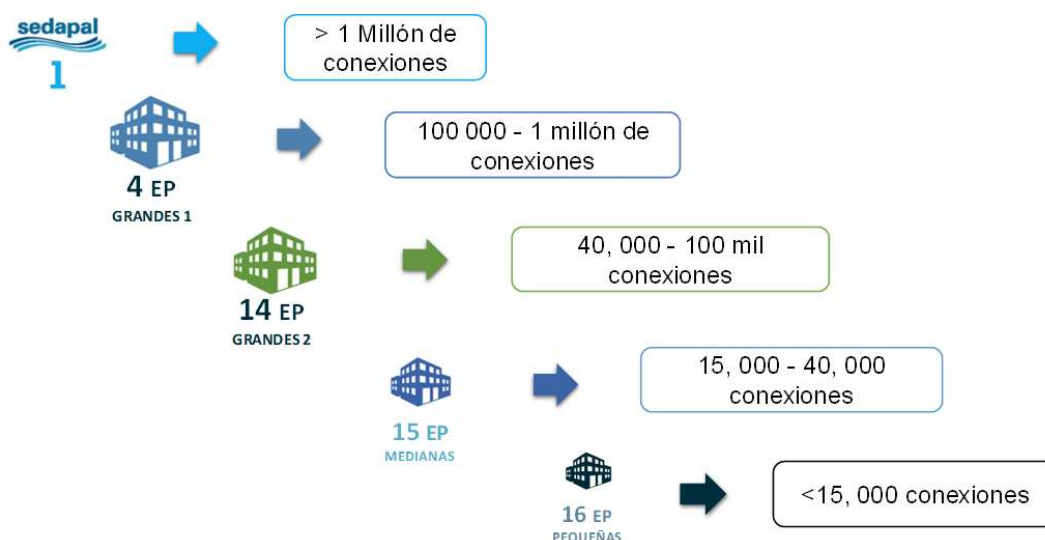
*Nota: Fuente (XV Curso de Extensión Universitaria SUNASS, 2022).*

**1.1.1.2 Tipos de prestadores.** Al igual que la diferencia entre la población urbana y rural, los tipos de prestadores varían según la cantidad de usuarios dentro de su ámbito de servicio.

**1.1.1.2.1 Empresas prestadoras de servicios de saneamiento.** Pueden ser públicas, municipales, privadas o mixtas constituidas con el propósito de dedicarse a los servicios de saneamiento. Se encuentran diferenciadas de acuerdo con la cantidad de conexiones que administran.

**Figura 2**

*Clasificación de la población rural y urbana en Perú.*



*Nota: Fuente (XV Curso de Extensión Universitaria SUNASS, 2022).*

**1.1.1.2.2 Prestadores de pequeñas ciudades.** Prestadores de pequeñas ciudades se independiza cuando está ubicada fuera del ámbito de responsabilidad de una empresa prestadora de servicio.

- Unidad de gestión Municipal el prestador de servicios a cargo de la municipalidad.
- Operador especializado es una organización privada que, desarrollando un proceso de selección, negociación y suscripción de contrato con la municipalidad, esta empresa tiene la capacidad para brindar el servicio, generalmente se da cuando la Unidad de Gestión Municipal no cuenta con el personal o herramientas para la gestión de los servicios de saneamiento.

**Figura 3**

*Clasificación de prestadores de servicio en pequeñas ciudades.*

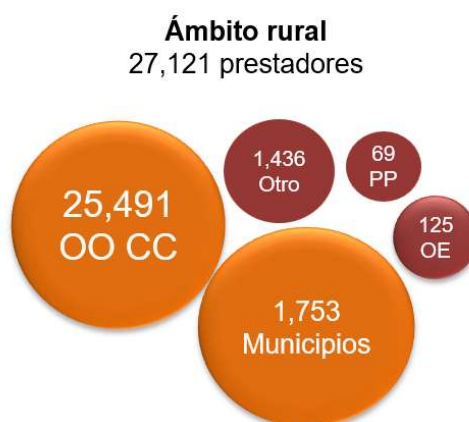


*Nota: Fuente (XV Curso de Extensión Universitaria SUNASS, 2022).*

**1.1.1.2.3 Prestadores del ámbito rural.** Organización comunal, las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS), es una asociación o comité que son elegidas voluntaria y democráticamente por las mismas personas de la comunidad con el propósito de gestionar, operar y mantener los servicios de saneamiento en uno o más centros poblados del ámbito rural.

**Figura 4**

*Clasificación de prestadores de servicio en el ámbito rural.*



*Nota: Fuente (XV Curso de Extensión Universitaria SUNASS, 2022).*

**1.1.1.3 Normativa peruana.** El Reglamento Nacional de Edificaciones mediante las normas OS.010, OS.020, OS.030, OS.040 y OS.050 tienen como objetivo brindar los criterios mínimos de diseño y ejecución de obras de captación, conducción, potabilización, almacenamiento, bombeo y distribución de agua potable.

## **1.2 Descripción del problema de investigación**

### **1.2.1 Cambio climático**

Hay una estrecha relación entre el cambio climático y los impactos negativos en los recursos de agua dulce, esto depende de la región, pero en general afecta el ciclo del agua, la disponibilidad de agua dulce y la calidad de agua.

En los últimos años en nuestro país y se prevé que, para los próximos se genere variabilidad de las precipitaciones lo que se traduce en que algunas regiones estén expuestas a sequías más intensas y alargadas, mientras que para otras regiones experimentarán fuertes lluvias e inundaciones.

Según el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) en los últimos 54 años ha reportado que cerca del 53% de los glaciares se han perdido en el Perú, esto reduce las reservas de agua importante para las cuencas. El aumento del nivel del mar provoca la intrusión salina, afectando los acuíferos costeros y reduciendo la disponibilidad de agua subterránea en períodos en los que el agua superficial resulta insuficiente para el abastecimiento de la población.

Por otro lado, el incremento de las temperaturas no solo eleva la demanda hídrica, sino que también intensifica su uso en actividades como el llenado de piscinas y el riego de áreas verdes.

### **1.2.2 Estrés hídrico**

Según un estudio de Nature Conservancy, Lima se encuentra entre las ciudades con mayor estrés hídrico a nivel mundial, al igual que megaciudades como Tokio y Shanghái. Es la segunda metrópoli más grande ubicada en un desierto, y su acelerada expansión vertical se evidencia en la construcción de grandes edificaciones en cortos

períodos de tiempo. A su vez, su crecimiento horizontal ha sido desordenado y, en muchos casos, informal. Esta situación representa un desafío significativo para la producción y distribución de agua potable, ya que el recurso es cada vez más limitado.

Actualmente, el área de cobertura de la empresa prestadora de servicios de agua potable y alcantarillado de Lima (SEDAPAL) abarca la provincia de Lima, la Provincia Constitucional del Callao y cualquier distrito o provincia que se incorpore mediante Resolución del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Su suministro depende de las cuencas de los ríos Lurín, Chillón y Rímac, siendo este último el más relevante debido a su conexión con un sistema de almacenamiento y un trasvase desde la cuenca del Atlántico.

Además del desafío conducir de agua cruda, el proceso de tratamiento enfrenta dificultades significativas debido a la contaminación generada por relaves mineros, vertimientos de aguas residuales y descargas industriales, cuyos residuos terminan en el río Rímac. De acuerdo con la Gerencia de Producción y Distribución Primaria, este río recibe aproximadamente 175 descargas contaminantes, lo que exige un monitoreo constante de la calidad del agua para garantizar su potabilidad.

### **1.2.3 Estado de la infraestructura**

Con el paso del tiempo, las redes de distribución de agua potable están sujetas a diversos factores que afectan su vida útil. En el Perú, estos sistemas suelen diseñarse para una duración de entre 20 y 30 años; Sin embargo, algunas redes han superado los 50 o incluso 60.

A lo largo de los años, estas infraestructuras presentan problemas como incrustaciones y fugas en conexiones, tramos y accesorios. Las incrustaciones se deben principalmente a la elevada concentración de iones de calcio y magnesio, responsables de la dureza del agua. Por otro lado, las fugas ocurren debido a las presiones internas y externas, así como al deterioro.

#### **1.2.4 Normatividad**

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), entidad responsable de regular, normar y supervisar la prestación de los servicios de saneamiento, analizó el cumplimiento de metas de gestión durante el segundo quinquenio regulatorio (2015-2020). Uno de los indicadores evaluados fue el porcentaje de Agua No Facturada (ANF), cuyo valor promedio en ese período fue del 28%. Sin embargo, este promedio no refleja la variabilidad de los datos, ocultando sectores con valores significativamente más altos.

El Equipo de Control y Reducción de Fugas elabora informes mensuales sobre el porcentaje de ANF en sectores específicos, lo que permite un análisis detallado de este indicador. En algunos casos, se han identificado sectores con pérdidas superiores al 55%, lo que significa que, de cada 100 litros de agua procesada y distribuida, 55 litros no son registrados en la facturación de la empresa.

Según la International Water Association (IWA), las pérdidas reales en las redes de distribución se deben principalmente a fugas en tuberías de aducción, distribución y conexiones domiciliarias. Para mitigar estas pérdidas y reducir el volumen de Agua No Facturada, se emplean diversas estrategias, entre ellas:

- Velocidad y calidad de las reparaciones
- Control activo de fugas
- Gestión de presiones
- Gestión de la infraestructura

El último punto hace referencia a la necesidad de prevenir y solucionar fallos en la infraestructura de agua, especialmente en componentes envejecidos como tuberías, accesorios y válvulas, garantizando así la eficiencia del sistema de distribución.

### **1.3 Justificación**

¿Por qué?

El agua es un recurso esencial para la vida y para múltiples actividades humanas, incluyendo la agricultura, la industria y el abastecimiento doméstico. La escasez de agua es un problema global y gestionarla de manera eficiente es crucial para asegurar la sostenibilidad a largo plazo.

Las pérdidas de agua representan costos económicos considerables para las empresas de agua. Estos costos incluyen la inversión en infraestructura, el gasto energético asociado con el bombeo de agua adicional debido a las pérdidas y los costos de reparación. Además, las pérdidas de agua también pueden tener impactos ambientales negativos, como la disminución de los recursos hídricos disponibles y la energía necesaria para el tratamiento y distribución del agua.

¿Para qué?

Se busca que esta metodología pueda contribuir directamente con el sector agua ya que podría ser adoptada por las empresas que gestionan el agua para mejorar la eficiencia de las redes de distribución obteniendo reducción de costos operativos y de pólizas de seguros, mejora de la sostenibilidad de la empresa, conservación del recurso hídrico, contribución a la gestión responsable del agua, disminución de los reclamos operacionales, mejora en la credibilidad de la empresa.

Si bien el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) publicó una Guía con métodos y criterios para rehabilitar y renovar redes de distribución, los resultados abarcan sectores completos por el cual resulta necesario proponer una metodología para la gestión de la infraestructura hídrica en redes de distribución que permita identificar y priorizar sectores, sus tramos y componentes críticos a fin de su rehabilitación o renovación. Esto cobra especial importancia considerando los presupuestos limitados e invariables que restringen las competencias de los Equipos de Operación y Mantenimiento de Redes.

## **1.4 Objetivos del estudio**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Desarrollar una herramienta de soporte para la gestión patrimonial de las redes de distribución, que permita priorizar los sectores a intervenir y determinar los tramos que requieren rehabilitación o renovación, con el fin de optimizar la toma de decisiones y mejorar la eficiencia en la planificación de inversiones.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Sensibilizar sobre la problemática actual en la gestión del agua, promoviendo la sostenibilidad del recurso a largo plazo, contribuyendo a la mejora de la eficiencia física e hidráulica de los sistemas de distribución.
- Analizar y definir criterios técnicos que permitan caracterizar la funcionalidad óptima de los sectores y sus tramos dentro de la red de distribución.
- Implementar el Proceso de Análisis de Jerarquías Analíticas (AHP) para identificar y priorizar los sectores críticos y los tramos que requieren intervención.
- Aplicar la metodología propuesta en los sectores gestionados por el Equipo de Operación y Mantenimiento de Redes de Comas - SEDAPAL, con el fin de validar su efectividad.
- Estandarizar la metodología para la reducción de pérdidas reales en la gestión operativa, para lograr su replicabilidad en otros Equipos de Operación y Mantenimiento de Redes.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 Hipótesis general**

- La aplicación de la metodología permitirá priorizar los sectores a intervenir y determinar los tramos que requieren rehabilitación o renovación, optimizando la gestión patrimonial de las redes.

### **1.5.2 Hipótesis específicas**

- La definición de criterios técnicos permitirá caracterizar la funcionalidad óptima de los sectores y sus tramos dentro de la red de distribución.
- La aplicación del Proceso de Análisis de Jerarquías Analíticas (AHP) facilitará la ponderación de los criterios y la identificación de los sectores y tramos más críticos.
- La metodología podrá implementarse en un grupo de sectores dentro de la jurisdicción del Equipo de Operación y Mantenimiento de Redes de Comas – SEDAPAL y, posteriormente, en los tramos del sector crítico demostrando su aplicabilidad.
- La metodología desarrollada contribuirá a la reducción del Agua No Facturada (ANF) en la gestión de infraestructura del Equipo de Operación y Mantenimiento de Redes de Comas - SEDAPAL, mejorando la eficiencia operativa.

### **1.6 Antecedentes investigativos**

Marta Cabral, Dália Loureiro & Dídía Covas, Urban Water Journal, 2019. Publican un artículo en todo el objetivo es evaluar los activos económicos de la infraestructura de agua y aguas residuales utilizando el Índice de Valor de la Infraestructura (IVI) como indicador clave de desempeño para priorizar los esfuerzos de rehabilitación. El enfoque propuesto tiene tres pasos: (1) identificación, caracterización y verificación in situ de los activos existentes; (2) estimación de costos de reposición actuales y valor presente (3) determinación de necesidades prioritarias. Se utilizan como estudio de caso los datos de una empresa de servicios públicos de la región portuguesa del Algarve. Los objetivos específicos son ilustrar la metodología y resaltar los problemas y complejidades inherentes a la valoración de activos financieros. Los resultados incluyen cálculos de IVI para diferentes activos utilizando escenarios de vida útil. Se investigaron una variedad de intervenciones estratégicas de rehabilitación a largo plazo para ayudar a evaluar el desarrollo de IVI, los costos de rehabilitación y el crecimiento de los activos de riesgo. La

valoración de activos es importante para determinar las prioridades de remediación a corto plazo y analizar estrategias de remediación a largo plazo.

Xitlati Virginia Delgado Galván, Universitat Politècnica de València, 2011. Desarrolla la tesis doctoral “Aplicación del método de jerarquías analíticas (AHP) a la gestión de pérdidas de agua en redes de abastecimiento”. Investigación donde plantea proporcionar una herramienta para los gestores de abastecimiento que permita tomar decisiones respecto a la política de gestión de fugas para lo cual usa la metodología AHP considerando criterios generales tales como implementar planes de reducción de fugas, corte de suministro, construcción adicional de infraestructura, etc. Con lo que llega a concluir que existe un nivel mínimo de pérdidas de agua a aceptar y depende de la realidad cada empresa. Asimismo, la cuantificación de las pérdidas permitirá implementar las diferentes alternativas propuestas a fin de lograr aprovechar los recursos generalmente escasos de las empresas prestadoras de agua.

Víctor Raúl León Medina, Universidad Nacional de Ingeniería, 2021. Desarrolla el trabajo de grado: “Modelo metodológico para la determinación de la criticidad en colectores primarios”. Trabajo donde propone un modelo metodológico que permite determinar la criticidad en colectores primarios utilizando un tipo de evaluación multicriterio, proceso de jerarquías analíticas; para descomponer, analizar y ponderar criterios de acuerdo con su importancia, donde concluye la necesidad de intervenir el colector N° 6, este último declarado por SEDAPAL en estado de emergencia.

Angela Vanesa Palomino Uriarte, Universidad Nacional de Ingeniería, 2016. Desarrolla un proyecto de reducción de agua no facturada en SEDAPAL en cooperación con la Agencia Peruana de Cooperación Internacional (APCI), el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), con título “Proyecto de fortalecimiento de capacidades para reducción del agua no

facturada en los sectores 67 y 65 del centro de servicios Surquillo del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL". El trabajo propone estandarizar una metodología para reducir el agua no facturada en los sectores 65 y 67 para mejorar la sostenibilidad financiera y administrativa y a su vez la ampliación de la cobertura de SEDAPAL.

International Water Association (IWA), Reino Unido, 2016. Publica un manual de buenas prácticas con título: "Performance indicators for water supply services". El trabajo proporciona directrices para el establecimiento de una herramienta de gestión para los prestadores de servicios basada en el uso de indicadores de desempeño únicos y apropiados que representen el estado actual de los abastecimientos de agua y a su vez para representar todos los aspectos relevantes del rendimiento de un sistema de abastecimiento de una forma adecuada e imparcial. Bajo estas consideraciones se ha demostrado ser importante para la aplicación de BenchMarking.

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS), Perú, febrero 2014. Aprueba la "Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable" cuyo alcance es nacional y de cumplimiento para toda entidad pública o privada, involucrada directa o indirectamente en la formulación y ejecución de programas o proyectos que incluyan la rehabilitación o renovación de las redes de distribución de agua potable. Así como debería ser analizada por los prestadores de servicios a fin de determinar cuándo deben rehabilitar o renovar sus redes de distribución de agua potable.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Perú, abril 2010 publica el "Informe sobre Desarrollo Humano Perú", en el cual advierte que, si bien el Perú es uno de los países más ricos con relación a los recursos hídricos, existen problemas por su distribución territorial. Hay un desequilibrio considerable puesto que en la vertiente del Pacífico está asentada el 60% de la población y el 2% del agua disponible para cubrir sus

necesidades. Las cuencas del río Chillón y del río Rímac se encuentran en fase crítica de escasez (tienen una disponibilidad hídrica menor a 1,000 m<sup>3</sup> /año/hab.) y la de Lurín presenta situación de estrés hídrico (disponibilidad hídrica de 1,000 – 1,700 m<sup>3</sup>/año/hab.).

## Capítulo II. Marco teórico

### 2.1 Hidráulica de tuberías a presión

#### 2.1.1 Ecuación de Bernoulli

La ecuación básica para el flujo de tuberías es la ecuación de Bernoulli y se deriva de la primera ley de la termodinámica:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

Donde:

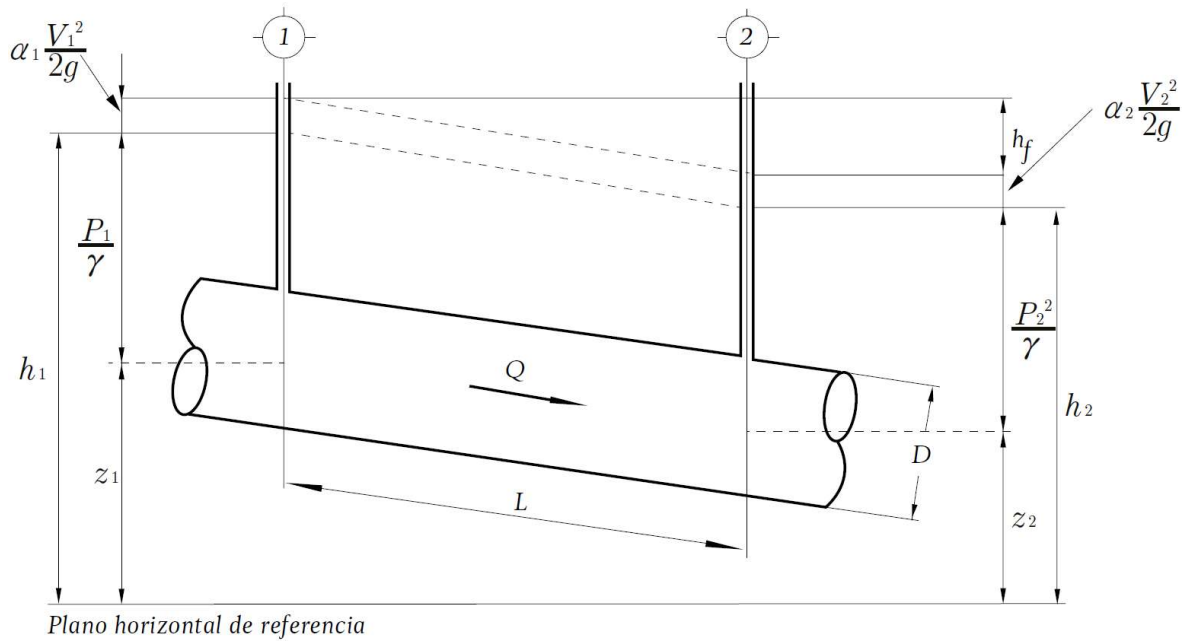
$P_1$ y $P_2$	=	Presiones
$V_1$ y $V_2$	=	Velocidades medias
$z_1$ y $z_2$	=	Elevaciones respecto a una horizontal
$\alpha_1$ y $\alpha_2$	=	Cocientes de Coriolis (valor cercano a 1)
$\gamma$	=	Peso específico del agua
$g$	=	Gravedad

Los términos de esta ecuación están en unidades de longitud y a menudo se denominan alturas de presión, elevación y velocidad, respectivamente. Sin embargo, existe una variable llamada pérdida de carga causada por la fricción del fluido con la tubería y los cambios de la cantidad de movimiento en los accesorios.

En la Figura 5 se muestra la tubería "L" presurizada con el fluido en movimiento y visualiza lo expuesto líneas arriba:

**Figura 5**

*Energía en los extremos de la tubería.*



*Nota: Fuente ( Comisión Nacional del Agua [CONAGUA ], 2010)*

De lo expuesto anteriormente la conservación de la energía resulta:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H$$

$$H = h_f + h_k$$

Donde:

$H$  = Pérdida de carga (m)

$h_f$  = Pérdida de carga por fricción (m)

$h_k$  = Pérdida de carga localizada (m)

### **2.1.2 Regímenes de flujo**

Osborne Reynolds a finales del siglo XIX distinguió dos regímenes de flujo. En el flujo laminar sus líneas de corriente permanecen paralelas, caso contrario en el flujo turbulento ocurre mezcla. En el primer flujo, el esfuerzo cortante en el flujo se deriva de la viscosidad. Mientras que en el segundo tipo de flujo se deriva de los cambios en la cantidad de movimiento a consecuencia del movimiento de las moléculas del fluido de una capa hacia otra (McGhee, 1999).

Reynolds descubrió un vínculo entre un parámetro adimensional y el cambio de flujo laminar a turbulento.

$$N_R = \frac{V D \rho}{\mu}$$

Donde:

$V$  = Velocidad de la tubería

$D$  = Diámetro

$\rho$  = Densidad del fluido

$\mu$  = Viscosidad del fluido

El valor preciso del número de Reynolds en el que el flujo pasa de laminar a turbulento depende de si la velocidad aumenta o disminuye y de las propiedades físicas de la tubería (McGhee, 1999).

### **2.1.3 Ecuación de Darcy-Weisbach**

Esta fórmula se emplea para determinar la pérdida de presión de un fluido que pasa a través de una tubería. La ecuación fue creada de forma independiente por dos ingenieros, Henry Darcy y Julius Weisbach, cuyo trabajo se combinó más tarde en una sola ecuación.

$$h_f = f \frac{LV^2}{D2g}$$

- $f$  = Factor de fricción
- $L$  = Longitud de la tubería (m)
- $D$  = Diámetro de la tubería (m)
- $V$  = Velocidad media de flujo (m/s)
- $g$  = Aceleración gravitacional (m/s<sup>2</sup>)
- $h_f$  = Pérdida de carga por fricción (m)

Se demuestra que el factor de fricción  $f$  depende únicamente del número de Reynolds  $N_R$  y de la rugosidad relativa  $\varepsilon/D$ . Esta dependencia es diferente en los regímenes de flujo laminar y turbulento.

Para el flujo laminar puede ser calculada a partir de:

$$f = \frac{64}{N_R}$$

Para el flujo turbulento, en investigaciones independientes los ingenieros Coolebrook y White descubrieron que la relación entre el coeficiente de fricción, el número de Reynolds y la rugosidad relativa se puede aproximar mediante una ecuación logarítmica:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\text{Log} \left( \frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{N_R\sqrt{f}} \right)$$

Donde:

- $\varepsilon$  = Rugosidad absoluta del interior de la tubería (mm)

Por otro lado, el factor de pérdida se puede calcular directamente a través de la ecuación de Swamee – Jain:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \text{Log} \left( \frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Válida para  $5000 < N_R < 10^6$  y  $10^{-6} < \varepsilon/D < 10^{-2}$

#### **2.1.4 Ecuación de Hazen-Williams**

Es una formula empírica desarrollada por dos ingenieros estadounidenses, Allen Hazen y Gardner S. Williams. Si bien no considera aspectos complejos del flujo, Es fácil de usar y proporciona resultados aceptables en muchos casos.

$$h_f = 10.67 \left( \frac{Q}{C} \right)^{1.852} \times \left( \frac{L}{D} \right)^{4.87}$$

- Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)
- C = Coeficiente de Hazen-Williams
- L = Longitud de la tubería (m)
- D = Diámetro de la tubería (m)
- $h_f$  = Pérdida de carga por fricción (m)

El coeficiente de Hazen-Williams depende del material y la rugosidad de la tubería.

Flechas (2011) sugiere que el uso de la ecuación de Hazen-Williams presenta rangos de validez ya que su desarrollo fue obtenido a partir de condiciones normales tales como:

- El fluido debe ser agua a 20° C.
- Diámetro superior a 100mm.

- La velocidad del flujo no debe superar 3m/s.
- Gradiente de pérdida promedio 1‰.

En resumen, ecuación de Hazen-Williams es una herramienta eficiente y práctica para aproximar las pérdidas de presión en un sistema de suministro de agua, siempre que se use dentro de los parámetros y con las consideraciones correctas.

Para aplicaciones que requieren mayor precisión o exactitud, se requerirá ecuaciones más complejas y detalladas, como la ecuación de Darcy-Weisbach junto con la correlación de Colebrook-White para el cálculo del factor de fricción.

### **2.1.5 Pérdidas de carga localizada**

Llamadas también pérdidas menores ya que en tramos largos, las pérdidas por accesorios pueden ser despreciables; sin embargo, si se requiere un alto grado se deberán considerar. Se ha encontrado que las pérdidas de carga localizadas generalmente varían con la velocidad, por lo que se expresa como:

$$h_k = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$h_f$  = Pérdida de carga localizada (m)

$K$  = tipo de accesorio (cambio de dirección, obstrucción o velocidad)

$V$  = Velocidad media de flujo (m/s)

$g$  = Aceleración gravitacional (m/s<sup>2</sup>)

### 2.1.6 Hidráulica de fugas

Si se ignora la pérdida de presión en el suelo que rodea la tubería, la fuga en dicha tubería es hidráulicamente equivalente a la fuga en el tanque de almacenamiento, por lo que su comportamiento se basará en la ecuación de Torricelli (Van Zyl & Clayton, 2007).

$$q = C_d A (2gh)^{0.5}$$

Donde:

$q$  = Caudal de fuga a través del orificio (m<sup>3</sup>/s)

$C_d$  = Coeficiente de descarga

$A$  = Área de la sección del orificio (m<sup>2</sup>)

$g$  = Aceleración gravitacional (m/s<sup>2</sup>)

$h$  = Presión disponible entre los puntos ubicados aguas arriba y aguas abajo del punto de descarga (m)

Esta ecuación asume que los valores de coeficiente de descarga y sección transversal permanecen constantes. Sin embargo, en la práctica las fugas se comportan de manera más compleja que el paso de un caudal a través de un orificio (Molina, 2014).

Van Zyl & Clayton (2007) indican que para representar las fugas en una red de distribución se deben considerar factores como: el tipo de flujo, características hidráulicas del terreno alrededor de la tubería, propiedades mecánicas de las tuberías, tipo del orificio de fuga, tamaño del orificio de fuga y los consumos. Así como el caudal de fuga depende de la presión, el área del orificio también varía con la presión y su grado de apertura depende de las propiedades mecánicas de la tubería. Molina (2014), señala que con la hipótesis anterior se explica la variabilidad en los resultados de las pruebas de campo realizadas para obtener los valores del índice de fuga. Y es la base de la teoría Fix And

Variable Area Discharge (Descarga de área fija y variable), con la siguiente ecuación propuesta por varios actores se busca representar la hidráulica de fugas:

$$q = KP^N$$

Donde:

$q$  = Caudal de fuga a través del orificio ( $m^3/s$ )

$K$  = coeficiente emisor de fugas

$P$  = Presión

$N$  = Exponente de fugas

El exponente de fugas no es un valor fijo, este varía respecto al área de los orificios y el tipo de material de la tubería. Cassa et al., (2010) proponen una ecuación la cual no diferencia entre fugas de sección variable o fija, esta ecuación considera los cambios en la sección del orificio debido a la presión.

$$q = C_d \sqrt{2g} (A_0 h^{0.5} + m h^{1.5})$$

Donde:

$q$  = Caudal de fuga a través del orificio ( $m^3/s$ )

$C_d$  = Coeficiente de descarga

$A_0$  = Área inicial de la sección del orificio a presión cero ( $m^2$ )

$g$  = Aceleración gravitacional ( $m/s^2$ )

$h$  = Presión (m)

$m$  = Pendiente del gráfico área vs presión (ensayos de deformación elástica de la sección de fuga)

### **2.1.7 Redes de distribución**

Son parte del sistema de abastecimiento formado por tuberías, elementos de operación, regulación y control que permite abastecer el suministro de agua potable a los

usuarios. Según Tsutiya, (2003), generalmente están constituidas por tuberías primarias y secundarias que se diferencian por su diámetro. Las redes primarias son denominadas troncales o arterias cuya finalidad es abastecer a las tuberías secundarias, estas últimas abastecen directamente a los puntos de consumo.

Las redes de distribución es infraestructura que solo una pequeña parte físicamente visible y esto hace que su monitoreo sea desproporcionadamente insuficiente en tiempo y espacio, por la complejidad de las redes, los consumos y la variación de estos. (Teixeira et al., 2006)

Las redes de distribución pueden clasificarse de acuerdo con el ordenamiento de las tuberías principales y secundarias.

- Redes ramificadas.
- Redes malladas
- Redes mixtas

Las redes ramificadas se caracterizan por que el abastecimiento de las redes secundarias se da a través de una matriz troncal. Si ocurre un cierre en un tramo de esta troncal, se ve comprometido el abastecimiento aguas abajo a diferencia de la red mallada que está constituido por circuitos entre las tuberías principales permitiendo al sistema ser más resiliente en cuanto a roturas o cierres imprevistos.

Dentro de los principales elementos de operación, regulación y control se destacan las válvulas de paso, válvulas reguladoras de presión, válvulas de purga, válvulas de purga de aire, medidores de caudal, hidrantes, etc.

## **2.1.8 Componentes de las redes de distribución**

**2.1.8.1 Tubería.** Según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2010) la tubería se compone de dos o más tuberías unidas entre sí de manera que permitan que el agua

fluya a través de ellas. Para seleccionar el material se deben considerar características como:

- Resistencia de la tubería debe ser mayor que la carga estática que pueda estar expuesta. Una adecuada resistencia de la tubería se traduce en una larga vida útil y hermeticidad para la tubería y su unión.
- Resistencia a la corrosión está relacionada con la capacidad de resistir líquidos y suelos agresivos, los cuales provocan reacciones químicas en las paredes externa o interna del tubo reduciendo su vida útil.
- Capacidad de conducción depende de las protuberancias o irregularidades microscópicas dentro de la tubería y está relacionado con la facilidad con el que el agua circula por la tubería.
- Costo de instalación se compone de varios factores como el costo de adquisición, transporte al lugar de la instalación y su resistencia en el manejo, ya que podrían afectar en tiempo y costo del proyecto.
- Finalmente, la conservación de la calidad de agua se refiere a que, con el paso del tiempo, la tubería no añada sabores, olores o sustancias químicas al agua potable así como también evitar el paso de sustancias externas que pudieran encontrarse en el recorrido de la tubería.

**Tabla 1**

*Clasificación de las tuberías según el material, ventajas y desventajas.*

Material y diámetros	Sistema de unión	Piezas Especiales	Ventajas	Desventajas
Policloruro de vinilo (PVC) (50 a 630 mm)	Acoplamiento espiga campana con anillo de hule	Se fabrican de PVC Pueden usarse piezas de hierro fundido en los crueros, con adaptadores bridados de PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo coeficiente de rugosidad</li> <li>• Ligereza</li> <li>• Instalación rápida, fácil y económica</li> <li>• Flexibilidad</li> <li>• Alta resistencia a la tensión</li> <li>• Alta resistencia a la corrosión y al ataque químico de ácidos, álcalis y soluciones salinas</li> <li>• Puede realizarse la prueba hidrostática inmediatamente después de su instalación</li> <li>• Mantenimiento nulo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Susceptible a daños durante su manejo</li> <li>• Con temperaturas menores a 0°C se reduce su resistencia al impacto</li> <li>• Cuando conduce agua a presión con temperatura superior a 25°C, disminuye la presión máxima de trabajo que puede soportar</li> <li>• La exposición prolongada a los rayos solares afecta sus propiedades mecánicas</li> </ul>
Polietileno de alta densidad (PEAD) (12 a 1,000 mm)	Termofusión	Se fabrican de polietileno y se unen por termofusión. Pueden acoplarse a piezas especiales de hierro fundido por medio de adaptadores de polietileno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo coeficiente de rugosidad</li> <li>• Flexibilidad</li> <li>• Ligereza</li> <li>• Instalación rápida, fácil y económica</li> <li>• Se puede instalar en zanjas poco profundas sin plantilla</li> <li>• No presenta corrosión.</li> <li>• En diámetros menores a 100 mm no se requieren válvulas de seccionamiento</li> <li>• Mantenimiento nulo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La presión de trabajo especificada puede alterarse al aumentar la temperatura exterior o interior</li> <li>• Se deteriora si se expone a la intemperie por períodos prolongados</li> </ul>

Material y diámetros	Sistema de unión	Piezas Especiales	Ventajas	Desventajas
Fibroceso (FC), antes (Asbesto) (AC) (75 a 2,000 mm)	Coples de fibroceso con anillos de hule Junta Gibault	Piezas de hierro fundido con bridas que se unen con extremidades bridas y juntas Gibault a la tubería de fibroceso Piezas de hierro fundido con extremos lisos que se unen con juntas Gibault Piezas de fibroceso (en diámetros pequeños)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo</li> <li>• Ligereza</li> <li>• Hasta cierto grado es resistente al ataque de ácidos, álcalis, sales y otras sustancias químicas</li> <li>• Generalmente no se corroe.</li> <li>• No favorece la formación de incrustaciones en las paredes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frágil; puede agrietarse o romperse durante las maniobras de transporte, manejo, almacenaje e instalación</li> </ul>
Hierro fundido (HF) (100 a 1,600 mm)	Acoplamiento espigacampana con anillo de hule Extremos bridados Junta mecánica Junta Gibault	Se fabrican de hierro fundido con extremos lisos, campana, campana para junta mecánica, y bridados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Larga vida útil</li> <li>• Alta resistencia a impactos durante el transporte, manejo e instalación</li> <li>• Alta resistencia a la corrosión, pero susceptible a la tuberculización</li> <li>• Alta resistencia al aplastamiento o fractura por cargas externas</li> <li>• Puede ser cortado o perforado en la obra</li> <li>• Mantenimiento casi nulo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Susceptible a la corrosión eléctrica o química si no es protegido</li> <li>• Alto peso, por lo cual es difícil su manejo</li> <li>• Mayor costo que otros tipos de tubería</li> <li>• En caso de requerirse, debe importarse, lo cual implica mayor costo</li> </ul>
Concreto presforzado (760 a 2,750 mm)	Acoplamiento espigacampana con anillo de hule Uniones bridadas	Piezas de alma de acero recubierta de concreto, con extremos espigacampana, extremos lisos o bridadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta capacidad de conducción</li> <li>• Alta resistencia mecánica a presiones internas y cargas externas</li> <li>• Larga vida útil</li> <li>• Bajo mantenimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden ser atacadas por sulfatos si no se usa cemento resistente</li> <li>• Difícil de reparar</li> <li>• Conexiones complicadas</li> </ul>
Acero (50.4 (2") a 355.6 mm (14")), galvanizado (50.4 (2") a 152.4 mm (6")).	Soldadura Extremos bridados Juntas mecánicas para extremos lisos o ranurados	En general, se fabrican de tramos de tubería unidos con soldadura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resiste presiones internas elevadas</li> <li>• Mayor ligereza y bajo costo en comparación con tuberías de hierro fundido o de concreto</li> <li>• Fácil adaptación a cualquier tipo de montaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es susceptible a la corrosión por lo que debe protegerse tanto el interior como el exterior (en el caso de tubería no galvanizadas)</li> <li>• No soporta cargas externas ni vacíos parciales, pues es susceptible al aplastamiento</li> <li>• Requiere mantenimiento periódico.</li> </ul>

Nota: Adaptado de (CONAGUA, 2010)

**2.1.8.2 Accesorios.** Son piezas especiales para tuberías que pueden cambiar de dirección, bifurcarse y cruzarse, e incluso realizar conexiones entre tuberías de diferentes materiales y diámetros. También permiten la inserción de válvulas y otros dispositivos hidráulicos. (Tsutiya, 2003).

**2.1.8.3 Válvulas.** Las válvulas son dispositivos mecánicos que se utilizan en tuberías presurizadas para detener, iniciar o controlar las características del flujo. Se dividen en dos tipos según su función: Aislamiento y Control. Las de aislamiento son de mariposa o compuerta y por su parte las de control son de altitud, admisión y expulsión de aire, controladoras de presión, retención, etc.

Las redes de distribución se utilizan válvulas manuales con mayor frecuencia porque se cierran y abren eventualmente. Estas válvulas son operadas por palancas, ruedas y engranajes. También existen válvulas automáticas que funcionan con accionadores eléctricos, neumáticos o hidráulicos en lugares donde se requiere operar las válvulas con mucha frecuencia (CONAGUA, 2010).

**2.1.8.4 Hidrantes.** Con conexiones a la red de distribución ubicado en calles de fácil acceso para conectar las mangueras y combatir eventuales incendios en la zona. También son utilizado para el abastecimiento en caso de emergencia y los hidrantes ubicados en las partes bajas de un sector también pueden ser utilizados para purgar y remover sedimentos.

Para que hidrantes contra incendios mantengan una presión remanente de 20 psi (14 m.c.a.) para extinguir incendios de manera efectiva. La prueba para hallar esta presión requiere al menos de 2 grifos. La presión estática se toma en un hidrante considerando los demás cerrados, luego se abre el hidrante adyacente y se mide el flujo mientras se registra la presión residual en el primer hidrante por otro lado clasifica a los hidrantes por la dimensión de las boquillas que van desde 1.5 a 2.5 pulgadas (National Fire Protection Association [NFPA], N° 291, 2017), sin embargo el Comité Técnico Permanente Sedapal

(2010) indica que la derivación para sus conexión será por lo menos en una tubería DN 100 mm y requerirá como mínimo dos boquillas para manguera de 2.5 pulgadas cada una.

**2.1.8.5 Reservorios.** Los reservorios son estructuras utilizadas en las redes de distribución para garantizar la cantidad y presión suficiente de agua. Estos pueden ser superficiales o elevados dependiendo de la disposición de terrenos elevados. Generalmente poseen un volumen de almacenamiento que se divide en volúmenes para regulación, emergencia y contra incendio (CONAGUA, 2010).

Con respecto a esta diferenciación de los volúmenes, Olivarez (2013) precisa que el volumen de regulación es el volumen mínimo del reservorio que puede regular los cambios de consumo producidos durante el día. En horario de mínimo consumo, la producción excedente de agua se almacena en el reservorio mientras que en horario de mínimo consumo, el volumen almacenado ayuda a satisfacer las necesidades de la población durante los picos de consumo. El volumen de emergencia sirve para resolver temporalmente las interrupciones que se producen en los sistemas de producción y, dependiendo de la duración de la interrupción, el servicio se puede brindar de manera normal o limitada. Finalmente, el volumen contra incendio es la cantidad de agua utilizada para extinguir un incendio en un sistema de distribución de agua.

**2.1.8.6 Conexiones domiciliarias.** Las conexiones domiciliarias tienen como fin establecer una comunicación hidráulica entre la red pública hacia los aparatos sanitarios dentro de los domicilios. Constituye un vínculo económico entre el usuario y la empresa prestadora del servicio, cuyo cobro es la aplicación de una tarifa. La medición del volumen del consumo se hace con micromedidores o se asigna un consumo fijo para el cobro de este. Generalmente tiene valores diferenciados por tipo de usuario y conforme aumenta el consumo.

### **2.1.9 Métodos de solución**

Tsutiya (2003) explica que para comprender el funcionamiento de la masa y la energía en todo momento y lugar de la red de distribución es necesario resolver simultáneamente un conjunto de ecuaciones no lineales que resultan del comportamiento de cada componente de la red.

Entre los métodos de resolución se encuentran el método de iteraciones sucesivas de Cross, método de linealización de Newton-Raphson, método del gradiente, entre otros. Este último revolucionó la forma de resolver estas ecuaciones ya que son resueltas simultáneamente para Q y H, reduciendo el número de iteraciones y aumentando la eficiencia frente a los otros métodos (Bartolín, 2013).

## **2.2 Eficiencia hidráulica**

Se entiende por eficiencia hidráulica en una red de distribución como la relación entre la capacidad de distribución del sistema de abastecimiento con la capacidad real que cuenta el sistema de abastecimiento (CONAGUA, 2010b).

Un sistema de abastecimiento hidráulicamente eficiente garantiza que el agua pueda fluir de manera efectiva desde el punto de suministro hasta los usuarios finales, sin experimentar problemas como presiones excesivas, pérdidas de carga significativas, fluctuaciones en el caudal, acompañado de una continuidad del servicio.

No hay indicadores específicos para determinar qué tan eficiente hidráulicamente es un sistema de abastecimiento, sin embargo, se tiene parámetros que de manera práctica permiten determinar la disponibilidad temporal y espacial del agua. Siendo estos:

- Consumo unitario de los usuarios (L/Hab/día)
- Dotación (L/Hab/día)
- Horas de abastecimiento (Hrs)

- Presión promedio de agua en la red de distribución (m.c.a.)

### **2.3 Eficiencia física**

La eficiencia física se refiere a la capacidad de la red de distribución de agua para minimizar las pérdidas de agua debido a fugas, roturas o desperdicios en la infraestructura. Se calcula como la proporción entre el agua entregada a la red de distribución y el agua que finalmente llega a los usuarios finales.

Según la CONAGUA (2010b), la eficiencia física es la conservación del agua en el sistema de abastecimiento y existen varios indicadores para determinar su eficiencia, por ejemplo el IWA en su tercera publicación sobre los indicadores de desempeño para los servicios de abastecimiento de agua sugiere indicadores para monitorizar apropiadamente las pérdidas de agua desde el punto de vista operacional.

- Pérdidas por acometida (m<sup>3</sup>/conexión/año)

Se refiere a las pérdidas totales (reales y aparentes), expresadas en términos de volumen al año perdido por conexión.

- Pérdidas por longitud de tubería (m<sup>3</sup>/km/año)

Se refiere a las pérdidas totales (reales y aparentes), expresadas en términos de volumen al año perdido por longitud de red.

- Índice de fugas estructural

Se refiere al cociente de las pérdidas reales y un estimado de las pérdidas reales mínimas que se lograrían si se optimizan las presiones del sistema, longitud y densidad de las conexiones.

En la actualidad en nuestro país, el regulador considera el indicador de porcentaje de Agua No Facturada (ANF) que se obtiene de la relación de la diferencia del volumen producido y el volumen facturado con el volumen producido.

Estos indicadores forman parte del balance hídrico por lo que la siguiente sección se presentará detalladamente los términos y conceptos vinculados a estos.

### **2.3.1 Balance hídrico**

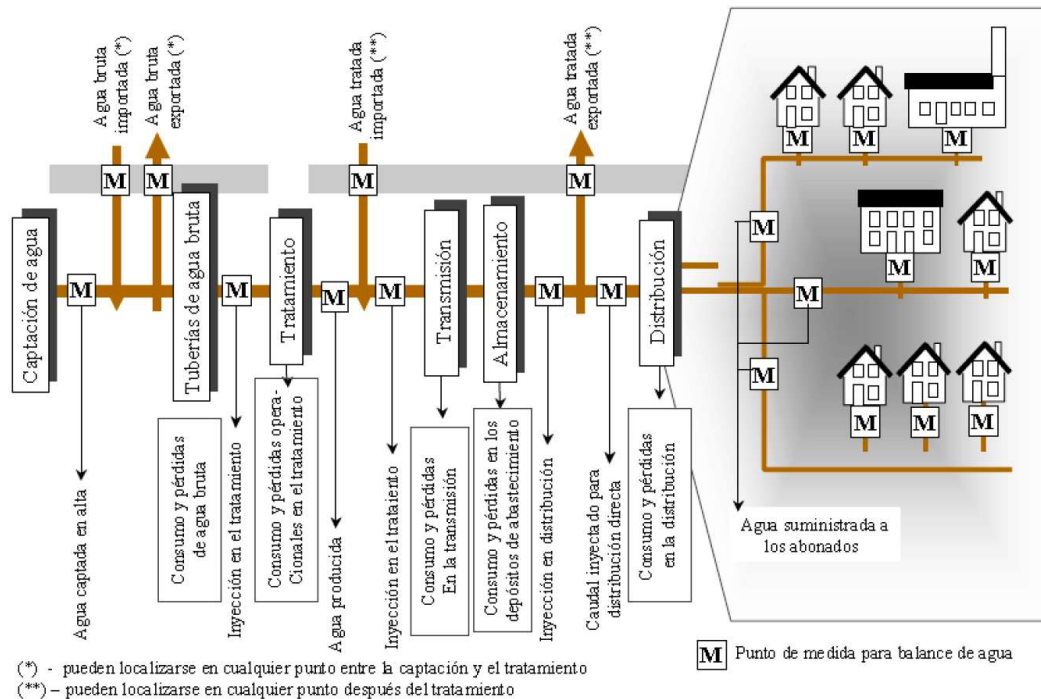
El propósito del balance hídrico es monitorear y realizar un seguimiento de cada componente de agua que se agrega y retira del sistema de abastecimiento de agua a lo largo del tiempo (GIZ-Agencia Alemana para la Cooperación Técnica & VAG-Armaturen [GIZ & VAG ], 2011).

Parra (2020) indica que a partir esta, se puede determinar la eficiencia del sistema de abastecimiento, identificar los puntos vulnerables y mejorar la gestión del uso del recurso hídrico en este sentido cuando se aplica en las redes de distribución, se puede determinar el porcentaje de fugas y de esta manera tomar las acciones correctivas para realizar los ajustes necesarios y reducirlo a un valor aceptable.

Alegre et al. (2017) asegura que el balance hídrico es importante para determinar las pérdidas de agua. Para cumplir con la finalidad del balance hídrico, se debe cuantificar los volúmenes de entrada y salida en cada uno de los componentes desde la captación hasta la conexión domiciliaria.

**Figura 6**

*Entradas y salidas de volúmenes en un sistema de abastecimiento.*



*Nota: Fuente (Alegre et al., 2017)*

También expone las siguientes definiciones que forman parte del balance hídrico:

- Volumen de ingreso al sistema: Se define como la cantidad de agua que ingresa en alguna parte del sistema durante un periodo de evaluación. Es de suma importancia que este volumen sea medido, puesto que es un valor considerable.
- Consumo autorizado: Es la cantidad de agua que medida y no medida consumida por usuarios que estén implícita o explícitamente autorizados.
- Agua facturada: el volumen que la empresa logra contabilizar y facturar exitosamente por lo cual genera un ingreso económico.
- Agua no facturada: considera al volumen de entrada al sistema menos el consumo autorizado facturado. No solo considera a las pérdidas aparentes o reales sino también a el consumo autorizado que no es facturado.

- Pérdidas de agua: el volumen perdido por parte de las fugas, tuberías rotas, rebose de estructuras hidráulicas y las pérdidas por errores en el subregistro de caudalímetros y micromedidores.

A continuación, se presenta la Tabla 2 donde se explica los componentes del balance hídrico propuesto por la Internation Water Asociation (IWA):

**Tabla 2**

*Componentes del balance hídrico.*

Consumo autorizado (m <sup>3</sup> /año)	Consumo autorizado facturado (m <sup>3</sup> /año)	Consumo facturado medido (m <sup>3</sup> /año)	Agua facturada (m <sup>3</sup> /año)
		Consumo facturado no medido (m <sup>3</sup> /año)	
Consumo autorizado (m <sup>3</sup> /año)	Consumo autorizado no facturado (m <sup>3</sup> /año)	Consumo no facturado medido (m <sup>3</sup> /año)	
		Consumo no facturado no medido (m <sup>3</sup> /año)	
Volumen de entrada al sistema (m <sup>3</sup> /año)	Pérdidas aparentes (m <sup>3</sup> /año)	Consumo no autorizado (m <sup>3</sup> /año)	
		Imprecisiones de medida (m <sup>3</sup> /año)	
Pérdidas de agua (m <sup>3</sup> /año)	Pérdidas reales (m <sup>3</sup> /año)	Pérdidas reales en conducciones de agua bruta y en tareas de tratamiento (si fuese necesario) (m <sup>3</sup> /año)	Agua no facturada (m <sup>3</sup> /año)
		Fugas en transporte o conducciones de distribución (m <sup>3</sup> /año)	
		Fugas y desbordamiento en transporte o depósitos de almacenamiento (m <sup>3</sup> /año)	
		Fugas en acometidas hasta el punto de medida (m <sup>3</sup> /año)	

*Nota: Adaptado de (Alegre et al., 2017)*

Sin embargo, de acuerdo con la realidad y problemática de SEDAPAL se desagregan las definiciones anteriormente expuestas:

**Tabla 3**

*Componentes del balance hídrico propuesto por SEDAPAL basado en la metodología del IWA.*

		Lecturas		Volumen de agua facturada	
		Sin lecturas	Promedio Asignación		
Volumen de agua efectiva	Autorizado facturado	Camiones cisterna			
		Agua contra incendio			
Volumen distribuido	Autorizado no facturado	Limpieza de establecimientos	Limpieza de agua, desagüe y camiones cisterna	Volumen de agua no facturada	
		Pruebas hidráulicas	Pruebas de paso, presión		
		Camiones cisterna	Por interrupciones de servicio mayores a 8 horas		
		Otros usos no facturados	Tanque para prevención del golpe de ariete		
			Uso ilegal del grifo contra incendio		
	Pérdidas comerciales (Pérdidas aparentes)	Robos de agua sin contrato	Uso del servicio sin previo contrato (ByPass, conexiones cortadas)		
			ByPass		
		Robos de agua con contrato	sustitución del medidor por niple		
			Medidores vandalizados		
		Errores en lecturas	Medidores defectuosos (sin garantía, tiempo de vida útil, adulterado)		
Volumen de agua no efectiva	Errores en el proceso de facturación	Caudales no contabilizados por el medidor			
		Errores de lectura			
		Errores en los datos de lectura no facturadas (promedio y asignación)			
		Falta de facturación			
		Errores en la base de datos	Volumen de facturación		
		Fugas en las redes primarias	Posibilidad, imposibilidad		
	Pérdidas físicas (pérdidas reales)	Fugas en las redes secundarias	Posibilidad, imposibilidad		
		Agua contra incendio	Posibilidad, imposibilidad		
Pérdidas en los reservorios		Rebose de agua			
Pérdidas inevitables					
	Pérdidas por camiones cisterna	Reboses en surtidores sin medidor			

*Nota: Adaptado del Curso gestión de Agua No Facturada para América Latina (Ramos, 2022)*

Para lograr una buena estimación del balance hídrico, Alegre et al. (2017) indican que es fundamental el balance hídrico para el diagnóstico de las pérdidas de agua, este se basa en las estimaciones de volúmenes ya sea mediante medidores de caudal o la aplicación de juicios técnicos sólidos.

Tomando como referencia la Tabla 2 se detallan las pérdidas cuyo impacto puede ser muy significativo desde el punto de vista económico para empresas prestadoras del servicio.

**2.3.1.1 Pérdidas reales.** La GIZ & VAG (2011) hace la precisión de que se trata de volúmenes de agua perdidos físicamente en la infraestructura, se clasifican de acuerdo con la ubicación y tamaño y el tiempo en el cual fugan.

- Ubicación

Las fugas en las tuberías troncales de transmisión y distribución ocurren en tuberías debido a uniones, empaquetaduras dañadas, válvulas y en estallidos de las tuberías. También ocurren y donde se considera los puntos débiles de las redes de distribución es en las conexiones domiciliarias que va desde la tubería hasta el medidor.

Finalmente, las pérdidas reales se pueden dar en los reboses y filtración en infraestructura de almacenamiento, es importante no subestimar ya que son rápidas y fáciles de detectar.

- Tamaño y tiempo de fuga

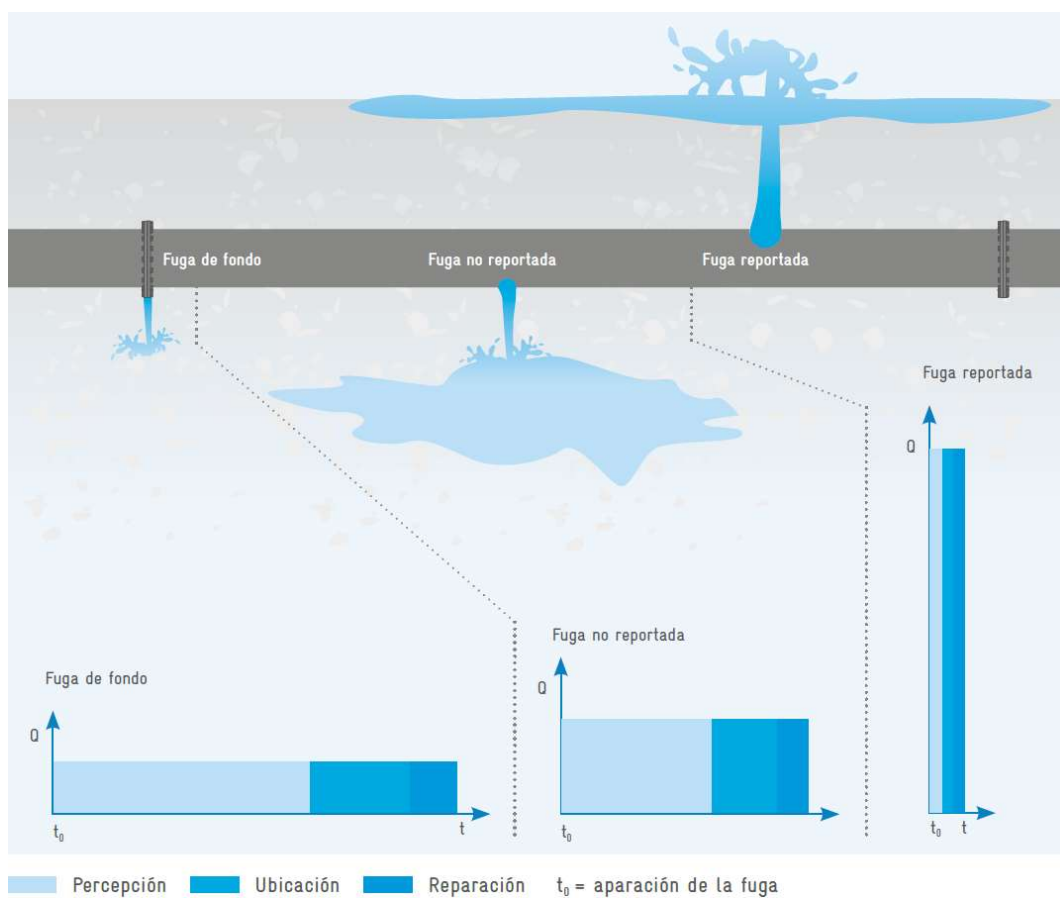
Las fugas reportadas son aquellas que se da principalmente por estallidos repentinamente, el agua rápidamente en la superficie dependiendo de la presión de la red y el tamaño de la rotura. Para localizar estas fugas no se requiere equipos ya que se manifiestan por el hundimiento de la superficie o la alerta de los usuarios.

Las fugas no reportadas se consideran aquellas que tienen un caudal de fuga mayor de 250 L/h a 50 mca y estas generalmente no aparecen en la superficie. Esto último depende del tipo de suelo. Para su detección hay una amplia gama de instrumentos acústicos.

Por último, las fugas de fondo son aquellas que tienen un caudal de fuga menor de 250 L/h a 50 mca. Estas fugas son muy pequeñas y se encuentran en las uniones de los accesorios y válvulas no hermetizados. Al ser un caudal muy bajo, no es posible detectarlo por métodos acústicos por lo que se asume de que este tipo de fugas no se detectan ni reparan hasta que se cambia el tramo, accesorio o válvula defectuosa.

**Figura 7**

*Relación entre la tasa de fuga y tiempo de fuga.*



*Nota: Fuente (GIZ & VAG, 2011).*

**2.3.1.2 Pérdidas aparentes.** Llamadas también pérdidas comerciales, ya que no se deben a fugas físicamente de la infraestructura, si no están causadas por la falla en la cuantificación de consumo y el uso clandestino del servicio. Se agrupan en las categorías siguientes:

- Inexactitudes del micromedidor: Generalmente estas pérdidas son las más frecuentes de las pérdidas aparentes debido a los errores crecientes en los medidores de agua con el paso de los años así como la selección de medidores demasiado grandes.
- Error en el manejo de datos: Se refiere a los errores que comete el personal de lectura de medidores, errores del procesamiento de datos y errores de facturación.
- Consumo no autorizado: Debido a conexiones clandestinas, medidores vandalizados, sobornos y corrupción representan una cuantiosa cantidad de pérdida de agua.

### **2.3.2 Métodos para reducir pérdidas reales en redes de distribución**

Haro (2018) señala que la gestión de fugas se refiere a las acciones o procedimientos técnicos llevados a cabo por las empresas prestadoras del servicio para reducir el número e impacto de las fugas existentes a un nivel aceptable y mantener las redes físicas, económicas y sociales en condiciones óptimas.

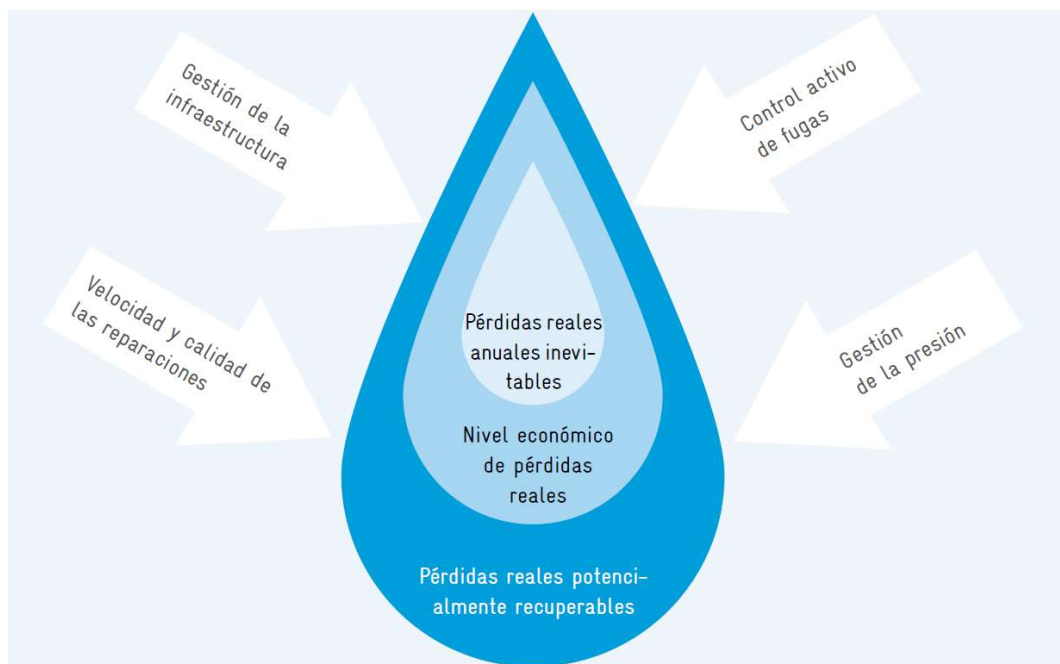
El primer paso en la gestión de fugas implica el cálculo del nivel actual de fugas mediante la evaluación del estado de la red, luego se deberá realizar un análisis de costo-beneficio para evaluar los procedimientos que reducen el caudal de fuga detectado, dado que algunos procedimientos son rentables hasta cierto nivel ya que podrían existir implementaciones con costos altos que nos dé como resultado una eficiencia baja. Finalmente, se deberán poner en práctica los métodos o estrategias de reducción de fugas (Haro, 2018).

A lo largo de los años se han desarrollado métodos y estrategias para reducir las pérdidas reales de agua. La elección de un método o la combinación de diferentes de ellos dependerá de la situación actual de la empresa prestadora de servicios, esta debe comprender los factores que contribuyen a las pérdidas reales.

El equipo de trabajo de la International Water Association (IWA), define cuatro pilares principales para la reducción de pérdidas reales: gestión de presiones, detección activa de fugas, velocidad y calidad de las reparaciones y gestión de la infraestructura. Por otro lado, subdividir una red de distribución en DHM se considera un requisito porque facilita el monitoreo de las fugas y facilita la instalación de componentes para la gestión de presiones.

### Figura 8

*Métodos de intervención para hacer frente a las pérdidas reales.*

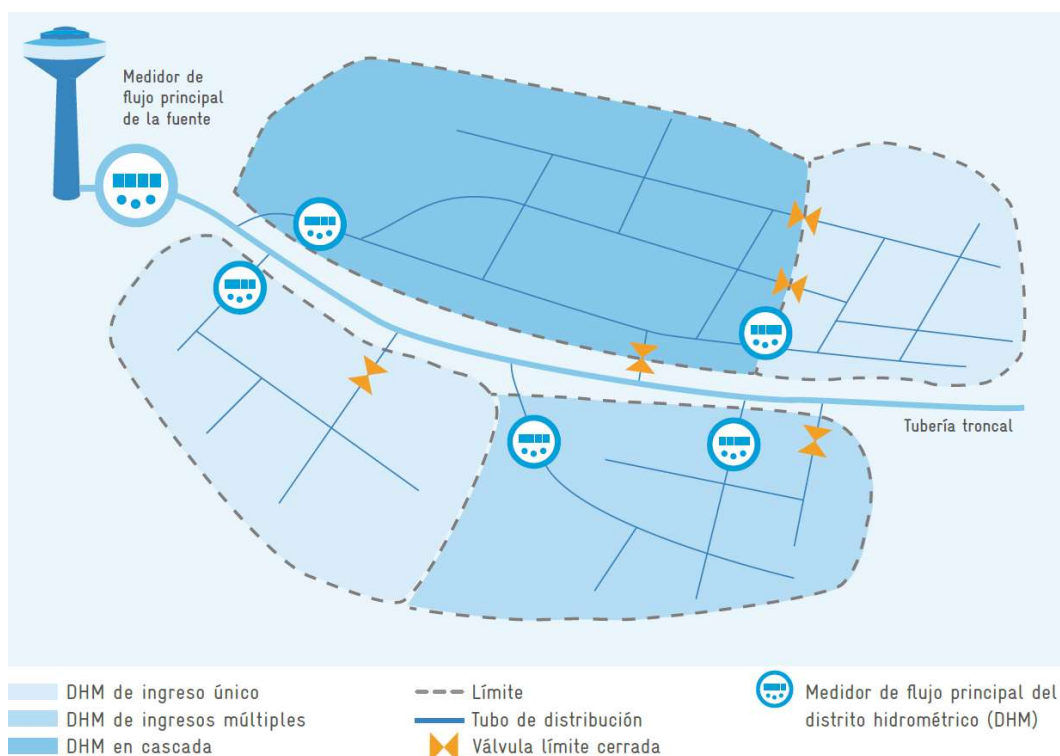


*Nota: Fuente (GIZ & VAG, 2011).*

**2.3.2.1 Distritos hidrométricos.** Un distrito hidrométrico (DHM) se define como un área separada de la red de distribución de agua. Esto generalmente se crea cerrando una válvula de aislamiento para permitir flexibilidad para adaptarse a las variaciones de consumo. Sin embargo, DHM también se puede crear desconectando permanentemente las tuberías de las áreas adyacentes. Para monitorear la tasa de fuga, se mide el flujo de agua de ingreso y salida del DHM para analizarse periódicamente.

**Figura 9**

*Diseño típico de los distritos hidrométricos.*



*Nota: Fuente (GIZ & VAG, 2011).*

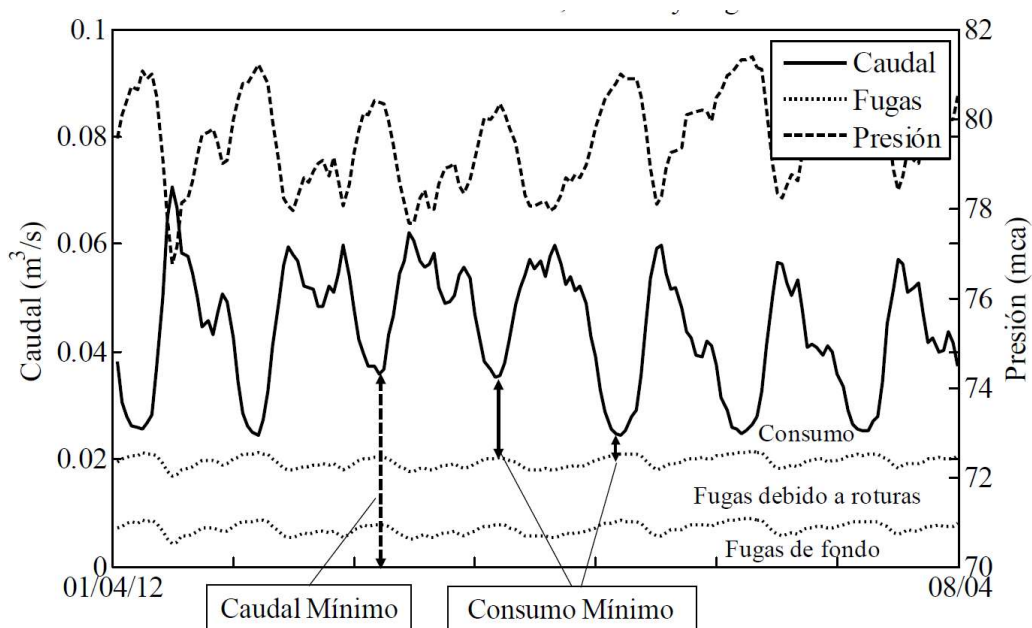
En caso de suministro con horario de abastecimiento discontinuo, establecer un DHM puede ser el primer paso. Un DHM puede ayudar a minimizar las cortes del suministro al simplificar la búsqueda y reparación de fugas significativas.

**2.3.2.1.1 Caudal mínimo nocturno.** El concepto más básico del método es a partir de un cálculo de pérdidas diarias reales en un día en que la demanda es mínima. Este período de tiempo varía según el uso y costumbres de cada zona controlada, pero suele ocurrir por la noche, de ahí su nombre (Vicente, 2017). La forma más común de determinar los niveles de fuga en un DHM es analizar las horas donde el consumo de los usuarios es mínimo, que suelen ocurrir entre 02.00 y 04.00 en zona urbana.

Según Bernoulli, a medida que el caudal circulante y su velocidad disminuyen, la presión del sistema debe aumentar para mantener la suposición de conservación de energía. Esto implica que cuando haya menos consumo, la red estará bajo más presión. En la siguiente imagen se muestra la relación inversamente proporcional entre el caudal consumido (línea continua) y la presión del sistema (línea discontinua).

**Figura 10**

*Relación entre caudal consumido, caudal de fuga y presión.*



*Nota:* Fuente (Vicente, 2017).

**2.3.2.2 Gestión de presión.** La gestión de presión implica regular y controlar la presión del agua en el sistema de abastecimiento agua a un nivel óptimo. La implementación de sistemas de gestión de presión puede ser beneficiosa no solo en las redes de distribución de agua existentes, sino también en las nuevas redes que se están planificando (GIZ-Agencia Alemana para la Cooperación Técnica & VAG-Armaturen, 2011).

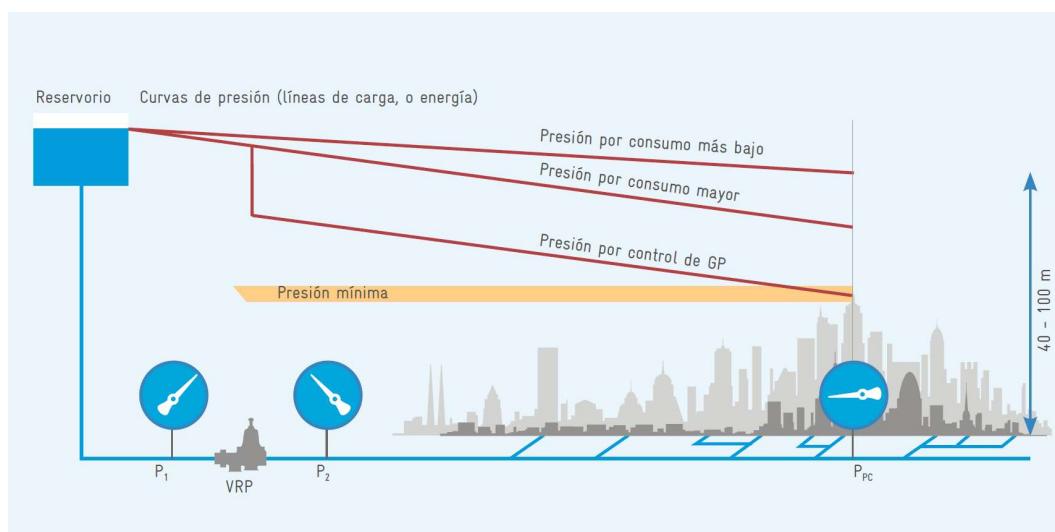
Tal como se vio en el punto anterior, la relación entre la presión y caudal de fuga y riesgo de aparición de nuevas roturas es inversa por lo que reducir la presión de agua en la red puede reducir el caudal de fugas y el riesgo de aparición de nuevas roturas o estallidos.

Siempre se debe garantizar la presión de suministro mínima requerida en los puntos críticos de la red cuando se reduzca la presión. Cabe señalar que la ubicación de los puntos clave en la red se puede cambiar dependiendo de cambios en el comportamiento del consumo o cambios en la estructura del sistema de abastecimiento. La presión mínima para el suministro de agua generalmente la determina la autoridad de suministro de agua, la propia empresa prestadora del servicio o la legislación local (GIZ & VAG, 2011).

En la Figura 11 representa un esquema donde se le ha aplicado la gestión de presiones este esquema cuenta con una entrada una válvula reductora de presión con  $P_1$  presión aguas arriba y  $P_2$  presión aguas abajo.  $P_c$  representa la presión crítica y mínima. En un escenario sin gestión de presiones,  $P_c$  variaría durante el día. La gestión de presiones reduce la presión en el punto crítica al mínimo y la mantiene a una presión invariable durante el día, con esto se logra que la presión residual no genere fugas mayores.

**Figura 11**

*Esquema simplificado de presiones dentro de una red de distribución.*



*Nota: Fuente (GIZ & VAG, 2011).*

**2.3.2.2.1 Modulación de presiones.** La GIZ & VAG (2011), indica que término “modulación” hace referencia a las metodologías de control con las VRP se usan para la gestión de presiones. La modulación se divide en:

- El tipo de modulación que incluye los diferentes modos de control de las VRP. Por ejemplo: modulación de salida fija que consiste en establecer la P<sub>2</sub> en un valor constante, este valor tiene que garantizar la presión en el punto crítico en el horario de máxima demanda. Otro tipo modulación es en base al tiempo, permite fijar la presión P<sub>2</sub> en valores que varían valores mayores y menores durante el día y la noche respectivamente. Finalmente, la modulación de la presión en función al caudal que requiere de la instalación de un caudalímetro conectado a la VRP, este último varía su grado de apertura conforme varía el caudal de ingreso.
- La ubicación de la modulación que determina si la presión se controla directamente por la VRP o en un punto separado en la red de distribución de agua. Por ejemplo: Modular la presión en el punto local a un valor predefinido o constante. También se

puede modular la presión en el punto crítico el cual se basa en colocar un sensor en el punto crítico que comunica a la VRP logrando así que la Pc permanezca en el valor mínimo que se disponga.

**2.3.2.3 Control activo de fugas.** Referido a las técnicas para detectar y localizar las fugas no visibles en la red mediante los cuales se busca disminuir el tiempo durante el cual las fugas no visibles drenan el agua (GIZ & VAG, 2011).

Detección de la fuga y la localización de esta son conceptos diferentes, el primero se refiere a la ubicación de las fugas en una extensión o parte de la red, llevándose a cabo de manera rutinaria en toda la red de distribución. Por otro lado, la localización es el reconocimiento exacto de la fuga en la red de distribución (Molina, 2014).

Para realizar la detección de fugas se tienen metodologías como la subsectorización o el cierre escalonado en tramos de red.

Entre las tecnologías para la localización de fugas, la más conocida es la del “método de detección acústica” el cual consiste en utilizar la capacidad auditiva mediante varillas de escucha o geófonos, también hay métodos que utilizan las ondas de sonido que genera las fugas y se analiza desde el punto de vista de frecuencias llamado “método de análisis de fuentes sonoras” (Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados [ENACAL]), 2019).

**2.3.2.4 Velocidad y calidad en las reparaciones.** El tiempo en el que ocurre una fuga va desde la percepción pasa por la localización y finalmente la reparación, mientras más tiempo de la fuga, más grandes serán las pérdidas de agua, incluso las que tienen un caudal fugado pequeño. Es por ello por lo que las empresas prestadoras del servicio deben reducir los tiempos hasta un mínimo económico. También es importante que el personal de reparación de fugas esté instruido, equipado y sea el suficiente para todas las

incidencias para poder tener tiempos de reparaciones cortos y de calidad (GIZ & VAG, 2011).

**2.3.2.5 Gestión de la infraestructura.** Alegre et al. (2017) indican que la gestión patrimonial de infraestructuras es un conjunto de actividades de manera transversal a una empresa que permite conocer el valor que tienen los sistemas de abastecimiento de agua y de acuerdo a los resultados se toman decisiones para lograr las metas fijadas.

Cabral et al. (2019) señalan que la gestión de la infraestructura tiene como objetivo realizar inversiones de reemplazo, refuerzo o renovación, así como el análisis de estrategias a corto y largo plazo tomando en consideración la vida útil, costo, edad y condiciones a los que está expuesto el activo.

**2.3.2.5.1 Definición de gestión de la infraestructura.** Del Olmo (2014) define a la gestión patrimonial de la infraestructura como un proceso de planificación que combina herramientas y métodos interdisciplinarios para proporcionar un sistema de apoyo a la decisión utilizando un enfoque integrado que permite la gestión de activos físicos tangibles para garantizar un cierto nivel de servicio con la máxima eficiencia y menores costos.

**2.3.2.5.2 Gestión infraestructura de redes de agua potable.** Se busca que la empresa prestadora del servicio no solo garantice que cada activo sea aprovechado en todo su potencial y proporciona la financiación necesaria para su reparación o renovación , sino que también aumenta la eficiencia del sistema al cumplir todos los requerimientos actuales y futuros (Del Olmo, 2014).

La gestión de la infraestructura involucra a todos los niveles de decisión y se desarrollado por requerimientos gubernamentales, normativos y para mejorar la eficiencia. En la Tabla 4, Ramírez (2019) explica cómo se desarrollan la planificación de la gestión de la infraestructura y quienes son los involucrados.

**Tabla 4***Niveles de planificación.*

<b>Tipo</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Involucrados</b>	<b>Ejemplo</b>
Planificación Estratégica	Ámbito global y se relaciona con la visión y misión de la empresa	Directores y gerentes	Plan maestro (10-20 años)
Planificación Táctica	Red de distribución	Mandos intermedios	Plan de Operación y Mantenimiento (3-5 años)
Planificación Operacional	Área específica de intervención	Mandos operativos	Plan de mantenimiento de válvulas (1-2 años)

*Nota:* Adaptado de (Ramírez, 2019).

**2.3.2.5.3 Beneficios de la gestión de la infraestructura.** Es imprescindible la gestión de los activos desde un punto de vista de la reducción de las pérdidas de agua. El objetivo es brindar el nivel de servicio requerido de la manera más rentable posible a través del desarrollo, adquisición, mantenimiento, operación, renovación y eliminación de activos de tal manera de lograr la reducción actual y a largo plazo de las pérdidas de agua. (GIZ & VAG, 2011)

Las herramientas que permiten la buena gestión de la infraestructura conllevan con beneficios tales como la gestión proactiva de los activos físicos, mejoramiento en la operación, respuesta optimizada en las emergencias, mantenimiento preventivo en los activos críticos, inversiones que satisfacen las necesidades reales, uso mejorado de los recursos financieros. La Empresa Prestadora de Servicios tendrá mayores beneficios expuestos anteriormente, La magnitud de estos de acuerdo con el grado de intervención que se tenga (Del Olmo, 2014).

**2.3.2.5.4 Metodología de factores de gestión operacional.** Para determinar la vida útil remanente se aplicará la metodología en la cual SEDAPAL calcula la vida útil sobrante de un tramo de tubería para lo cual se aplica la siguiente ecuación:

$$VUR = VU - Vr$$

$VUR$  = Vida Útil Remanente

$VU$  = Vida útil

$Vr$  = Edad de la red

$$VU = P_s \times K_m \times K_i \times V_p$$

$VU$  = Vida Útil

$P_s$  = Probabilidad de supervivencia o probabilidad de vida útil

$K_m$  = Coeficiente de mantenimiento

$K_i$  = Coeficiente de incidencias

$V_p$  = Vida Útil Proyectada (años)

A continuación, se muestran las tablas para el cálculo de la vida útil de las tuberías.

La probabilidad de Supervivencia en función a la antigüedad se representa dependiendo de los años de antigüedad.

**Tabla 5**

*Probabilidad de Supervivencia.*

ÍTEM	AÑOS DE ANTIGÜEDAD	$P_s$ (PROBABILIDAD DE SUPERVIVENCIA – Probabilidad de Vida útil)
1	De 0 a 5 años	99%
2	De 5 a 15 años	95%
3	De 15 a 25 años	90%
4	De 25 a 35 años	85%
5	De 35 a 45 años	75%
6	De 45 a 55 años	70%
7	De 55 a 65 años	55%

ÍTEM	AÑOS DE ANTIGÜEDAD	Ps (PROBABILIDAD DE SUPERVIVENCIA – Probabilidad de Vida útil)
8	De 65 a 75 años	50%
9	De 75 a 85 años	45%
10	De 85 a 95 años	18%
11	De 95 a 105 años	16%
12	De 105 a 115 años	14%
13	De 115 a 125 años	12%
14	De 125 a más años	10%

Fuente:

INFORME N° 104-2019- Distribución-MQV/EOMR-C

a) Memorando N° 156-2019-ERCP

b) Memorando N° 1098-2018-ERCP

Se considerará mantenimiento de las redes de distribución el ejercicio de movimiento de las válvulas de interrupción, purga de hidrantes y cámaras de purga, cambio de accesorios y válvulas.

## Tabla 6

### *Coefficientes de Mantenimiento*

ÍTEM	Nro. De Mantenimientos (Limpieza Preventiva)	Coefficiente de mantenimiento (Km)
1	1 o más veces al año	1
2	1 vez cada 2 años	0.97
3	1 vez de 3 a 5 años	0.94
4	1 vez de 6 a 10 años	0.9
5	1 vez de 11 a 20 años	0.87
6	1 vez de 21 a 30 años	0.84
7	1 vez de 31 a 40 años	0.8
8	1 vez de 41 a 50 años	0.7
9	1 vez más de 50 años	0.1

Las incidencias son eventos que se presentan en las redes de agua afectando su normal funcionamiento, pudiendo ser de carácter fortuito o por factores externos que escapan al control de su operación.

**Tabla 7***Coeficientes de Incidencia*

ÍTEM	Promedio de Nro. De Incidencias por Zona Incidencias/Km/Año	Coeficiente de Incidencia (Ki)
1	0	1
2	0 a 0.1	0.95
3	Más de 0.1 a 1	0.9
4	Más de 1 a 2	0.75
5	Más de 2 a 5	0.6
6	Más de 5 a 10	0.5
7	Más de 10	0.25

**Tabla 8***Vida Útil Proyectada Según Inventario Físico de SEDAPAL.*

ÍTEM	Material de la red	Vida Útil Proyectada en años (Vp)
1	Asbesto cemento	65
2	Concreto reforzado	65
3	Concreto simple normalizado	50
4	Hierro fundido	75
5	Hierro fundido revestido	95
6	Fibra de vidrio	65
7	Hierro fundido dúctil	100
8	Polietileno de alta densidad	100
9	PVC	65

Fuente: Basado en el Inventario de ERCP-SEDAPAL

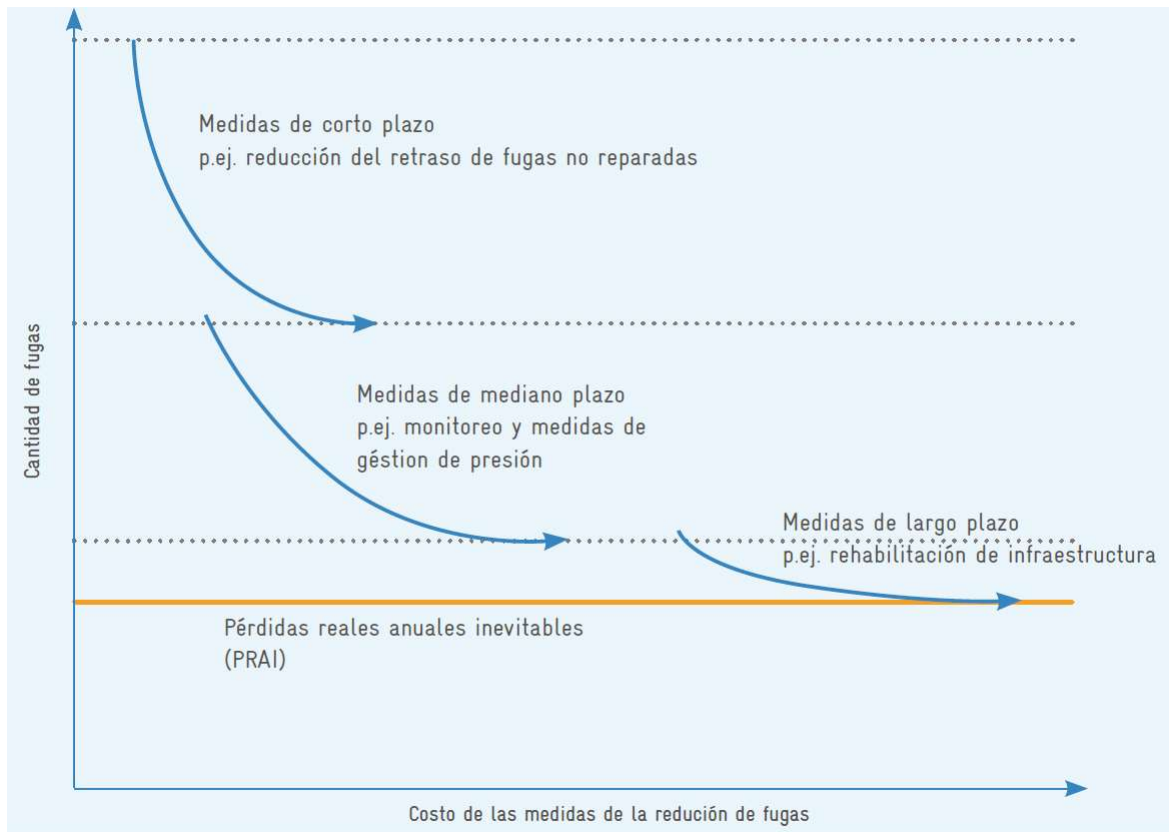
**2.3.3 Fijación de metas**

Respecto a las metodologías anteriores para hacer frente a la reducción de pérdidas de agua, es necesario tener en cuenta que los tiempos en los que se lograrán resultados depende del método y su correcta ejecución. Para lograr resultados, se deben focalizar estos métodos en distritos hidrométricos o sectores hidráulicos y dentro de estos enfocar zonas particulares donde se pueda monitorear.

En la Figura 12, la GIZ & VAG (2011), indica que la reducción de pérdidas de agua obedece a la ley de retornos decrecientes, es decir que el efecto (agua recuperada) de las medidas que se tomen disminuirán conforme se ejecuten las metodologías.

## Figura 12

*Ley de retornos decrecientes en las metodologías en el control de fugas.*



*Nota: Fuente (GIZ & VAG, 2011).*

En la Figura 12 también clasifica los métodos para la reducción de pérdidas de agua en corto, largo y medio plazo

## 2.4 Modelamiento hidráulico

A principios del siglo XX, el ser humano para satisfacer la necesidad de entendimiento y reproducción de los sistemas de abastecimiento, se descubrieron un

conjunto de ecuaciones matemáticas que representan con precisión los fenómenos que ocurren. No fue hasta 50 años después con el desarrollo de los métodos numéricos y el avance computacional, que permitió una reproducción rápida y confiable de los sistemas de abastecimiento.

El modelo hidráulico es el que representa con mayor precisión cómo funciona el sistema de distribución de agua. La capacidad de predecir el comportamiento futuro ante cambios anticipados o imprevistos bajo diversos supuestos de consumo u operación es posible gracias a estas herramientas, que son cruciales para comprender el estado de la red. Las empresas prestadoras de servicios de saneamiento pueden confiar en ellos como aliados porque ofrecen información útil para ayudar en la toma de decisiones (Jurado, 2007).

Teixeira et al., (2006) indican que un modelamiento hidráulico se utiliza para predecir un amplio abanico de posibilidades operativas y ambientales para su evaluación y posibles inversiones en la red. El modelamiento hidráulico de una red de distribución está compuesto por:

- I. Conjunto de datos que detallan características físicas, operacionales y demandas del sistema.
- II. Ecuaciones matemáticas lineales y no lineales que representan el comportamiento hidráulico del sistema de manera global, expresado en términos de caudal, presión, etc.
- III. Algoritmos que permiten resolver las ecuaciones matemáticas antes mencionadas.

#### **2.4.1 Clasificación de modelos**

##### **2.4.1.1 Según la aplicación del modelo.**

**2.4.1.1.1 Modelo de planificación.** Estos modelos se utilizan para la gestar planes estratégicos y evaluar el rendimiento del sistema de suministro, el impacto económico, los cambios en los procedimientos operativos, el comportamiento de elementos como válvulas o reservorios, etc. Por lo tanto, estos modelos se utilizan para seleccionar, dimensionar o modificar elementos.

**2.4.1.1.2 Modelo operacional o diseño.** Estos modelos se utilizan para predecir el comportamiento, ajustar la presión o el caudal, cambiar los niveles, etc. por un corto período de tiempo, horas, días o meses. El objetivo es ayudar a tomar decisiones operativas en un escenario muy tan desfavorable que afecte a calidad del servicio como el horario de máxima demanda o emergencias (fugas o averías).

#### **2.4.1.2 Grado de detalle.**

**2.4.1.2.1 Modelo estratégico o arterial.** Estos modelos contienen solo los componentes principales (tuberías principales, reservorios controles generales), incluido el tamaño, la función o el destino final del modelo. Se puede utilizar como herramienta de planificación, diseño y protección, gestión en tiempo real de la red, selección y ubicación óptima de estaciones de medida y control, optimización global y diseño de sistemas de control.

**2.4.1.2.2 Modelo detallado.** Aunque para muchos propósitos puede ser suficiente usar un modelo estratégico para aprovechar completamente los aspectos detallados del diseño, la regulación y el mantenimiento, lo más importante es usar un modelo detallado que incluya casi todos los elementos. Este tipo de modelos se usan para toma de decisiones de operación y calidad de agua.

#### **2.4.1.3 Variación en el tiempo.**

**2.4.1.3.1 Estático.** Referido a que los caudales demandados en la red permanecen fijos en el tiempo, por lo que se supone que las condiciones de operación de la red que son definidas por la condición de las válvulas, bombes y niveles de los reservorios.

**2.4.1.3.2 Dinámico.** En el modelo estático, se supone que el caudal requerido y la corriente inyectada a la red permanecen constantes y que las condiciones de operación de la red (definidas por la posición de la válvula, el equipo de bombeo y los niveles del reservorio) no cambian.

#### **2.4.1.4 Variables del sistema.**

**2.4.1.4.1 Modelos hidráulicos.** Este tipo de modelo hidráulico determina el caudal y la presión en una red de tuberías en condiciones iniciales y de contorno específicas.

**2.4.1.4.2 Modelos de calidad.** Los modelos de calidad determinan la variación temporal y espacial de un parámetro de calidad específico, como la concentración, el tiempo de residencia o el tiempo de residencia en un reservorio de contaminantes o desinfectantes. En el paso anterior se deben determinar las variables hidráulicas del sistema para estos modelos.

### **2.4.2 Confección de un modelo hidráulico**

Bartolín (2013), explica que un modelo hidráulico de una red de distribución de agua no es más que una abstracción matemática que puede reproducir con precisión el estado de un sistema físico real bajo las circunstancias requeridas. Crear un modelo de red de distribución es una tarea compleja que requiere una metodología bien definida. El proceso de desarrollo de un modelo implica varios pasos, como trabajo de campo, técnicas de simplificación, distribución de carga (demanda), análisis de medidas, ajuste de parámetros, etc. La combinación perfecta de todas estas acciones garantizará finalmente la fiabilidad y límite de uso del modelo resultante.

**2.4.2.1 Recopilación de información.** Preparar un modelo válido y conocer los datos subyacentes es un proceso iterativo que se lleva a cabo a lo largo del proceso de construcción y calibración hasta lograr una corrección final satisfactoria de acuerdo con los objetivos predeterminados (Teixeira et al., 2006).

Las fuentes principales de datos geográficos y físicos en los modelos están en el catastro de la empresa prestadora de servicios, este catastro debe estar actualizado y contener información relevante como diámetro, material año de instalación, accesorios, válvulas y cotas de las tuberías. Otro punto importante es el caudal suministrado a la red, patrón de demanda, así como el nivel de pérdidas que se complementa con la micro medición de los usuarios. Por otro lado, es importante que la EPS contenga un registro sobre las incidencias e información comercial sobre los usuarios como el tipo de usuario, consumo facturado y nivel de micro medición.

**2.4.2.2 Esqueletización de la red.** Según Bartolín (2013), la esqueletización de una red de distribución de agua implica una representación esquemática del sistema real utilizando un conjunto representativo de tuberías. Es una compensación entre la precisión que puede proporcionar un modelo detallado y los costos asociados del proceso de recopilación de datos, la construcción del modelo, un mayor tiempo de simulación, etc.

Simplificar la red es una consideración importante ya que depende del nivel del modelo, y en consecuencia repercutirá en la fiabilidad de los resultados. Esto último ya que una simplificación desmedida puede traducirse en valores de presión y caudal diferentes a los medidos en campo.

Los siguientes son los métodos que se utilizan con mayor frecuencia para obtener modelos simplificados para aplicaciones de análisis y diseño.

- Eliminación de tuberías de diámetro pequeño.
- Tubería equivalente de tuberías en serie.
- Tubería equivalente de tuberías en paralelo.
- Unión de nodos, etc.

#### **2.4.2.3 Medidas de campo.**

- Medida de presión o caudal en puntos estratégicos de la red. La elección de su número y ubicación dependerá del tamaño de la red.
- Altura dinámica de bombeo y caudal a la salida de equipos de bombeo.
- Cotas y niveles de agua en fuentes y reservorios.
- Consignas de caudal y presión.
- Curvas de variación de presión y caudal durante el día.

**2.4.2.4 Asignación de consumo.** Bartolín (2013) indica que existe mucha incertidumbre sobre la asignación de la demanda. Esta incertidumbre es consecuencia no solo de la variación de consumo horario, sino también por las conexiones irregulares, errores en los micromedidores y el consumo incontrolado por las fugas y averías que deben ser distribuidos en los nodos de la red. Para garantizar una correcta asignación de consumo, es necesario contar con los siguientes datos:

- Micro medición: Estos medidores ofrecen el volumen de consumo de cada usuario durante un periodo específico, y generalmente están almacenados en una base de datos. A partir de esta información, podemos vincular a cada usuario con la tubería de servicio de la red desde la cual proviene la conexión domiciliaria, y a su vez, esta tubería se relaciona con uno de los nodos en el modelo matemático.
- Evolución temporal de la demanda: no solo diario o semanal, también hay una variación del consumo considerando la estacionalidad de año. Pero para una correcta modulación se debe considerar, el tipo de consumidor (doméstico, comercial, industrial, social), el nivel socioeconómico, sistema directo o indirecto (cisterna o tanque elevado) en las viviendas y las presiones en la red.
- Grandes consumidores: se refiere a las grandes industrias, centros comerciales, hospitales, fábricas que consumen un gran caudal respecto de los usuarios domésticos o comerciales. Es por ello por lo que generalmente se representa como

un nodo independiente en la modelación y así se logra una distribución real de los consumos

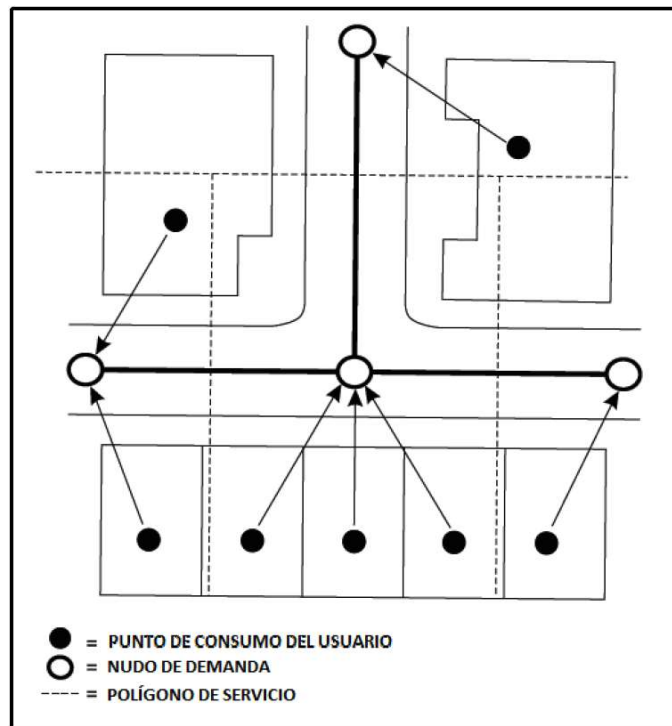
- Pérdidas físicas y comerciales: a diferencia entre el volumen de entrada y el volumen registrado corresponde al volumen no facturado, que incluye el volumen legalmente consumido, pero no contabilizado y el volumen atribuido a las fugas.

Molina (2014) recomienda usar sistemas de información geográfica (SIG) para la distribución espacial de los consumos en un modelo de una red de distribución ya que es un factor condicionante para la precisión del modelo. La información disponible generalmente corresponde a un identificador, localización, volumen de consumo mensual, periodo de facturación e información del medidor. Los principales métodos para la distribución de los consumos que se basa en SIG son métodos de Área y métodos basados en Punto.

Los métodos de Área agrupan los consumos de los abonados localizados dentro de un "polígono de servicio" para luego vincularlo a un nudo definido del modelo (Walski et al., 2007). Un ejemplo clásico de este tipo de método es cuando se usan los polígonos de Thiessen y los consumos conocidos en un polígono de servicio es asociado al nudo más cercano según el criterio de distancia euclidiana.

**Figura 13**

*Método basado en Área.*

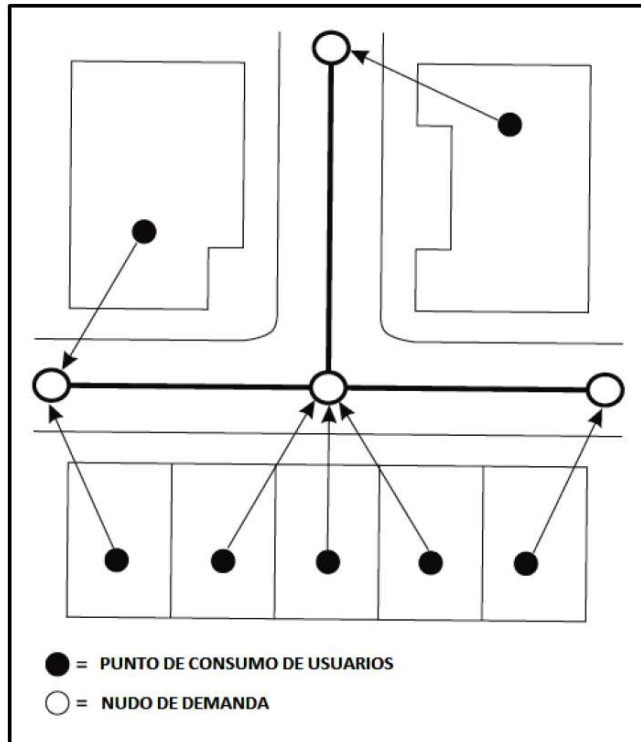


*Nota: Fuente (Walski et al., 2007).*

Los métodos basados en Punto se utilizan cuando se conoce el consumo de cada usuario, por lo que se representa por un punto y este se relaciona con el nodo o tubería más cercana.

**Figura 14**

*Método basado en Punto.*



*Nota: Fuente (Walski et al., 2007).*

Molina (2014) indica que los dos métodos líneas arriba es exitoso siempre y cuando se cuente con un alto porcentaje de micro medición. Sin embargo, no siempre se alcanza estos niveles de micro medición por lo que indica que es posible utilizar un cálculo de “consumo unitario” y la información sobre la densidad poblacional. Enfoques recomendables para este escenario de baja micro medición son “TOP DOWN” Y “BOTTON-UP”, los cuales utilizan el concepto de balance de masas para realizar la distribución espacial de los consumos.

**2.4.2.5 Asignación de fugas.** De acuerdo con lo descrito en el ítem 2.1.6, las fugas son consideradas como un orificio y son sensibles a la variación de presión. En sectores donde las fugas son considerables, estas pueden afectar la confiabilidad del modelo hidráulico.

Molina (2014) indica que en ciudades con una densidad poblacional alta es en la conexión domiciliaria donde se da el mayor porcentaje de pérdidas físicas en la red de distribución.

**2.4.2.6 Calibración del modelo.** La calibración de la red de distribución consiste en ajustar ciertos parámetros que controlan el comportamiento hidráulico del modelo para intentar acercar los valores simulados lo más posible a las medidas de campo para que pueda usarse en el dominio de análisis previsto con suficiente seguridad.

Un modelo calibrado permite predecir el comportamiento del sistema con respecto a las variables del sistema que no están sujetas a medición, ya sea en una situación operativa similar a la que se eligió la calibración o en una situación diferente. (Teixeira et al., 2006)

Jurado, (2007) indica que la calibración de los modelos hidráulicos es un problema dificultoso ya que el número de incógnitas supera al número de ecuaciones, por lo existe un método matemático directo de solución. Es por lo que a través de un conjunto de procedimientos como los algoritmos genéticos, lógica difusa, Metrópoli-Montercalo y la exploración manual se busca soluciones coherentes para evitar la gran cantidad de tiempo que se requiere para la búsqueda de todas las posibles soluciones.

Para mejorar la confiabilidad del modelo hidráulico, se debe reducir la desviación entre los valores tomados en campo y el valor de la simulación. Los parámetros de ajuste más recomendables son la rugosidad de las tuberías y el consumo en los nodos. En el caso del diámetro interno de la tubería se usa con menos frecuencia como un parámetro de ajuste (Bartolín, 2013).

La American Water Works Association (1999) propone un conjunto de consideraciones descritas en la Tabla 9 para definir la cantidad de mediciones de caudal y presión diferenciados por aplicación, grado de detalle, variación en el tiempo y las variables del modelo hidráulico.

**Tabla 9**

*Criterio para la calibración de modelos recomendados por la American Water Works Association (AWWA).*

Propósito del modelo	Nivel de detalle	Tipo de simulación	Número de mediciones de presión (% de nodos)	Precisión en mediciones de presión	Número de mediciones de caudal (% de tuberías)	Precisión mediciones de caudal (%)
Planificación	Bajo	Régimen estacionario o EPS	10	± 5 psi (3.5 mca) para el 100% de las mediciones	1	± 10
Diseño	Moderado - Alto	Régimen estacionario o EPS	2 – 5	± 2 psi (1.4 mca) para el 90% de las mediciones	3	± 5
Operación de la red	Bajo – Alto	Régimen estacionario o EPS	2 – 5	± 2 psi (1.4 mca) para el 90% de las mediciones	2	± 5
Calidad de agua	Alto	EPS	2	± 3 psi (2.1 mca) para el 70% de las mediciones	5	± 2

EPS = Simulación en Período Extendido (Extended Period Simulation)

Nota: Adaptado de (American Water Works Association [AWWA] , 1999)

Debido a que la propuesta anterior requiere numerosos equipos de monitoreo, las mediciones propuestas son difícil alcanzables, a esto sumado que existe discrepancia al tener criterios porcentuales; los prestadores de servicio de Estados Unidos, Canadá y Reino Unido no seguían estos criterios para valorar la calibración de los modelos hidráulicos. Por lo que recomiendan constante comunicación con el área operativa a fin de tener actualizado el modelo con la red de distribución (Molina, 2014).

Asimismo, Walski et al. (2007) brinda pautas para la evaluación cuantitativa de la precisión de la calibración en la que establece tolerancias entre los valores medidos y simulados para altura piezométrica, caudal, nivel de reservorios; en función de su aplicación, grado de detalle, variación temporal y sus variables.

**Tabla 10***Crterios para valorar la calibración de modelos*

<b>Aplicación del modelo</b>	<b>Precisión requerida</b>
Planificación, sistemas pequeños (tuberías menores a 600mm)	1) Altura piezométrica entre $\pm 1.5\text{m}$ y $\pm 3.0\text{m}$ registrada en los nudos de calibración durante condiciones normales de demanda y para pruebas de campo en hidrantes. 2) Fluctuación del nivel de depósitos entre $\pm 1.0\text{m}$ y $\pm 2.0\text{m}$ para EPS. 3) Diferencia de caudal entre 10% y 20% en puntos de inyección y bombeos.
Planificación, sistemas grandes (tuberías mayores a 600mm)	(1) Altura piezométrica entre $\pm 1.5\text{m}$ y $\pm 3.0\text{m}$ registrada en los nudos de calibración durante condiciones normales de demanda e instantes de velocidad máxima. (2) Fluctuación del nivel de depósitos entre $\pm 1.0\text{m}$ y $\pm 2.0\text{m}$ para EPS. (3) Diferencia de caudal entre 10% y 20% en puntos de inyección y bombeos.
Diseño	(1) Altura piezométrica entre $\pm 1.5\text{m}$ y $\pm 3.0\text{m}$ registrada en el nudo extremo de la red durante el funcionamiento de hidrantes (escenario de incendio). (2) Fluctuaciones del nivel de depósitos entre $\pm 1.0\text{m}$ y $\pm 2.0\text{m}$
Análisis de incendios	Altura piezométrica estática y residual entre $\pm 1.5\text{m}$ y $\pm 3.0\text{m}$ registradas en el nudo representativo de cada zona de presión, durante condiciones normales de demanda y escenario de incendio.
Diseño de sectorización	Altura piezométrica entre $\pm 1.5\text{m}$ y $\pm 3.0\text{m}$ registrada en el punto de división de sectores, durante condiciones normales de demanda y escenario de incendio.
Sistemas rurales de distribución	Altura piezométrica entre $\pm 3.0\text{m}$ y $\pm 6.0\text{m}$ registrada en los nudos extremos de la red durante condiciones normales y de máxima demanda.
Estudios de rehabilitación	Altura piezométrica estática y residual entre $\pm 1.5\text{m}$ y $\pm 3.0\text{m}$ registradas en el área de estudio, durante condiciones normales de demanda y durante el escenario de incendio
Purgas de la red	Diferencia de caudal entre 10% y 20% para la descarga en hidrante, a 14.0 mca.
Estudios de eficiencia energética	(1) Energía total utilizada entre 5% y 10% para 24 horas. (2) Consumida energético horario entre 10% y 20%. (3) Demanda máxima instantánea de energía entre 5% y 10%.
Operación de la red	El modelo debe reproducir los problemas que ocurren en el sistema, de tal manera que el modelo se puede utilizar para la toma de decisiones para ese problema en particular.
Planificación en emergencias	Altura piezométrica entre $\pm 3.0\text{m}$ y $\pm 6.0\text{m}$ registrada durante el escenario de emergencia

Aplicación del modelo	Precisión requerida
Modelación de desinfectantes	El modelo debe reproducir el patrón de concentración del desinfectante, observado a través del tiempo con un error aproximado de 0.1 mg/l a 0.2 mg/l.

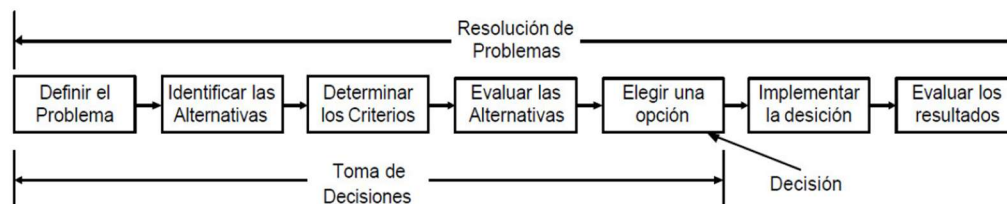
Nota: Adaptado de (Walski et al., 2007).

## 2.5 Modelos de decisión multicriterio

Toskano (2005) relaciona que el término toma de decisiones con las cinco primeras etapas del proceso de solución de problemas, es decir que la toma de decisiones empieza con la identificación y definición del problema y finaliza con la elección de una alternativa.

### Figura 15

Proceso de solución de problemas.



Nota: Fuente (Toskano 2005).

En ese sentido, Toskano (2005) considera un problema multicriterio, cuando existen por lo menos dos criterios en conflicto y dos alternativas de solución es decir que el objetivo de un problema de decisión multicriterio es determinar la mejor solución considerando en simultáneo múltiples criterios.

Quispe (2017) plantea que los métodos de decisión multicriterio sirven para encontrar posibles soluciones y están en función a criterios de evaluación dependiendo de ponderaciones que reflejan la importancia para el decisor.

Los métodos más utilizados en la decisión multicriterio son: Ponderación Lineal (Scoring), Utilidad Multiatributo (MAUT) y el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP).

### 2.5.1 Proceso de jerarquías analíticas

Thomas L. Saaty desarrolló este método en los años 70, el proceso permite descomponer y analizar el problema por partes, así como también requiere de un tomador

de decisiones que brinde ponderaciones y prioridades a criterios y factores. Estos forman parte de alternativas que solucionan el problema es decir el AHP descompone un problema en subproblemas, busca soluciones a estos subproblemas con el fin de unir todas las soluciones para llegar a una conclusión (Saaty, 2008).

Según Delgado (2011), el fin de este proceso es permitir que el tomador de decisiones pueda organizar un problema multicriterio en forma visual, mediante la elaboración de un proceso jerárquico que contenga tres niveles: objetivo, criterio y factores. Una vez construido este proceso, se deben realizar comparaciones pareadas entre factores con factores y criterios con criterios formando matrices cuyos valores numéricos indican la preferencia del tomador de decisiones. El proceso termina cuando este nos proporciona una síntesis de las preferencias mediante la incorporación de juicios parciales. Lo importante de este proceso es que te brinda valores numéricos de estos juicios parciales teniendo así la posibilidad de ponderar cada elemento de jerarquía ya sea en criterio o factor.

## **2.5.2 Base matemática del proceso de análisis jerárquico**

**2.5.2.1 Establecimiento de prioridades.** El AHP requiere que el decisor fije preferencias para cada uno de sus criterios y respectivos factores de tal manera que se pueda jerarquizar en una meta global.

**2.5.2.2 Comparaciones pareadas.** Para comparar por pares y fijar las preferencias el AHP propone una escala de valores numéricos del 1 al 9 para calificar los criterios y factores de acuerdo con las preferencias verbales del decisor (Toskano, 2005).

**Tabla 11**

*Escala de preferencias.*

<b>Planteamiento verbal de la preferencia</b>	<b>Calificación numérica</b>
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuerte y extremadamente preferible	8

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación numérica
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuerte y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderada y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igual y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

Nota: Fuente (Toskano 2005).

**2.5.2.3 Matriz de comparaciones pareadas.** Arán (2008) plantea que la matriz de comparaciones pareadas es una matriz cuadrada de dimensión “n” en la cual se realizan las comparaciones entre criterios y entre factores.

Según Toskano (2005) define la matriz de comparaciones pareadas como: “Sea A una matriz  $n \times n$ , donde  $n \in \mathbb{Z}^+$ . Sea  $a_{ij}$  el elemento  $(i, j)$  de A, para  $i = 1, 2, \dots, n$ , y,  $j = 1, 2, \dots, n$ . Decimos que A es una matriz de comparaciones pareadas de n alternativas, si  $a_{ij}$  es la medida de la preferencia de la alternativa en el renglón  $i$  cuando se le compara con la alternativa de la columna  $j$ . Cuando  $i = j$ , el valor de  $a_{ij}$  será igual a 1, pues se está comparando la alternativa consigo misma”.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Se cumple que  $a_{ij} \cdot a_{ji} = 1$  por lo que:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Toskano (2005) expone los principios en la construcción del AHP se basa en los siguientes axiomas:

- A1: Condición de juicios recíprocos. La reciprocidad de las preferencias en una matriz A de comparaciones pareadas se cumple que  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ .

- A2: Condición de homogeneidad. Al comparar elementos estos deben ser de la misma jerarquía o magnitud, es decir que en la comparación no se deben diferenciar en cuanto a sus características.
- A3: Condición de estructura jerárquica. Existe una dependencia jerárquica en los niveles de dos elementos consecutivos de un mismo nivel.
- A4: Condición de expectativas de orden de rango. Las expectativas deben estar representadas en términos de criterios y factores.

**2.5.2.4 Vector propio principal.** León (2021) señala que el vector propio máximo de la matriz de comparaciones pareadas representa el orden de priorización y se fundamenta en la suma de los valores de cada fila de la matriz de comparaciones normalizada.

Para calcular este vector consideraremos  $A$  una matriz de comparaciones pareadas  $n \times n$ .

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Luego para hallar los valores normalizados se sumarán los valores de cada columna existente en la matriz.

$$s_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}$$

Para luego generarse la matriz auxiliar (matriz de comparaciones pareadas normalizada)  $B$  donde cada valor proviene de la división entre cada valor de la matriz de comparaciones pareadas y su correspondiente valor de la sumatoria de su columna ( $s_j$ ).

$$B = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{s_1} & \frac{a_{12}}{s_2} & \dots & \frac{a_{1n}}{s_n} \\ \frac{a_{21}}{s_1} & \frac{a_{22}}{s_2} & \dots & \frac{a_{2n}}{s_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{s_1} & \frac{a_{n2}}{s_2} & \dots & \frac{a_{nn}}{s_n} \end{bmatrix}$$

Luego se suman los valores de las filas de la matriz  $B$ .

$$c_{1i} = \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{s_i}$$

Generándose así el vector propio principal  $C$ .

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} \\ c_{12} \\ \vdots \\ c_{1n} \end{bmatrix}$$

Finalmente, para normalizar este último vector, se divide cada uno de los valores entre el número de criterios, dando como resultado el vector propio principal normalizado  $D$  que se traduce en los pesos de cada factor.

$$D = \begin{bmatrix} \frac{c_{11}}{n} \\ \frac{c_{12}}{n} \\ \vdots \\ \frac{c_{1n}}{n} \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} \\ d_{12} \\ \vdots \\ d_{1n} \end{bmatrix}$$

**2.5.2.5 Cálculo de la razón de la inconsistencia.** El valor propio máximo ( $\lambda_{m\acute{a}x}$ ) es un indicador de la calidad de la decisión referido a los juicios o preferencias del decisor en las comparaciones pareadas. Si bien es difícil obtener una consistencia perfecta se espera cierto grado de inconsistencia ya que los juicios o preferencias son rendidos por seres humanos (Toskano, 2005).

Según León (2021), esta verificación es una de las características más importantes del Proceso de Jerarquías Analíticas, ya que permite al tomador de decisiones reconsiderar sus valoraciones en caso el que se establezca inconsistencia de la matriz.

Fernandez (2007), expone el cálculo del valor propio máximo es la suma de los valores a partir de la división de los elementos de cada elemento del obtenido del producto de la matriz de comparaciones pareadas  $A$  con el vector propio principal normalizado  $D$  y los correspondientes elementos del vector propio principal normalizado  $D$ . Es decir:

$$E = A \times D$$

$$E = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} d_{11} \\ d_{12} \\ \vdots \\ d_{1n} \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} \\ e_{12} \\ \vdots \\ e_{1n} \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} \\ e_{12} \\ \vdots \\ e_{1n} \end{bmatrix} \wedge D = \begin{bmatrix} d_{11} \\ d_{12} \\ \vdots \\ d_{1n} \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{bmatrix} \frac{e_{11}}{d_{11}} \\ \frac{e_{12}}{d_{12}} \\ \vdots \\ \frac{e_{1n}}{d_{1n}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} \\ f_{12} \\ \vdots \\ f_{1n} \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \left( \sum_{i=1}^n f_i \right) / n$$

Una vez hallado el valor propio máximo de la matriz de comparaciones pareadas de dimensión n se puede calcular el Índice de Consistencia (IC) con:

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1}$$

Para la determinación del índice aleatorio de consistencia, se basa en el promedio del IC de 500 matrices recíprocas generadas al azar donde “n” es el orden de la matriz obteniéndose índices aleatorios de consistencia los cuales se muestran en la Tabla 12 .

**Tabla 12**

*Índices aleatorios de consistencia.*

N°	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0.58	0.89	1.11	1.24	1.32	1.40	1.45	1.49

Nota: Fuente (Toskano 2005).

El cociente del índice de consistencia (IC) determinado para la matriz de comparaciones pareadas A y su respectivo índice aleatorio (IA) fija la razón de consistencia (RC), el cual cuantifica la consistencia de los juicios asignados en la matriz de comparaciones pareadas A.

*“Es un reflejo de la proporcionalidad de las preferencias implícitas en los juicios de valor asignados” (Arán, 2008).*

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

De lo expuesto, cuando la razón de la consistencia es mayor o igual al 10%, los juicios de valor emitidos por el decisor deben ser reconsiderados, por otro lado, si la razón de la consistencia es menor al 10% se considera que los aprobados los juicios de valor.

**2.5.2.6 Indicadores.** León (2021) indica que son valores numéricos asignados a los criterios o subcriterios de tal manera que aquellos valores alejados del cero indican una condición tal como se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13***Asignación de los valores del indicador.*

Criterio	Subcriterio	Indicador	Condición
Criterio 1	Subcriterio 1	Indicador n	Indeseable
		⋮	↑
		Indicador 2	
	Indicador 1	Óptima	
	Subcriterio 2	Indicador n	Indeseable
		⋮	↑
Indicador 2			
Indicador 1	Óptima		

*Nota:* Adaptado de (León 2021).

**2.5.2.7 Normalización.** Para evaluar la infraestructura de la red de distribución, se ha establecido una escala de criticidad que permite clasificar los sectores y tramos en función de su nivel de prioridad de intervención. Esta clasificación se basa en un proceso de normalización, donde los valores obtenidos se asignan a una escala ordinal de n niveles, tal como se presenta en la Tabla 14.

**Tabla 14***Valores y niveles de criticidad.*

Criticidad	
Valor	Nivel
n	Alta
n-1	Media alta
⋮	⋮
2	Media baja
1	Baja

*Nota:* Adaptado de (León 2021).

Los valores de normalización se determinan en función de la cantidad de niveles de criticidad definidos ( $n$ ), lo que permite establecer una jerarquización clara de los sectores y tramos evaluados. Así, un valor de 1 representa una baja criticidad, indicando que la infraestructura presenta condiciones aceptables, mientras que un valor de  $n$  señala una alta criticidad, lo que sugiere una intervención prioritaria.

Esta clasificación facilita la toma de decisiones al permitir identificar y priorizar los sectores y tramos que requieren atención urgente, optimizando así los recursos destinados a la rehabilitación y mejora de la red de distribución.

### **Capítulo III. Desarrollo de la metodología propuesta**

A partir de los conceptos desarrollados en el capítulo anterior, que abarcan la hidráulica de tuberías, los componentes de las redes de distribución, la gestión de pérdidas de agua, el modelamiento y calibración de redes, así como el Proceso de Jerarquías Analíticas (AHP), se plantea una metodología detallada para cumplir con los objetivos de esta tesis.

La necesidad de priorizar los tramos de tuberías en los sectores hidráulicos del Centro de Servicios de Comas surge debido a la disponibilidad limitada de recursos financieros, lo que exige una asignación eficiente de los mismos. En este contexto, la metodología propuesta se basa en el Proceso de Jerarquías Analíticas, utilizando criterios ponderados que han sido seleccionados por el autor como los más relevantes para este caso de estudio. Sin embargo, es importante destacar que tanto los criterios como sus ponderaciones pueden variar según el centro de servicio o el tipo de Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento (EPS) en la que se aplica.

El enfoque metodológico parte de la identificación de los tramos críticos dentro de la red de distribución. No obstante, antes de llegar a este nivel de detalle, se busca determinar primero el sector más crítico, reduciendo así el área de intervención y optimizando el proceso de priorización. Para ello, se aplica el Proceso de Jerarquías Analíticas en dos niveles: primero, para evaluar y seleccionar el sector más crítico dentro del área de estudio, y posteriormente, dentro de dicho sector, para identificar los tramos de tuberías que requieren intervención prioritaria.

La criticidad de un sector o un tramo se define en función de sus características hidráulicas, físicas y operativas. Aquellos sectores o tramos con los valores más deficientes

en estos aspectos, en comparación con el resto del área de estudio, serán considerados los más críticos y, por lo tanto, los de mayor prioridad para la rehabilitación o renovación.

### **3.1 Delimitación del área de estudio**

Para definir el área de estudio, es fundamental identificar los sectores hidráulicos dentro del ámbito de responsabilidad y cobertura de una Empresa Prestadora de Servicios (EPS) o de sus centros operativos.

El éxito de la metodología propuesta dependerá en gran medida de la disponibilidad y calidad de la información histórica actualizada. Además, los sectores seleccionados deben compartir características comunes que permitan realizar comparaciones válidas a través del Proceso de Jerarquías Analíticas.

Para la correcta ejecución de la metodología, se requiere contar con la siguiente información mínima:

#### **3.1.1 *Micro medición***

Para determinar con precisión las variables hidráulicas en los tramos de tubería, se debe realizar un modelamiento matemático seguido de su calibración. Para garantizar una representación confiable de la red, el nivel de micromedición debe superar el 95%. Alcanzar este porcentaje asegura que las pérdidas de agua identificadas corresponden principalmente a pérdidas físicas y no a aparentes.

#### **3.1.2 *Macro medición***

Los dispositivos de macromedición, ubicados en las tuberías primarias de abastecimiento, son esenciales para calcular el balance hídrico y aplicar los conceptos mencionados en el ítem 2.3.1.

### **3.1.3 Medición de presión**

Los manómetros o data loggers deben instalarse en puntos estratégicos dentro de la red para evaluar el comportamiento hidráulico de los sectores. Estos dispositivos permiten analizar variaciones de presión debido al consumo y son fundamentales para el modelamiento y calibración de la red.

### **3.1.4 Registro de incidencias**

Es crucial disponer de una base de datos actualizada sobre roturas y daños en el sistema de distribución. Este registro debe complementarse con información sobre la detección y reparación de fugas, así como con datos sobre los volúmenes de agua ingresados a cada sector y las presiones de referencia en distintos puntos de la red.

### **3.1.5 Registro de redes**

Para gestionar eficientemente la infraestructura de distribución, se recomienda contar con un sistema digital basado en SIG (Sistemas de Información Geográfica). Este registro debe incluir información detallada de cada tramo de tubería, como material, año de instalación, longitud, diámetro, ubicación georreferenciada, así como la presencia de válvulas y accesorios.

### **3.1.6 Base cartográfica**

Consiste en un conjunto de mapas con un sistema de coordenadas definido que abarque toda el área de estudio. Esta base cartográfica es esencial, ya que sirve como referencia para la integración y gestión de otros sistemas de información relacionados con la infraestructura de distribución.

### **3.1.7 Registro de data comercial**

La información de los usuarios y su historial de facturación es clave para el cálculo del balance hídrico sustentando en el ítem 2.3.1 del Capítulo II. Marco teórico. Los datos registrados incluyen información del titular del servicio, clasificación socioeconómica, tipo de facturación y consumo mensual, todos ellos vinculados a un número de suministro que facilita la gestión comercial y operativa de la red.

## **3.2 Criterios para determinar el sector crítico**

El objetivo de este apartado es identificar el sector más crítico dentro de un conjunto de sectores que cumplen con los requisitos establecidos en el ítem 3.1. Para ello, se emplean criterios cuantitativos y cualitativos que influyen en la decisión. La selección de estos criterios puede variar dependiendo de la información disponible y de las consideraciones del decisor. En la presente investigación, se han definido los siguientes criterios:

### **3.2.1 Volumen perdido ( $m^3/Km/mes$ )**

Para evaluar la eficiencia en el control de pérdidas de agua, se utilizará el indicador de desempeño recomendado por la IWA: pérdidas por longitud de tubería ( $m^3/km\ red/mes$ ). Este indicador expresa el volumen mensual perdido por kilómetro de tubería, siendo adecuado para redes de distribución en áreas urbanas.

### **3.2.2 Vida útil remanente (años)**

La determinación de la vida útil remanente se basará en la metodología descrita en el ítem 2.3.2.5.4, utilizada por SEDAPAL para estimar el tiempo restante de servicio de una tubería. Para obtener un valor representativo por sector, se calculará el promedio

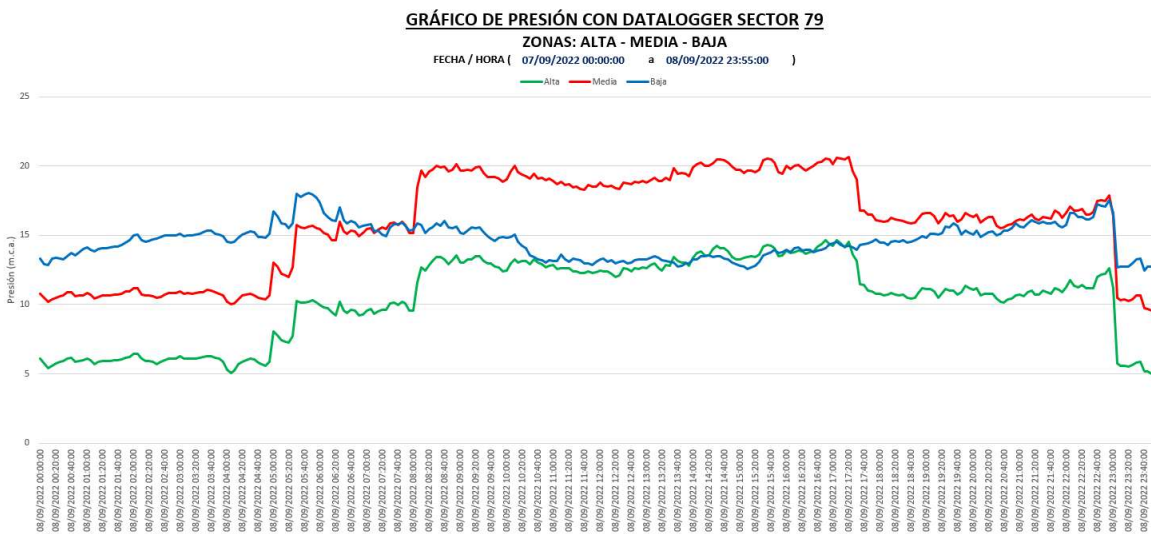
ponderado de la vida útil remanente, considerando variables como el estado de la red, el material y la longitud de las tuberías.

### 3.2.3 Presión promedio (m.c.a.)

Los sectores hidráulicos generalmente cuentan con cámaras data-logger que que registran la presión en intervalos programados. Normativamente, el regulador exige mediciones en tres puntos representativos del sector: parte alta, media y baja. Como se explica en el ítem 2.3.2.2, a presión de la red influye directamente en el caudal de fugas, por lo que es fundamental establecer un control adecuado desde la cámara de ingreso al sector para garantizar el cumplimiento de la presión mínima normativa.

**Figura 16**

*Variación de presiones.*



*Nota: Fuente Grupo Funcional Distribución - SEDAPAL.*

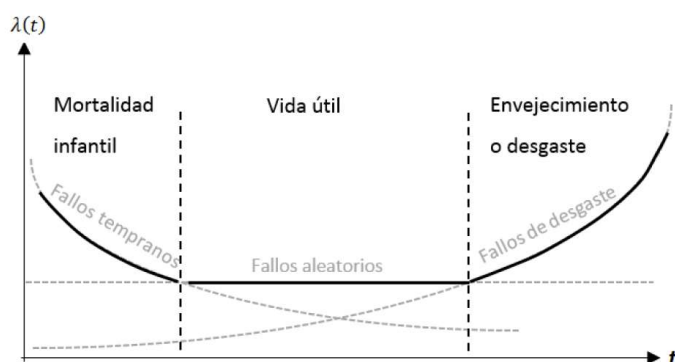
En la Figura 16 se aprecia el cambio de la presión durante el día por el consumo de los usuarios.

### 3.2.4 Roturas del Sector (Nº/año)

Las redes de distribución de agua presentan roturas de manera recurrente, (GIZ & VAG, 2011) señalan que falla es una interrupción en la capacidad del sistema, generalmente causada por fugas. Los estudios indican que la mayoría de las roturas ocurren en las etapas iniciales (deficiencias de construcción) o finales (corrosión y fatiga de los materiales). El análisis del número de roturas por sector permitirá identificar aquellas con mayor deterioro estructural tal como se grafica en la Figura 17.

**Figura 17**

*Esquema general y fases principales de la curva de la bañera.*



*Nota: Fuente (Ramírez, 2019).*

### 3.3 Identificación del Sector crítico

Para identificar el sector crítico, se emplea el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), realizando comparaciones pareadas entre los criterios definidos en el ítem 3.2. La asignación de valores a cada criterio debe sustentarse en información técnica y en la experiencia del decisor, asegurando que las ponderaciones reflejen la realidad operativa de la red de distribución. El procedimiento por seguir es el siguiente:

- i. Construcción de la matriz de comparación: Se elabora una matriz donde los criterios son evaluados de manera cruzada mediante la escala de Saaty.

- ii. Cálculo de los pesos de los criterios: Se obtiene la ponderación relativa de cada criterio a partir del análisis de valores propios de la matriz.
- iii. Verificación de consistencia: Se calcula el índice de consistencia (IC) y la razón de consistencia (RC). Si  $RC \leq 0,1$ , la comparación es aceptable; De lo contrario, se deben ajustar las valoraciones.
- iv. Aplicación de los pesos a cada sector: Se multiplican los valores de cada criterio por los pesos obtenidos y se suman, obteniendo un índice de criticidad por sector.
- v. Ordenamiento de sectores: Se genera un listado priorizado de sectores, donde el de mayor puntaje es el más crítico.

Este proceso permite identificar el sector que presenta mayores problemas de acuerdo con los criterios definidos, facilitando la toma de decisiones sobre la intervención de la red.

### **3.4 Criterios para determinar los tramos críticos**

Una vez identificado el sector crítico, se procederá a determinar los tramos específicos que requieren intervención prioritaria. Para ello, se emplearán criterios cuantitativos y cualitativos, los cuales pueden variar según la disponibilidad de datos y el contexto operativo. En este estudio, se han definido los siguientes criterios:

#### **3.4.1 Capacidad hidráulica (m/s)**

La capacidad de las redes de distribución de agua en un incendio se refiere a la capacidad del sistema para suministrar agua a los hidrantes y otros dispositivos de extinción de incendios de manera adecuada y efectiva durante un evento de fuego. Esta capacidad es crucial para combatir incendios de manera rápida y eficiente, minimizando así el daño a la propiedad y la pérdida de vidas. La capacidad de las redes externas de distribución en un incendio es fundamental para garantizar un suministro adecuado de agua

a los equipos de extinción de incendios, tales como hidrantes, camiones cisterna de bomberos y sistemas de rociadores en edificios comerciales y residenciales.

El Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual en su calidad de organismo encargado de la normalización y aprobación de las Normas Técnicas Peruanas (NTP), en la NTP 350.102 indica que el caudal de abastecimiento que demanda cada hidrante o la suma de varios en la misma manzana como mínimo es 250 GPM (15.77 L/s) en áreas residenciales hasta con cinco niveles y 500 GPM (31.54 L/s) en las áreas residenciales mayores a cinco niveles.

La National Fire Protection Association tomo N° 291, (2017) establece una clasificación con respecto a las capacidades nominales de caudales de los hidrantes, dicha clasificación es:

- Clase AA – Capacidad nominal de 1500 GPM (5700 lpm) – azul claro.
- Clase A – Capacidad nominal de 1000 a 1499 GPM (3800 a 5700 lpm) – verde.
- Clase B – Capacidad nominal de 500 a 999 GPM (1900 a 3800 lpm) – naranja.
- Clase C – Capacidad nominal de menos de 500 GPM (1900 lpm) – rojo.

### **3.4.2 Vulnerabilidad (%)**

La vulnerabilidad de un sistema de distribución de agua se evalúa mediante el análisis de sus segmentos, los cuales se definen en función de la ubicación de las válvulas de aislamiento. Un segmento puede incluir múltiples nodos y tramos de tubería, y su estudio es clave para determinar la resiliencia del sistema frente a roturas.

El análisis de vulnerabilidad permite identificar la cantidad de usuarios afectados en caso de una incidencia, así como la longitud de tubería comprometida. Este criterio se

cuantifica mediante el porcentaje de demanda de agua que quedaría sin servicio ante el cierre de un segmento determinado.

### **3.4.3 Tasa de roturas (rotura/año/Km)**

Contar con un registro de incidencias georreferenciadas es fundamental para la gestión eficiente de las redes de distribución. En primer lugar, permite identificar zonas con problemas recurrentes, facilitando la priorización de intervenciones. En segundo lugar, el almacenamiento y análisis de datos a lo largo del tiempo posibilita la detección de tendencias y patrones de roturas, lo que contribuye a una planificación más estratégica del mantenimiento.

El cálculo de la tasa de roturas se obtiene a partir del número de incidencias registradas en un período determinado y la longitud total de la red analizada. Este indicador permite proyectar la evolución del deterioro de la infraestructura y establecer estrategias de rehabilitación basadas en evidencia técnica.

### **3.4.4 Vida útil remanente (años)**

Para determinar la vida útil remanente de las tuberías, se aplica la metodología descrita en el ítem 2.2.2.5.4, utilizada por SEDAPAL para estimar el tiempo restante de servicio de un tramo de red.

## **3.5 Tramos críticos**

Para identificar los tramos críticos dentro del sector seleccionado, se emplea el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), realizando comparaciones pareadas entre los criterios definidos en el ítem 3.4. La asignación de valores a cada criterio debe fundamentarse en información técnica y en la experiencia del decisor, asegurando que las

ponderaciones reflejen fielmente el estado y comportamiento de la red. El procedimiento por seguir es el siguiente:

- i. Construcción de la matriz de comparación: Se elabora una matriz donde los criterios se comparan entre sí utilizando la escala de Saaty.
- ii. Cálculo de los pesos de los criterios: Se determina la ponderación relativa de cada criterio mediante el análisis de valores propios de la matriz.
- iii. Verificación de consistencia: Se calcula el índice de consistencia (IC) y la razón de consistencia (RC). Si  $RC \leq 0,1$ , la comparación es aceptable; De lo contrario, se deben ajustar las valoraciones.
- iv. Aplicación de los pesos a cada tramo: Se multiplican los valores de cada criterio por los pesos obtenidos y se suman, obteniendo un índice de criticidad por tramo.
- v. Generación del esquema de priorización: Se elabora un plano esquemático en el que los tramos se diferencian por colores según su nivel de criticidad, facilitando la toma de decisiones para su rehabilitación o renovación

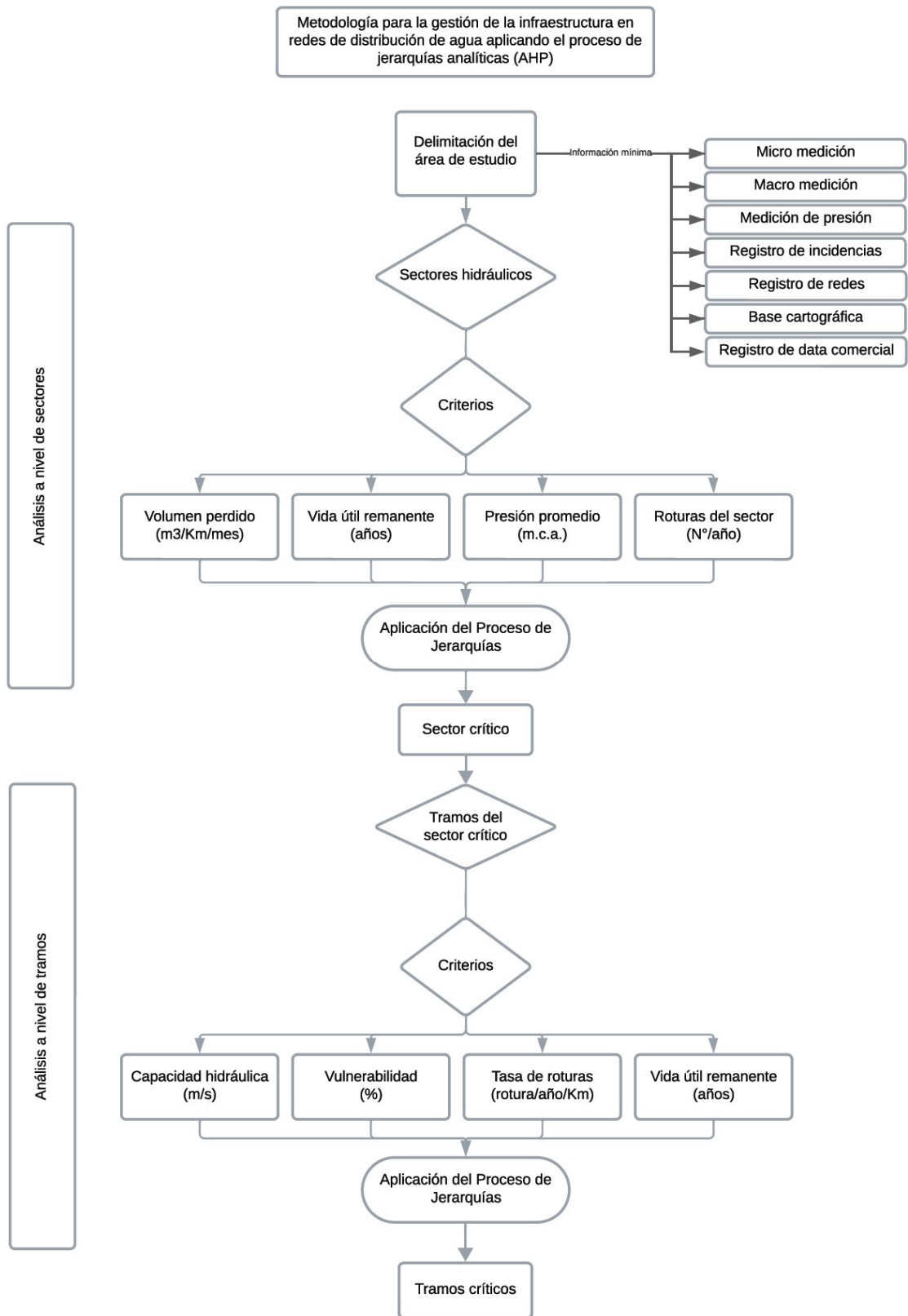
A continuación, se presenta el resumen de la metodología propuesta.

### **3.6 Resumen de la metodología**

La metodología para la gestión de la infraestructura en redes de distribución de agua se basa en el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) para priorizar sectores y tramos críticos dentro de la red. Se estructura en dos niveles de análisis: sectorial y de tramos.

Figura 18

Resumen de la metodología.



Nota: Elaboración propia

## Capítulo IV. Aplicación de la metodología

Con el objetivo de aplicar la metodología propuesta en un caso real, se ha seleccionado el Centro de Servicios Comas, el cual tiene bajo su responsabilidad la gestión de la red de distribución de agua en siete distritos: San Martín de Porres, Rímac, Puente Piedra, Los Olivos, Independencia, Carabayllo y Comas.

**Figura 19**

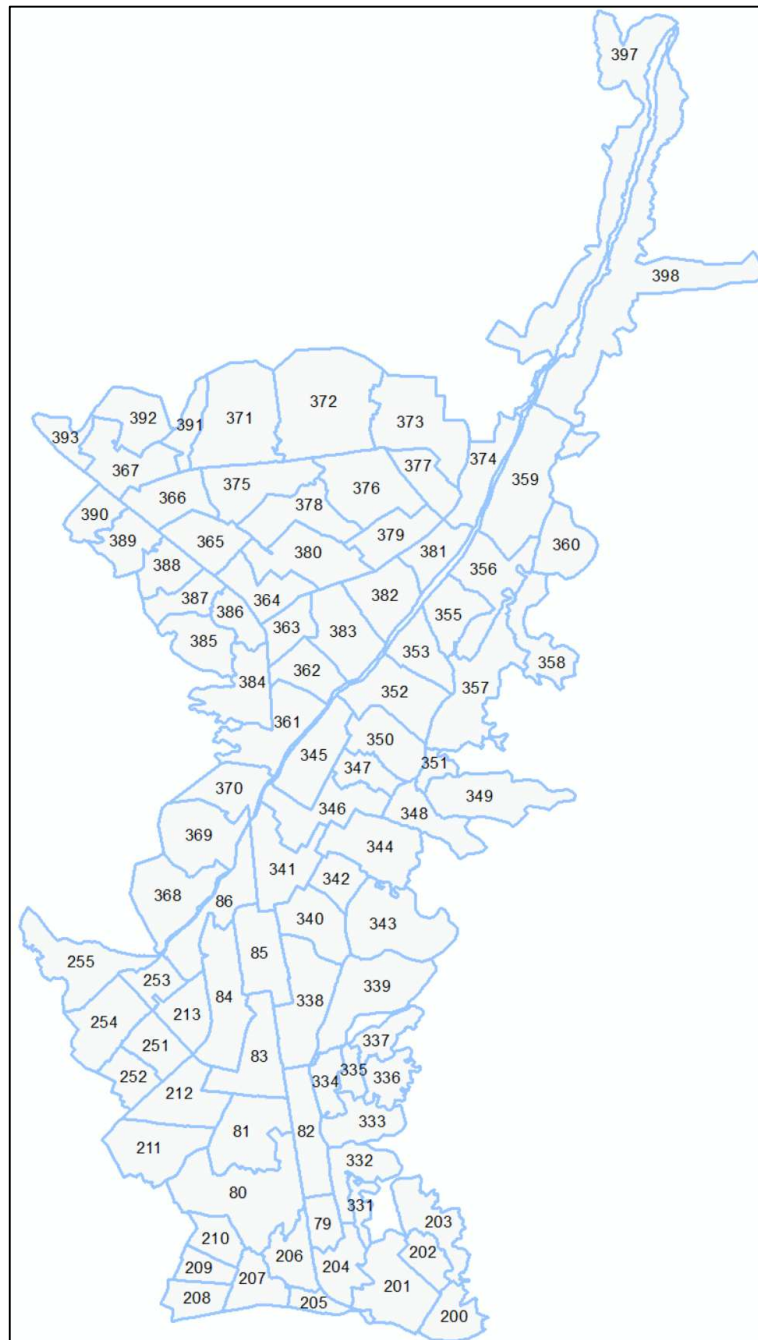
*Distritos administrados por el Centro de Servicios Comas.*



*Nota: Elaboración propia*

**Figura 20**

*Sectores hidráulicos administrados por el Centro de Servicios Comas.*



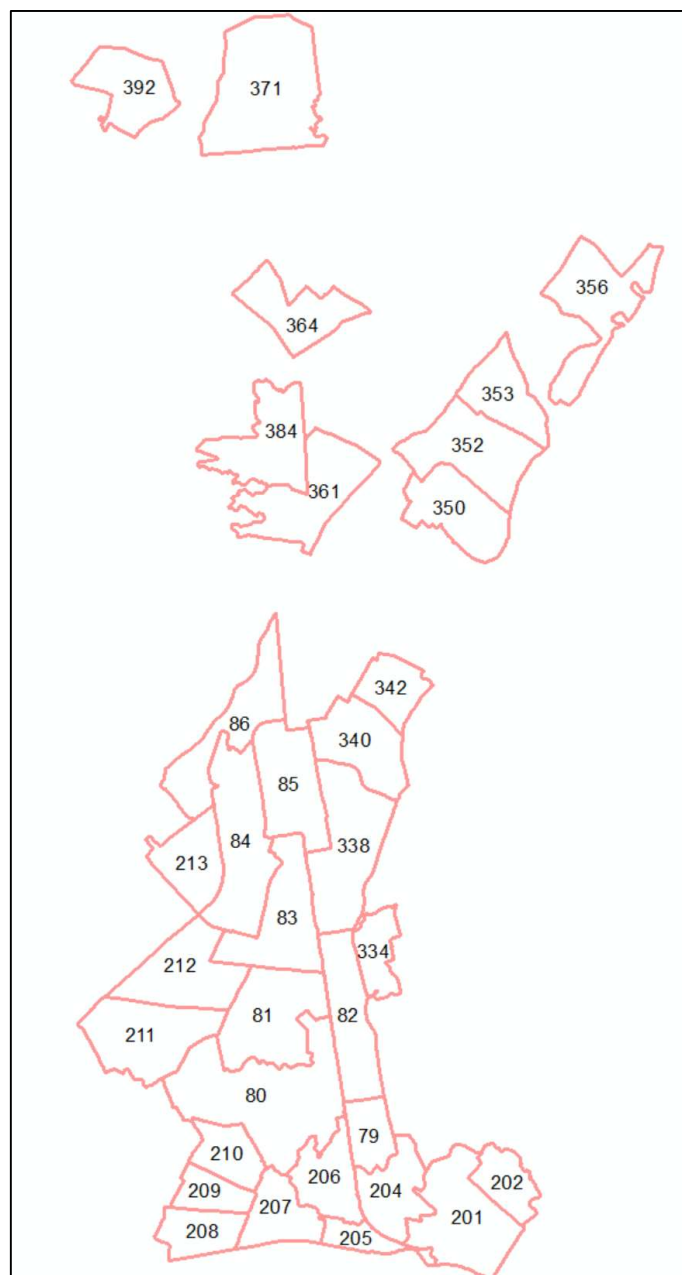
*Nota: Elaboración propia*

A la fecha, este centro administra un total de 4.031,78 kilómetros de redes de distribución con diámetros menores a 350 mm y cuenta con 91 sectores hidráulicos. De estos, se han seleccionado 33 sectores (79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 201, 202, 204, 205,

206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 334, 338, 340, 342, 350, 352, 353, 356, 361, 364, 371, 384 y 392) para la presente investigación, ya que cumplen con la información mínima requerida definida en el ítem 3.1, los cuales establecen condiciones específicas para la evaluación de infraestructura prioritaria.

### Figura 21

*Sectores hidráulicos que cumplen con la información mínima.*



*Nota: Elaboración propia*

A continuación, se describe la aplicación del proceso de jerarquización analítica (AHP) en los sectores seleccionados.

#### **4.1 Aplicación del Proceso de Jerarquías Analíticas (AHP) en sectores**

##### **4.1.1 Criterios**

Son la parte fundamental de Proceso de Jerarquías Analíticas porque sirven como base para la comparación y asignación de juicios de valor.

Las características expuestas en el ítem 3.2 en conjunto muestran el estado de los sectores hidráulicos en estudio y estas características servirán como criterios para la determinación del sector crítico. Los criterios considerados para la presente investigación son:

- Volumen perdido (VP)
- Vida útil remanente (VUR)
- Presión promedio (PP)
- Roturas del sector (FS)

##### **4.1.2 Matriz de comparaciones pareadas de criterios**

Para comparar a los criterios se usó a escala de valores numéricos de la Tabla 11 y cada valor representa las preferencias de los criterios del decisor.

**Tabla 15**

*Matriz de comparación de criterios A*

<b>Criterios</b>	<b>VP</b>	<b>VUR</b>	<b>PP</b>	<b>FS</b>
<b>VP</b>	1	2	4	3
<b>VUR</b>	1/2	1	3	2
<b>PP</b>	1/4	1/3	1	1/2
<b>FS</b>	1/3	1/2	2	1

### 4.1.3 Vector propio principal

El cálculo de del vector propio principal de la matriz de comparaciones pareadas significa el orden de priorización y se calcula sumando los valores de cada fila de la matriz de comparaciones normalizada.

Para el cálculo de la matriz de comparaciones normalizada se suman los valores de cada columna de la matriz de comparaciones pareadas.

$$s_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}$$

Crterios	VP	VUR	PP	FS
VP	1	2	4	3
VUR	1/2	1	3	2
PP	1/4	1/3	1	1/2
FS	1/3	1/2	2	1
<b>Sj</b>	2.083	3.833	10.00	6.50

Luego a cada valor de la matriz A se le divide su correspondiente valor de la sumatoria de la columna.

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{2.083} & \frac{2}{3.833} & \frac{4}{10} & \frac{3}{6.5} \\ \frac{0.5}{2.083} & \frac{1}{3.833} & \frac{3}{10} & \frac{2}{6.5} \\ \frac{0.25}{2.083} & \frac{0.333}{3.833} & \frac{1}{10} & \frac{0.5}{6.5} \\ \frac{0.333}{2.083} & \frac{0.5}{3.833} & \frac{2}{10} & \frac{1}{6.5} \\ \frac{0.160}{2.083} & \frac{0.130}{3.833} & \frac{0.200}{10} & \frac{0.154}{6.5} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.480 & 0.522 & 0.400 & 0.462 \\ 0.240 & 0.261 & 0.300 & 0.308 \\ 0.120 & 0.087 & 0.100 & 0.077 \\ 0.160 & 0.130 & 0.200 & 0.154 \end{bmatrix}$$

Para hallar el vector propio principal se suman los valores de las filas de la matriz de comparaciones pareadas normalizada B.

$$c_{1i} = \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{s_i}$$

$$c_{1i} = \sum_{j=1}^n b_{ij}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1.863 \\ 1.108 \\ 0.384 \\ 0.644 \end{bmatrix}$$

Finalmente, para normalizar el vector propio principal C, se divide cada uno de los valores entre el número de criterios.

$$D = \begin{bmatrix} 0.4658 \\ 0.2771 \\ 0.0959 \\ 0.1610 \end{bmatrix}$$

#### 4.1.4 Cálculo de la razón de la inconsistencia

Esta verificación es una de las características más importantes en el Proceso de Jerarquías Analíticas, ya que mide la consistencia y permite tener una reconsideración en la calidad de los juicios o preferencias sobre los criterios del decisor.

Para el cálculo de este valor propio máximo ( $\lambda_{m\acute{a}x}$ ) se obtiene a partir de la división de los elementos de cada elemento del obtenido del producto de la matriz de comparaciones pareadas A con el vector propio principal normalizado D y los correspondientes elementos del vector propio principal normalizado D. Es decir:

$$E = A \times D$$

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 3 \\ 0.50 & 1 & 3 & 2 \\ 0.25 & 0.33 & 1 & 0.5 \\ 0.33 & 0.50 & 2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.4658 \\ 0.2771 \\ 0.0959 \\ 0.1610 \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} 1.887 \\ 1.120 \\ 0.385 \\ 0.644 \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{bmatrix} \frac{e_{11}}{d_{11}} \\ \frac{e_{12}}{d_{12}} \\ \vdots \\ \frac{e_{1n}}{d_{1n}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} \\ f_{12} \\ \vdots \\ f_{1n} \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \left( \sum_{i=1}^n f_i \right) / n$$

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} \\ e_{12} \\ \vdots \\ e_{1n} \end{bmatrix} \quad \wedge \quad D = \begin{bmatrix} d_{11} \\ d_{12} \\ \vdots \\ d_{1n} \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{bmatrix} 4.051 \\ 4.042 \\ 4.015 \\ 4.016 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 4.03104$$

Luego del cálculo de valor propio máximo se calcula el índice de consistencia que dividido con índice aleatorio de la Tabla 12 se puede fijar la razón de la consistencia. Cuando es menor al 10% se considera que los aprobados los juicios de valor.

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1}$$

$$IC = \frac{4.03104 - 4}{4 - 1}$$

$$IC = 0.010347$$

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

$$RC = \frac{0.010347}{0.89}$$

$$RC = 1.16\%$$

Este valor al ser menor al 10% tal cual se explica en el ítem 2.5.2.5, indica que los juicios de valor emitidos por el decisor en la matriz de comparaciones pareadas son consistentes.

#### 4.1.5 Indicadores y normalización

**4.1.5.1 Volumen perdido (VP).** Este indicador hace referencia a las pérdidas totales (reales y aparentes, expresadas en términos de volumen mensual perdido por longitud de red, este indicador es recomendado el IWA (Alegre et al., 2017). Debido a que este indicador considera los dos tipos de pérdidas (aparentes y reales) las consideraciones para su implementación deben cumplir un porcentaje mínimo de micro medición (95%) tal como se indica en el ítem 3.1.1.

**Tabla 16**

*Criterio volumen de agua perdida de los sectores en estudio*

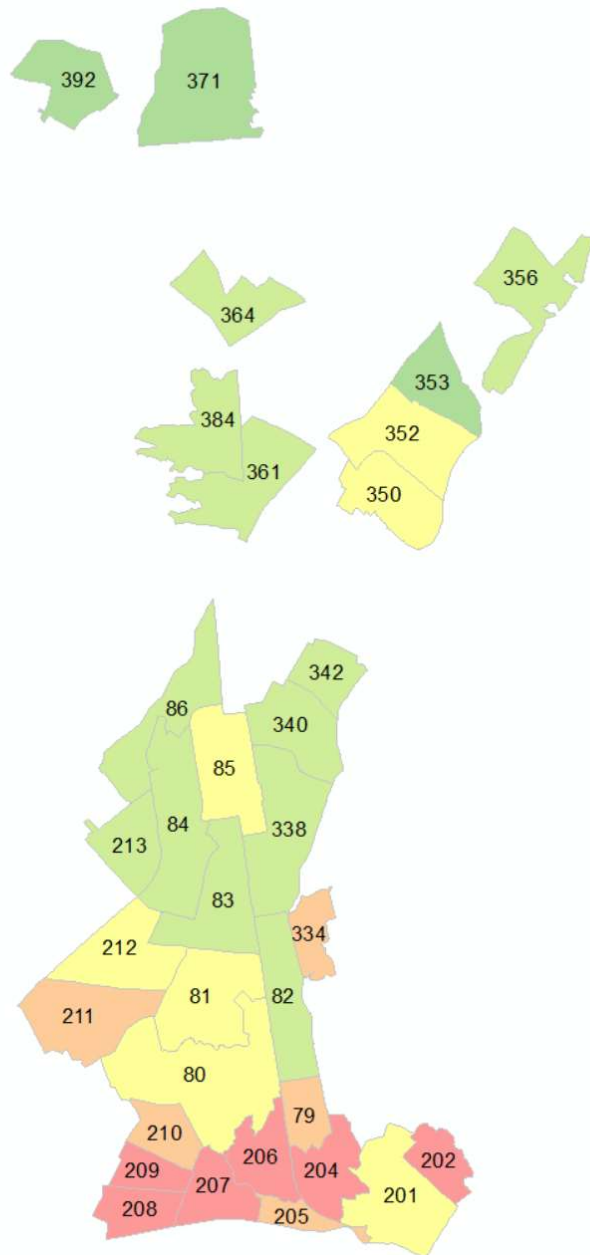
Sector hidráulico	Longitud tuberías (Km)	Volumen perdido mensual (m3/mes)	Volumen perdido (m3/Km/mes)
79	29.20	51056.35	1748.58
80	133.92	168187.89	1255.92
81	73.08	101852.79	1393.66
82	45.40	38031.85	837.72
83	79.79	71181.15	892.07
84	116.07	115064.41	991.30
85	61.69	69804.89	1131.48
86	68.94	65914.86	956.09
201	77.84	99783.29	1281.90
202	33.39	110169.47	3299.71
204	40.02	140181.55	3502.44

<b>Sector hidráulico</b>	<b>Longitud tuberías (Km)</b>	<b>Volumen perdido mensual (m3/mes)</b>	<b>Volumen perdido (m3/Km/mes)</b>
205	24.06	40453.89	1681.41
206	49.39	148425.32	3005.43
207	48.11	160975.41	3345.90
208	42.15	190822.33	4527.26
209	32.99	122598.84	3716.07
210	45.72	108879.13	2381.57
211	87.92	138656.35	1577.02
212	84.02	98784.82	1175.77
213	56.45	52093.37	922.80
334	38.14	69338.54	1818.08
338	87.62	87499.15	998.67
340	69.50	53862.85	775.00
342	44.19	35407.01	801.30
350	72.11	83226.28	1154.22
352	67.74	81322.84	1200.46
353	51.74	30035.20	580.49
356	64.33	42993.62	668.28
361	32.12	29099.14	906.06
364	31.94	30775.03	963.43
371	48.52	11227.53	231.42
384	46.34	40851.38	881.56
392	43.38	17177.50	396.00

*Nota: Elaboración propia.*

**Figura 22**

Sectores en estudio, diferenciados por el volumen perdido (m<sup>3</sup>/Km/mes).



*Nota: Elaboración propia.*

En la Tabla 17 se muestra los rangos del criterio volumen perdido de los sectores en estudio, su asignación de los valores numéricos y su normalización.

**Tabla 17**

Rangos del criterio volumen perdido, indicador (I) y valor normalizado (N).

Criterio	m3/Km/mes	I	N
Volumen perdido	0-1000	1	0
	1000-2000	2	0.75
	2000-3000	3	1.5
	3000-4000	4	2.25
	4000-5000	5	3

Nota: Elaboración propia.

**4.1.5.2 Vida útil remanente (VUR).** Para el cálculo de vida útil remanente se utilizará la metodología descrita en el ítem 2.3.2.5.4, dicha metodología es empleada por SEDAPAL para tener una referencia sobre la vida útil remanente en tramos de tubería, pero al tratarse de un grupo de tuberías, para cada variable se considerará el promedio ponderado de la variable con la longitud de la tubería.

**Tabla 18**

Criterio vida útil remanente de los sectores en estudio

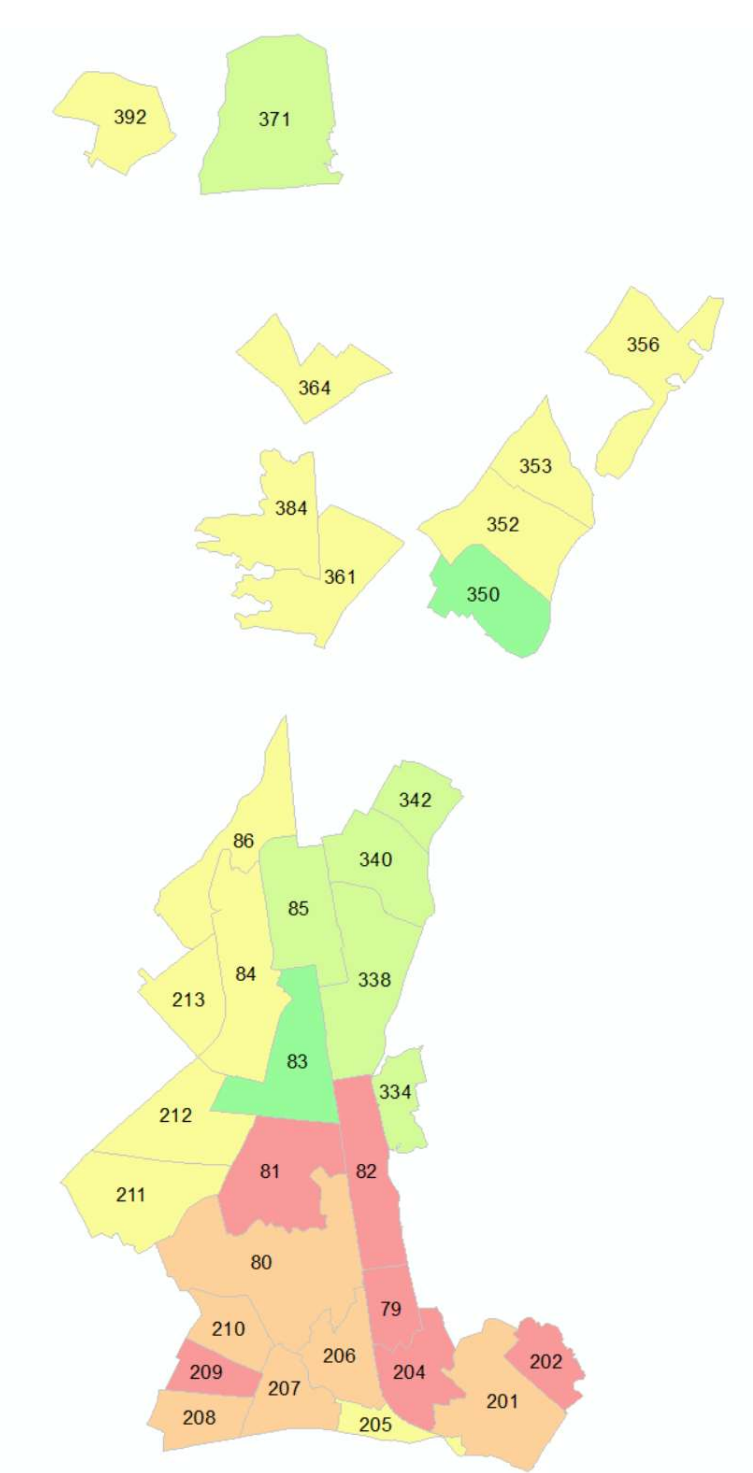
Sector hidráulico	Vida útil proyectada (Vp)	Probabilidad de supervivencia (Ps)	Coefficiente de mantenimiento (Km)	Incidencias (N°/año)	Coefficiente de incidencias (Ki)	Vida Útil (VU)	Edad de la red (Vr)	Vida útil remanente (VUR)
79	65.62	0.75	1.00	4.00	0.90	44.3	39.9	4.42
80	66.93	0.85	1.00	19.00	0.90	51.2	33.5	17.71
81	65.84	0.75	1.00	11.00	0.90	44.4	40.3	4.18
82	66.45	0.75	1.00	4.40	0.95	47.3	40.8	6.55
83	90.88	0.95	1.00	6.20	0.95	82.0	10.1	71.91
84	72.30	0.90	1.00	10.60	0.95	61.8	21.9	39.87
85	85.58	0.95	1.00	7.00	0.90	73.2	12.2	60.93
86	74.45	0.90	1.00	7.60	0.90	60.3	20.6	39.66
201	71.84	0.85	1.00	21.20	0.90	55.0	35.0	19.97
202	70.93	0.75	1.00	9.60	0.90	47.9	42.8	5.06
204	66.12	0.70	1.00	9.00	0.90	41.7	47.5	-5.82
205	65.10	0.90	1.00	3.80	0.90	52.7	19.8	32.94
206	65.66	0.85	1.00	16.80	0.90	50.2	34.5	15.74
207	65.49	0.85	1.00	6.60	0.90	50.1	28.6	21.47
208	75.37	0.75	1.00	6.60	0.90	50.9	35.1	15.78
209	67.71	0.70	1.00	14.40	0.90	42.7	48.0	-5.34
210	68.81	0.85	1.00	10.40	0.90	52.6	33.6	19.02
211	65.00	0.90	1.00	5.80	0.95	55.6	23.4	32.17
212	67.84	0.90	1.00	6.60	0.95	58.0	22.0	35.96
213	70.02	0.90	1.00	9.20	0.90	56.7	16.9	39.83
334	79.24	0.90	1.00	3.60	0.95	67.8	19.5	48.28

Sector hidráulico	Vida útil proyectada (Vp)	Probabilidad de supervivencia (Ps)	Coefficiente de mantenimiento (Km)	Incidencias (Nº/año)	Coefficiente de incidencias (Ki)	Vida Útil (VU)	Edad de la red (Vr)	Vida útil remanente (VUR)
338	87.36	0.90	1.00	9.00	0.90	70.8	15.9	54.90
340	83.22	0.90	1.00	3.00	0.95	71.2	16.8	54.35
342	84.60	0.90	1.00	4.00	0.95	72.3	17.4	54.90
350	92.38	0.95	1.00	5.40	0.95	83.4	7.9	75.49
352	71.36	0.90	1.00	10.00	0.90	57.8	18.6	39.25
353	66.18	0.90	1.00	4.80	0.95	56.6	18.7	37.86
356	69.25	0.90	1.00	12.60	0.90	56.1	19.4	36.74
361	71.11	0.90	1.00	2.60	0.95	60.8	15.8	45.02
364	73.11	0.90	1.00	3.40	0.90	59.2	23.6	35.63
371	65.53	0.95	1.00	4.00	0.95	59.1	9.0	50.14
384	68.01	0.90	1.00	1.60	0.95	58.1	17.9	40.21
392	66.49	0.95	1.00	13.00	0.90	56.8	13.8	43.02

Nota: Elaboración propia.

**Figura 23**

*Sectores en estudio, diferenciados por vida útil remanente (años)*



*Nota: Elaboración propia.*

En la Tabla 19 se muestra los rangos del criterio vida útil remanente de los sectores en estudio, su asignación de los valores numéricos y su normalización.

**Tabla 19**

*Rangos del criterio vida útil remanente, indicador (I) y valor normalizado (N).*

<b>Criterio</b>	<b>Años</b>	<b>I</b>	<b>N</b>
Vida útil remanente	64-80	1	0
	48-64	2	0.6
	32-48	3	1.2
	16-32	4	1.8
	0-16	5	2.4
	< 0	6	3

*Nota: Elaboración propia.*

**4.1.5.3 Presión promedio (PP).** Como se vio en el ítem 2.3.3, la gestión de la infraestructura es una medida que se emplea después de intervenir al sector gestionando sus presiones a las mínimas requeridas por el usuario más desfavorable, reduciendo el tiempo de atención de los incidentes y buscando activamente a las fugas. Este es el caso de los sectores en estudio porque las presiones de ingreso al sector cumplen con la condición antes mencionada.

**Tabla 20**

*Criterio presión promedio de los sectores en estudio*

<b>Sector hidráulico</b>	<b>Presión promedio (m.c.a.)</b>
79	11.2
80	8.5
81	11.0
82	18.1
83	26.1
84	27.3
85	25.8
86	22.1
201	16.0
202	18.9
204	16.4
205	12.8
206	33.1
207	19.1

---

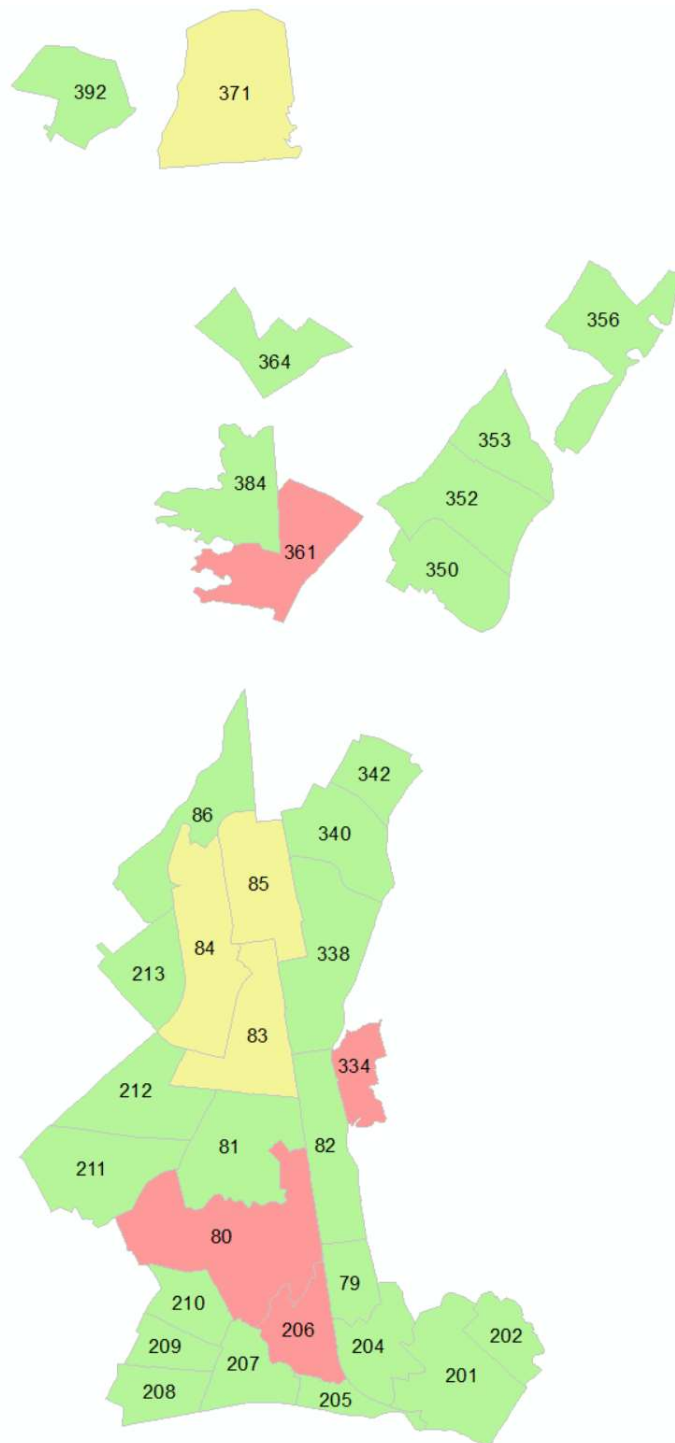
<b>Sector hidráulico</b>	<b>Presión promedio (m.c.a.)</b>
208	11.4
209	13.6
210	15.0
211	12.0
212	17.9
213	21.0
334	37.3
338	18.7
340	16.2
342	17.1
350	22.9
352	21.3
353	21.6
356	22.0
361	32.5
364	21.3
371	28.4
384	23.7
392	18.7

---

*Nota: Elaboración propia.*

**Figura 24**

*Sectores en estudio, diferenciados por presión promedio (mca).*



*Nota: Elaboración propia.*

En la Tabla 21 se muestra los rangos del criterio presión promedio de los sectores en estudio, su asignación de los valores numéricos y su normalización.

**Tabla 21**

*Rangos del criterio presión promedio, indicador (I) y valor normalizado (N).*

<b>Criterio</b>	<b>m.c.a.</b>	<b>I</b>	<b>N</b>
Presión promedio	0 a 10	5	3
	10 a 16	1	0
	16 a 22	2	0.75
	22 a 28	3	1.5
	28 a 34	4	2.25
	34 a 40	5	3

*Nota: Elaboración propia.*

**4.1.5.4 Roturas del sector (RS).** La empresa SEDAPAL que forma parte de la parte de la aplicación de esta investigación tiene un sistema de información sobre incidencias donde se almacena la información sobre incidencias tanto en agua y desagüe que forman parte de la operación y mantenimiento del sistema.

Estas incidencias están vinculadas a un número de suministro (NIS) que identifica a cada usuario. En lo que implica al sistema de agua se tomaron las roturas de sistema propiamente por roturas hidráulicas mas no por roturas ocurridas por terceras.

**Tabla 22**

*Criterio roturas del sistema de los sectores en estudio*

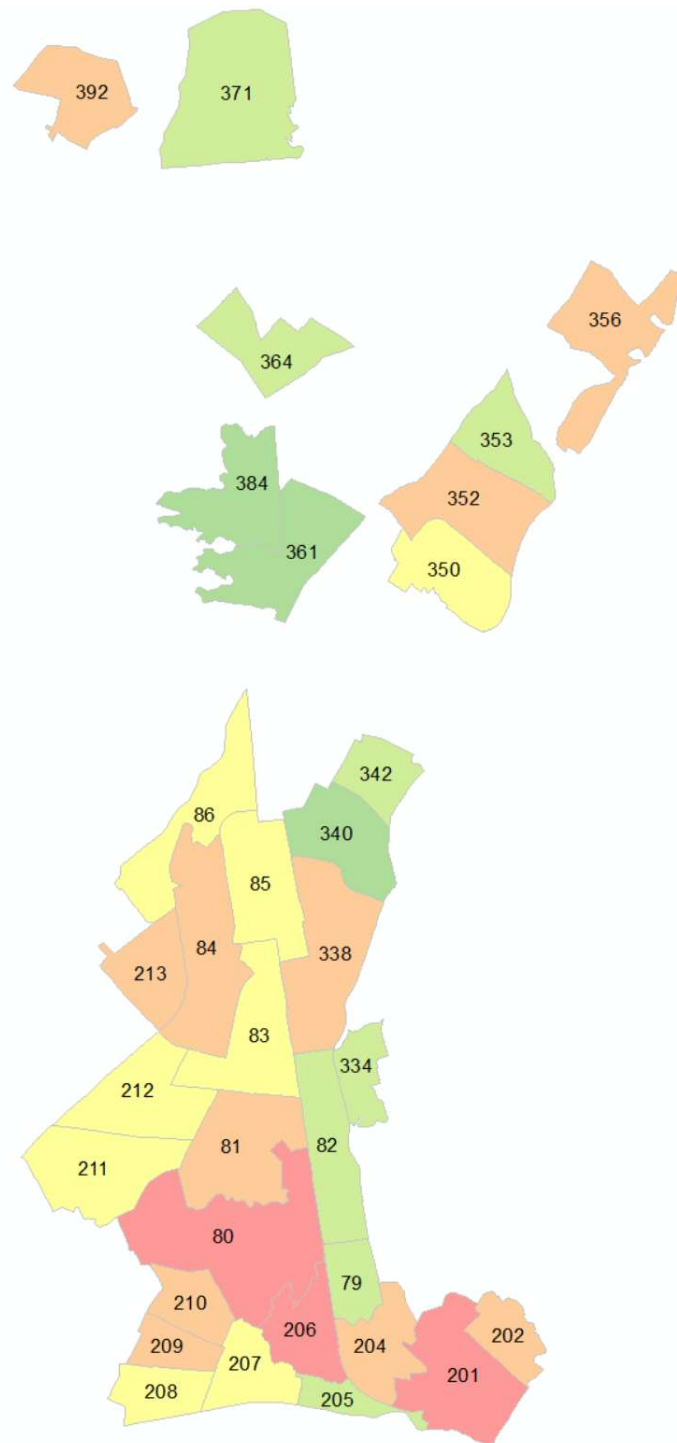
<b>Sector hidráulico</b>	<b>Número de Incidencias (2019)</b>	<b>Número de Incidencias (2020)</b>	<b>Número de Incidencias (2021)</b>	<b>Número de Incidencias (2022)</b>	<b>Número de Incidencias (2023)</b>
79	6	4	2	4	4
80	21	23	19	21	11
81	10	18	11	8	8
82	1	5	4	3	9
83	16	5	2	4	4
84	12	6	8	9	18
85	16	7	2	5	5
86	8	11	4	8	7
201	24	26	21	19	16

<b>Sector hidráulico</b>	<b>Número de Incidencias (2019)</b>	<b>Número de Incidencias (2020)</b>	<b>Número de Incidencias (2021)</b>	<b>Número de Incidencias (2022)</b>	<b>Número de Incidencias (2023)</b>
202	6	8	16	4	14
204	4	20	10	3	8
205	1	9	4	0	5
206	17	23	16	8	20
207	18	5	5	3	2
208	3	3	9	9	9
209	5	28	9	5	25
210	4	19	6	10	13
211	4	3	4	9	9
212	6	11	5	3	8
213	14	10	10	10	2
334	3	4	5	3	3
338	2	16	12	7	8
340	0	4	2	4	5
342	1	11	2	1	5
350	4	2	7	3	11
352	12	8	13	8	9
353	8	4	5	3	4
356	10	10	9	13	21
361	3	1	3	3	3
364	3	3	3	6	2
371	7	6	1	6	0
384	3	1	1	1	2
392	12	17	11	10	15

*Nota: Elaboración propia.*

**Figura 25**

Sectores en estudio, diferenciados por número de incidencias (N°/año)



*Nota: Elaboración propia.*

En la Tabla 23 se muestra los rangos del criterio roturas del sistema de los sectores en estudio, su asignación de los valores numéricos y su normalización.

**Tabla 23**

*Rangos del criterio roturas del sistema, indicador (I) y valor normalizado (N).*

Criterio	Nº/año	I	N
Roturas del sector	0 a 6	1	0
	6 a 12	2	0.75
	12 a 18	3	1.5
	18 a 24	4	2.25
	24 a 30	5	3

*Nota:* Elaboración propia.

#### 4.1.6 Cuadro resumen

En la Tabla 24 se resume los criterios y pesos ponderados obtenidos mediante el proceso de jerarquía analítica (AHP). Se presentan los indicadores utilizados, su normalización y los valores aplicados a nivel de sectores.

**Tabla 24**

*Resumen de criterios y pesos ponderados para cada sector.*

Criterio	Wi	Valores	I	N	Wi x N
Volumen Perdido (m3/Km/mes)	0.466	0-1000	1	0	0.000
		1000-2000	2	0.75	0.349
		2000-3000	3	1.5	0.699
		3000-4000	4	2.25	1.048
		4000-5000	5	3	1.397
Vida útil Remanente (Años)	0.277	64-80	1	0	0.000
		48-64	2	0.6	0.166
		32-48	3	1.2	0.333
		16-32	4	1.8	0.499
		0-16	5	2.4	0.665
		< 0	6	3	0.831
Presión promedio (m.c.a.)	0.096	0 a 10	5	3	0.288
		10 a 20	1	0	0.000
		20 a 30	2	0.75	0.072
		30 a 40	3	1.5	0.144
		40 a 50	4	2.25	0.216
		50 a 60	5	3	0.288
Roturas del sector (Nº)	0.161	0 a 6	1	0	0.000
		6 a 12	2	0.75	0.121
		12 a 18	3	1.5	0.242
		18 a 24	4	2.25	0.362
		24 a 30	5	3	0.483

*Nota:* Elaboración propia.

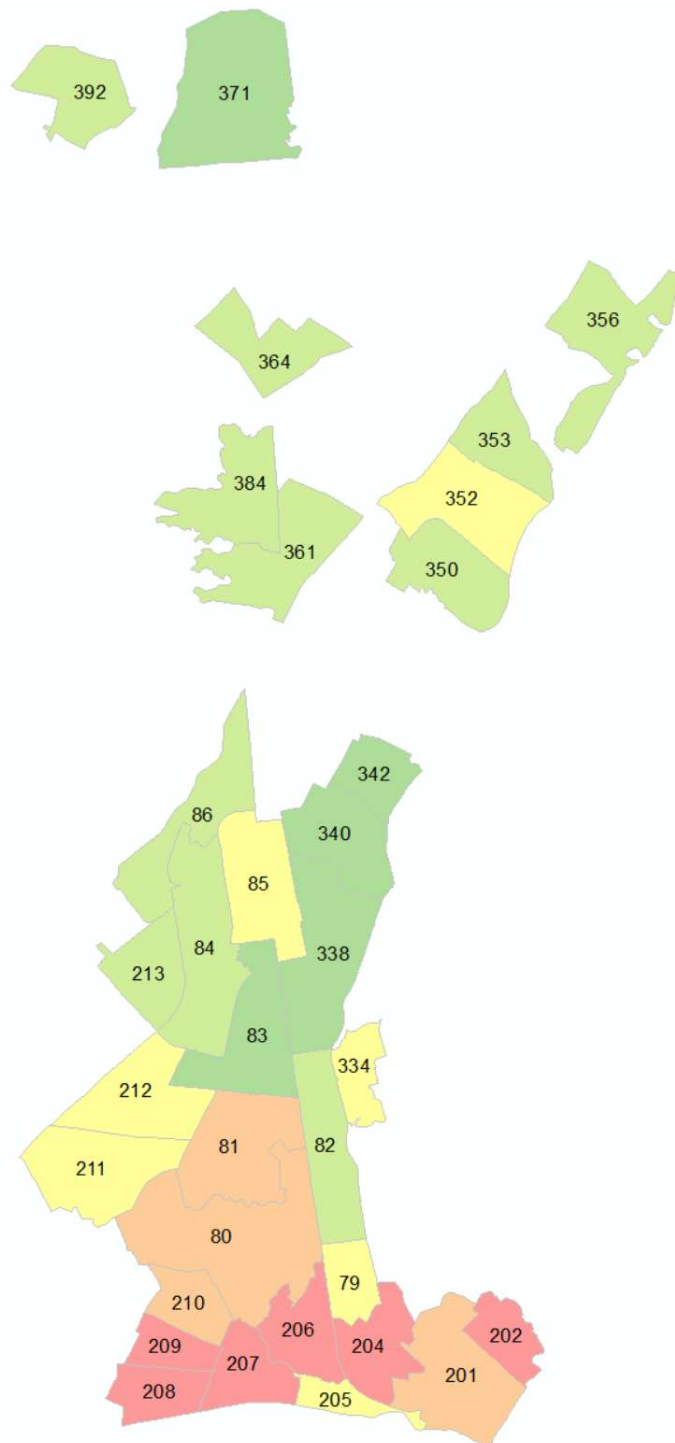
#### **4.1.7 Plano temático**

El mapa temático representa la distribución de la criticidad en los sectores hidráulicos. Para ello, se ha aplicado una escala de colores en la que:

- Rojo (Alta Criticidad): Indica los sectores con mayor nivel de criticidad, donde las condiciones de la infraestructura y el servicio presentan mayores deficiencias. Estos sectores requieren intervención prioritaria, ya que pueden estar asociados con alto volumen de agua perdida, baja o elevada presión promedio, menor vida útil de las tuberías o un mayor número de roturas.
- Naranja y Amarillo (Criticidad Moderada): Representan niveles intermedios de criticidad. Son sectores con condiciones moderadas de afectación, donde es recomendable realizar un monitoreo constante y planificar intervenciones a mediano plazo.
- Verde (Baja Criticidad): Señala los sectores con menor nivel de criticidad. En estas zonas, las condiciones de la infraestructura y el servicio son más estables, con menor urgencia de intervención.

**Figura 26**

*Sectores en estudio, diferenciando según su criticidad.*



*Nota: Elaboración propia.*

La Figura 26 muestra un mapa temático con la distribución espacial de los sectores analizados, clasificados según su nivel de criticidad en relación con la necesidad de rehabilitación de redes de distribución de agua potable. El degradado de colores va desde el verde (baja criticidad) hasta el rojo intenso (alta criticidad), permitiendo identificar visualmente las zonas que requieren mayor atención.

Se observa que los sectores ubicados en la zona sur del área de estudio presentan los mayores niveles de criticidad. En particular, el sector 208 destaca como el más crítico de todos, representado con un color rojo intenso. Este resultado indica una alta prioridad de intervención debido a condiciones desfavorables como mayores tasas de rotura, pérdida significativa de agua, baja presión promedio y reducida vida útil remanente de sus componentes.

Por otro lado, los sectores localizados hacia la zona norte y centro-norte, como los sectores 371, 342 y 338, presentan condiciones más favorables, reflejadas en tonalidades verdes, lo que sugiere un menor grado de urgencia para su rehabilitación.

Este mapa temático constituye una herramienta visual clave para la toma de decisiones, ya que permite a los equipos de operación y mantenimiento focalizar sus esfuerzos en las zonas con mayor necesidad de intervención, optimizando así el uso de recursos disponibles.

## 4.2 Aplicación del Proceso de Jerarquías Analíticas (AHP) en tramos del sector crítico

### 4.2.1 Criterios

Son la parte fundamental de Proceso de Jerarquías Analíticas porque sirven como base para la comparación y asignación de juicios de valor.

Las características expuestas en el ítem 3.4 en conjunto muestran el estado de las tuberías que forman parte del sector crítico determinado en el ítem 4.1. Ahora se presentan las características que servirán como criterios para la determinación de los tramos críticos. Los criterios considerados para la presente investigación son:

- Capacidad hidráulica (CH)
- Vulnerabilidad (V)
- Tasa de roturas (TR)
- Vida útil remanente (VUR)

### 4.2.2 Matriz de comparaciones pareadas de criterios

Para comparar a los criterios se usó a escala de valores numéricos de la Tabla 11 y cada valor representa las preferencias de los criterios del decisor.

**Tabla 25**

*Matriz de comparación de criterios A'*

Criterios	CH	V	TR	VUR
CH	1	3	4	1/2
V	1/3	1	1/2	1/4
TR	1/4	2	1	1/5
VUR	2	4	5	1

### 4.2.3 Vector propio principal

El cálculo de del vector propio principal de la matriz de comparaciones pareadas significa el orden de priorización y se calcula sumando los valores de cada fila de la matriz de comparaciones normalizada.

Para el cálculo de la matriz de comparaciones normalizada se suman los valores de cada columna de la matriz de comparaciones pareadas.

$$s_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}$$

Criterios	CH	V	TR	VUR
CH	1	3	4	1/2
V	1/3	1	1/2	1/4
TR	1/4	2	1	1/5
VUR	2	4	5	1
<b>Sj</b>	3.583	10	10.5	1.95

Luego a cada valor de la matriz A' se le divide su correspondiente valor de la sumatoria de la columna.

$$B' = \begin{bmatrix} \frac{1}{3.583} & \frac{3}{10} & \frac{4}{10.5} & \frac{0.5}{1.95} \\ \frac{0.333}{3.583} & \frac{1}{10} & \frac{0.5}{10.5} & \frac{0.25}{1.95} \\ \frac{0.25}{3.583} & \frac{2}{10} & \frac{1}{10.5} & \frac{0.2}{1.95} \\ \frac{2}{3.583} & \frac{4}{10} & \frac{5}{10.5} & \frac{1}{1.95} \\ \frac{1}{3.583} & \frac{3}{10} & \frac{4}{10.5} & \frac{0.5}{1.95} \end{bmatrix}$$

$$B' = \begin{bmatrix} 0.279 & 0.300 & 0.381 & 0.256 \\ 0.093 & 0.100 & 0.048 & 0.128 \\ 0.070 & 0.200 & 0.095 & 0.103 \\ 0.558 & 0.400 & 0.476 & 0.513 \end{bmatrix}$$

Para hallar el vector propio principal se suman los valores de las filas de la matriz de comparaciones pareadas normalizada B'.

$$c_{1i} = \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{s_i}$$

$$c_{1i} = \sum_{j=1}^n b_{ij}$$

$$C' = \begin{bmatrix} 1.216 \\ 0.368 \\ 0.467 \\ 1.947 \end{bmatrix}$$

Finalmente, para normalizar el vector propio principal C', se divide cada uno de los valores entre el número de criterios.

$$D' = \begin{bmatrix} 0.3041 \\ 0.0922 \\ 0.1168 \\ 0.4867 \end{bmatrix}$$

#### 4.2.4 Cálculo de la razón de la inconsistencia

Esta verificación es una de las características más importantes en el Proceso de Jerarquías Analíticas, ya que mide la consistencia y permite tener una reconsideración en la calidad de los juicios o preferencias sobre los criterios del decisor.

Para el cálculo de este valor propio máximo ( $\lambda_{m\acute{a}x}$ ) se obtiene a partir de la división de los elementos de cada elemento del obtenido del producto de la matriz de comparaciones pareadas A' con el vector propio principal normalizado D' y los correspondientes elementos del vector propio principal normalizado D'. Es decir:

$$E' = A' \times D'$$

$$E' = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 & 0.5 \\ 0.33 & 1 & 0.5 & 0.25 \\ 0.25 & 2 & 1 & 0.2 \\ 2 & 4 & 5 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.3041 \\ 0.0922 \\ 0.1169 \\ 0.4868 \end{bmatrix}$$

$$E' = \begin{bmatrix} 1.291 \\ 0.373 \\ 0.474 \\ 2.048 \end{bmatrix}$$

$$F' = \begin{bmatrix} \frac{e_{11}}{d_{11}} \\ \frac{e_{12}}{d_{12}} \\ \vdots \\ \frac{e_{1n}}{d_{1n}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} \\ f_{12} \\ \vdots \\ f_{1n} \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \left( \sum_{i=1}^n f_i \right) / n$$

$$E' = \begin{bmatrix} e_{11} \\ e_{12} \\ \vdots \\ e_{1n} \end{bmatrix} \quad \wedge \quad D' = \begin{bmatrix} d_{11} \\ d_{12} \\ \vdots \\ d_{1n} \end{bmatrix}$$

$$F' = \begin{bmatrix} 4.247 \\ 4.052 \\ 4.061 \\ 4.207 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 4.142309$$

Luego del cálculo de valor propio máximo se calcula el índice de consistencia que dividido con índice aleatorio de la Tabla 12 se puede fijar la razón de la consistencia.

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1}$$

$$IC = \frac{4.142309 - 4}{4 - 1}$$

$$IC = 0.047436$$

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

$$RC = \frac{0.047436}{0.89}$$

$$RC = 5.33\%$$

Este valor al ser menor al 10% tal cual se indica en el ítem 2.5.2.5, indica que los juicios de valor emitidos por el decisor en la matriz de comparaciones pareadas son consistentes.

#### **4.2.5 Indicadores y normalización**

**4.2.5.1 Capacidad hidráulica (CH).** Este indicador determina qué tramos de la red tienen la capacidad adecuada para combatir incendios, asumiendo una demanda adicional por hidrante. Para ello, se realiza un análisis individual de cada hidrante, considerando esta demanda adicional sobre la demanda correspondiente al consumo en hora pico.

Para el presente trabajo de investigación siguientes restricciones:

- Caudal requerido para satisfacer la demanda de un incendio 250 GPM.
- El caudal contra incendio se adicione a la demanda para el servicio en la hora pico.
- La presión requerida en el hidrante sea 5 m.c.a.
- La presión mínima zonal que se producirá en este escenario será de 5 m.c.a. asegurando así la continuidad del servicio.
- La velocidad máxima cuando ocurra el escenario será como máximo 3m/s.

En cada análisis de hidrante, se evalúa en cada tramo de tuberías y nodos las restricciones hidráulicas antes mencionadas para verificar que la red pueda suministrar el caudal requerido sin afectar su funcionamiento. Esto incluye la revisión de presiones mínimas, pérdidas de carga y posibles limitaciones en la capacidad de los tramos (velocidad)

**Figura 27**

*Red de distribución de agua potable del sector 208, diferenciando las tuberías según su capacidad hidráulica.*



*Nota: Elaboración propia*

En la Tabla 26 se muestra los rangos del criterio capacidad hidráulica de los tramos del sector crítico, su asignación de los valores numéricos y su normalización.

**Tabla 26**

*Rangos del criterio capacidad hidráulica, indicador (I) y valor normalizado (N).*

<b>Criterio</b>	<b>m/s</b>	<b>I</b>	<b>N</b>
Capacidad hidráulica (m/s)	0.00 a 0.75	1	0
	0.75 a 1.50	2	0.75
	1.50 a 2.25	3	1.5
	2.25 a 3.00	4	2.25
	3.00 a 3.75	5	3

*Nota: Elaboración propia*

**4.2.5.2 Vulnerabilidad (V).** Este indicador evalúa la influencia de cada tramo de tubería en el sistema de distribución, determinando su impacto en caso de falla. Para ello, analiza el efecto de la interrupción de cada tramo en la red y mide las consecuencias en la demanda. Si la falla de un tramo impide satisfacer la demanda de los usuarios, el sistema calcula la cantidad de agua que no puede ser entregada a los nodos afectados, permitiendo identificar los sectores más vulnerables y críticos dentro de la red.

**Figura 28**

*Red de distribución de agua potable del sector 208, diferenciando las tuberías según su vulnerabilidad.*



*Nota: Elaboración propia*

En la Tabla 27 se muestra los rangos del criterio vulnerabilidad de los tramos del sector crítico, su asignación de los valores numéricos y su normalización.

**Tabla 27**

*Rangos del criterio vulnerabilidad, indicador (I) y valor normalizado (N).*

<b>Criterio</b>	<b>%</b>	<b>I</b>	<b>N</b>
Vulnerabilidad (%)	0 - 20	1	0
	20 - 40	2	0.75
	40 - 60	3	1.5
	60 - 80	4	2.25
	80 - 100	5	3

*Nota: Elaboración propia*

**4.2.5.3 Tasa de roturas (TR).** Este indicador mide la frecuencia de roturas en las tuberías de una red de distribución de agua, permitiendo evaluar su confiabilidad y riesgo de rotura. El cálculo se basa en el historial de roturas registradas en cada tramo de la tubería, considerando su longitud y el período de observación.

**Figura 29**

*Red de distribución de agua potable del sector 208, diferenciando las tuberías según su tasa de roturas.*



*Nota: Elaboración propia*

En la Tabla 28 se muestra los rangos del criterio tasa de roturas de los tramos del sector crítico, su asignación de los valores numéricos y su normalización.

**Tabla 28**

*Rangos del criterio tasa de roturas, indicador (I) y valor normalizado (N).*

Criterio	Roturas/año/Km	I	N
Tasa de roturas (Roturas/año/Km)	0 - 0.261	1	0
	0.261 - 0.521	2	0.75
	0.521 - 0.782	3	1.5
	0.782 - 1.042	4	2.25
	1.042 - 1.303	5	3

*Nota: Elaboración propia*

**4.2.5.4 Vida útil remanente (VUR).** Para el cálculo de vida útil remanente se utilizará la metodología descrita en el ítem 2.3.2.5.4, dicha metodología es empleada por SEDAPAL para tener una referencia sobre la vida útil remanente en tramos de tubería.

**Figura 30**

*Red de distribución de agua potable del sector 208, diferenciando las tuberías según su vida útil remanente.*



*Nota: Elaboración propia*

En la Tabla 29 se muestra los rangos del criterio vida útil remanente de los tramos del sector crítico, su asignación de los valores numéricos y su normalización.

**Tabla 29**

*Rangos del criterio Vida Útil Remanente, indicador (I) y valor normalizado (N).*

<b>Criterio</b>	<b>años</b>	<b>I</b>	<b>N</b>
Vida útil remanente (años)	0	5	3
	25	4	2.25
	50	3	1.5
	75	2	0.75
	100	1	0

*Nota: Elaboración propia*

#### **4.2.6 Cuadro resumen**

En la Tabla 30 se resume los criterios y pesos ponderados obtenidos mediante el proceso de jerarquía analítica (AHP). Se presentan los indicadores utilizados, su normalización y los valores aplicados a nivel de tramos.

**Tabla 30***Resumen de criterios y pesos ponderados para cada tramo.*

<b>Criterio</b>	<b>Wi</b>	<b>Valores</b>	<b>I</b>	<b>N</b>	<b>Wi x N</b>
Capacidad hidráulica (m/s)	0.304	0.00 a 0.75	1	0	0.000
		0.75 a 1.50	2	0.75	0.228
		1.50 a 2.25	3	1.5	0.456
		2.25 a 3.00	4	2.25	0.684
		3.00 a 3.75	5	3	0.912
Vulnerabilidad (%)	0.092	0 - 20	1	0	0.000
		20 - 40	2	0.75	0.069
		40 - 60	3	1.5	0.138
		60 - 80	4	2.25	0.207
		80 - 100	5	3	0.276
Tasa de roturas (Roturas/año/Km)	0.117	0 - 0.261	1	0	0.000
		0.261 - 0.521	2	0.75	0.088
		0.521 - 0.782	3	1.5	0.176
		0.782 - 1.042	4	2.25	0.263
		1.042 - 1.303	5	3	0.351
Vida útil remanente (años)	0.487	0	5	3	1.461
		25	4	2.25	1.096
		50	3	1.5	0.731
		75	2	0.75	0.365
		100	1	0	0.000

*Nota: Elaboración propia*

#### **4.2.7 Plano temático**

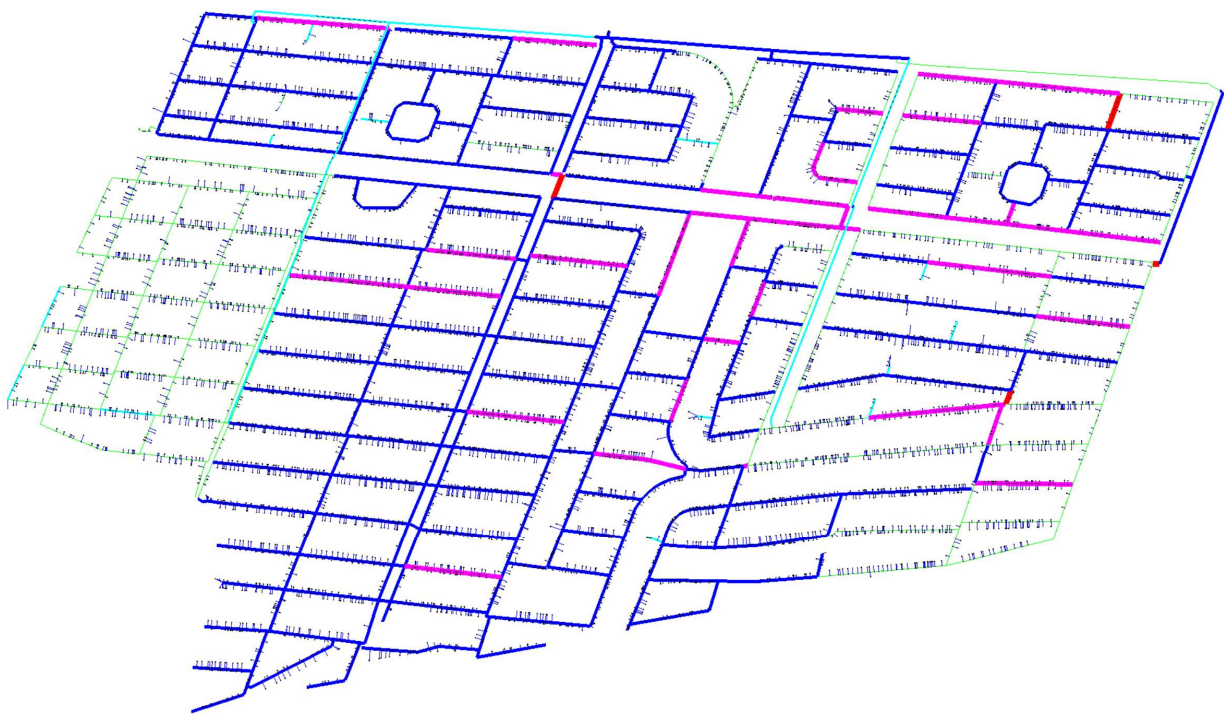
El mapa temático representa la criticidad de los tramos del sector con mayor criticidad, para ello, se ha aplicado una escala de colores en la que:

- Rojo (Alta Criticidad): Sectores con capacidad hidráulica limitada, alta vulnerabilidad estructural, elevada tasa de roturas y reducida vida útil remanente. Estas zonas presentan un alto riesgo de fallas y deben ser priorizadas en los planes de rehabilitación y mantenimiento.

- Rosado y azul (Críticidad Moderada): Sectores con condiciones intermedias, donde alguno de los factores críticos aún no alcanza niveles de alarma, pero es recomendable un monitoreo constante y acciones preventivas a mediano plazo.
- Verde (Baja Críticidad): Sectores con buena capacidad hidráulica, baja vulnerabilidad, menor frecuencia de roturas y una vida útil remanente aceptable. En estas áreas, la infraestructura es más estable y no se requiere una intervención inmediata.

**Figura 31**

*Red de distribución de agua potable del sector 208, diferenciando las tuberías según su criticidad.*



*Nota: Elaboración propia*

La Figura 31 muestra el análisis detallado a nivel de tramos dentro del sector 208, identificado previamente como el más crítico. El mapa presenta un degradado de colores sobre la red de distribución, que refleja el nivel de prioridad para la rehabilitación de cada tramo.

## Conclusiones

Se diseñó y aplicó una herramienta metodológica que permite priorizar sectores a intervenir y determinar los tramos de la red que requieren rehabilitación o renovación. Esta herramienta proporciona un enfoque estructurado para la toma de decisiones en la gestión patrimonial de las redes de distribución, optimizando los recursos y mejorando la planificación de mantenimiento.

El estudio permitió evidenciar la problemática actual en la gestión del agua, resaltando la necesidad de estrategias que contribuyan a la sostenibilidad del recurso a largo plazo. La optimización de las redes de distribución mediante intervenciones planificadas no solo mejora la eficiencia hidráulica, sino que también reduce las pérdidas de agua, aumentando la eficiencia física del sistema.

Se identificaron y analizaron criterios técnicos clave que permiten caracterizar la funcionalidad óptima de los sectores y sus tramos, considerando factores como volumen perdido, vida útil remanente, tasa de rotura, niveles de presión, capacidad hidráulica y vulnerabilidad. Estos criterios sirvieron como base para priorizar intervenciones y mejorar el desempeño del sistema de distribución.

Se implementó el Proceso de Jerarquías Analíticas (AHP) para la identificación de sectores y tramos críticos dentro de la red de distribución. Esta metodología permitió establecer un esquema de priorización basado en múltiples factores técnicos y operativos, asegurando que las intervenciones se realicen en las zonas con mayor impacto en la eficiencia del sistema.

La metodología desarrollada fue aplicada en los sectores administrados por el Equipo de Operación y Mantenimiento de Redes de Comas – SEDAPAL, demostrando su efectividad en la identificación de zonas críticas y optimización de intervenciones. Los resultados obtenidos validaron la utilidad de la herramienta como un apoyo en la gestión operativa de la red.

A partir del análisis y aplicación de la metodología, se propuso una estandarización del procedimiento para reducir las pérdidas reales en SEDAPAL. Este enfoque permitirá mejorar la gestión del recurso hídrico, optimizar la facturación y reducir las pérdidas en la red, beneficiando tanto a la empresa como a los usuarios finales.

## Recomendaciones

Se recomienda complementar la metodología con un análisis económico-financiero que permita establecer criterios de costo-beneficio para determinar el momento óptimo de rehabilitación o reemplazo de una tubería. Factores como costos de mantenimiento correctivo y costo de rehabilitación pueden incorporarse en la metodología para mejorar la toma de decisiones.

Dado que la metodología fue aplicada en el Equipo de Operación y Mantenimiento de Redes de Comas - SEDAPAL, se recomienda recalibrar los criterios de evaluación si se desea replicar el estudio en sectores con características hidráulicas, operativas y socioeconómicas distintas. Factores como densidad poblacional, disponibilidad de fuentes de agua y condiciones climáticas pueden influir en la priorización de sectores y tramos a intervenir.

Para ampliar la aplicabilidad del estudio, se sugiere ajustar los criterios de priorización para empresas prestadoras de otros contextos. Cada Empresa Prestadora de Servicio (EPS) puede tener diferentes niveles de pérdidas de agua, capacidad de inversión y normativas internas, lo que requiere un análisis específico para optimizar su gestión patrimonial.

Además de los criterios hidráulicos y estructurales, se recomienda incluir indicadores de calidad del agua, como niveles de cloro residual, turbidez y presencia de contaminantes, ya que una mala calidad del agua puede influir en la priorización de sectores a intervenir.

Para mejorar la planificación de rehabilitación, se sugiere explorar el uso de modelos de predicción de roturas utilizando algoritmos de machine learning, los cuales pueden optimizar la identificación de tuberías críticas basadas en patrones históricos de roturas, presiones, caudales y otras variables operativas.

Se recomienda realizar un seguimiento a largo plazo en las áreas donde se aplique la metodología para evaluar su impacto en la reducción del agua no facturada. Esto

permitirá validar su efectividad en la recuperación de volúmenes perdidos y en la mejora de la eficiencia del sistema de distribución.

Finalmente, para facilitar la adopción de la metodología en diferentes EPS o Centros de Servicio, se recomienda diseñar un plan de implementación gradual que permita validar su efectividad en fases piloto antes de su aplicación a gran escala.

## Referencias bibliográficas

- Alegre, H., Cabrera, E., Duarte, P., Merkel, W., Melo Baptista, J., Cubillo, F., Hirner, W., & Parena, R. (2017). *Performance Indicators for Water Supply Services* (Third). IWA Publishing.
- American Water Works Association. (1999). *Calibration Guidelines for Water Distribution System Modeling*. Proceeding of Informatic Management and Technology Conference, New Orleans.
- Arán, J. (2008). *Modelo de análisis espacial para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio en la ubicación de centrales fotovoltaicas conectadas a red* [Tesis Doctoral]. Departamento de Ingeniería Civil - Universidad de Granada.
- Bartolín, H. (2013). *Confeción de modelos de redes de distribución de agua desde un SIG y desarrollo de herramientas de apoyo a la toma de decisiones* [Tesis Doctoral]. Universitat Politècnica de València.
- Cabral, M., Loureiro, D., & Covas, D. (2019). Using economic asset valuation to meet rehabilitation priority needs in the water sector. *Urban Water Journal*, 16(3), 205–214. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1648528>
- Cassa, A. M., Van Zyl, J. E., & Laubscher, R. F. (2010). A numerical investigation into the effect of pressure on holes and cracks in water supply pipes. *Urban Water Journal*, 7(2), 109–120. <https://doi.org/10.1080/15730620903447613>
- Comisión Nacional del Agua. (2010a). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable* (Vol. 12).

- Comisión Nacional del Agua. (2010b). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable* (Vol. 39).
- Comité Técnico Permanente Sedapal. (2010). *Reglamento de elaboración de proyectos de agua potable y alcantarillado para habilitaciones urbanas de Lima Metropolitana y Callao*.
- Congreso de la República del Perú. (2009). *Ley de Recursos Hídricos N° 29338*.
- Congreso de la República del Perú. (2017). *Ley de reforma constitucional que reconoce el derecho de acceso de agua como derecho constitucional N° 30588*.
- Del Olmo, A. (2014). *Análisis y estructuración de los sistemas de información de un explorador de abastecimientos urbanos de agua potable: Un enfoque centrado en la Gestión Patrimonial de Infraestructuras* [Tesis de Maestría]. Universitat Politècnica de València.
- Delgado, X. (2011). *Aplicación del método de jerarquías analíticas (AHP) a la gestión de pérdidas de agua en redes de abastecimiento*. Universitat Politècnica de València.
- Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL). (2019). *Manual práctico de reducción de agua no facturada*.
- Fernandez, J. (2007). *Aplicación de los sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio para determinar la capacidad de acogida del Callejón de Conchucos para el uso agrícola* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

- Flechas, R. (2011). *Efecto del uso de la ecuación de Hazen-Williams vs la ecuación de Darcy-Weisbach en tuberías de gran diámetro (Redes matrices)* [Tesis de Maestría]. Universidad de los Andes.
- GIZ-Agencia Alemana para la Cooperación Técnica, & VAG-Armaturen. (2011). *Guía para la reducción de pérdidas de agua: Un enfoque en la gestión en la presión*. Agencia Alemana para la Cooperación Técnica.
- Haro, E. (2018). *Propuesta metodológica simplificada de gestión de presiones para la recuperación de pérdidas reales en redes distribución de agua potable* [Tesis de Pregrado]. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2001). *NTP 350.102*.
- Jurado, C. (2007). *Metodología de calibración de redes de distribución de agua potable* [Tesis de Maestría]. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental - Universidad de los Andes.
- León, V. (2021). *Modelo metodológico para la determinación de la criticidad en Colectores Primarios*. [Tesis de Pregrado]. Facultad de Ingeniería Ambiental - Universidad Nacional de Ingeniería.
- McGhee, T. J. (1999). *Abastecimiento de agua y alcantarillado (Sexta)*. McGraw-Hill.
- Molina, S. (2014). *Metodología para la calibración preliminar de modelos de redes de distribución de agua mediante la utilización conjunta de demandas y consumos dependientes de la presión* [Tesis de Maestría]. Universitat Politècnica de València.

- National Fire Protection Association. (2007). *NFPA 291 "Norma para identificación de hidrantes"*.
- Olivarez, J. (2013). *Abastecimiento de agua* (Vol. 1).
- Parra, B. (2020). *Análisis y modelación matemática de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Macas, Morona Santiago, Ecuador*. [Tesis de Maestría]. Universitat Politècnica de València.
- Quispe, C. (2017). *Aplicación del proceso analítico jerárquico (AHP) en la selección de un marco de referencia para gestionar los proyectos de una empresa consultora* [Tesis de Pregrado]. Facultad de Ciencias Matemáticas - Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ramírez, R. (2019). *Desarrollo de un modelo estadístico para la estimación de la vida útil y predicción de fallos en tuberías de agua potable, para su aplicación en la gestión de activos*. [Tesis de Maestría]. Universitat Politècnica de València.
- Ramos, G. (2022, noviembre). *Curso gestión de Agua No Facturada para América Latina*. Metodología JICA para la disminución de ANF, Lima, Perú.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2007). *Resolución de Consejo Directivo N° 011-2007-SUNASS-CD "Reglamento de Calidad de la Prestación de Servicios de Saneamiento"*. <https://www.gob.pe/institucion/sedaayacucho/informes-publicaciones/3994485-reglamento-de-calidad-de-la-prestacion-de-servicios-de-saneamiento>

- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2022). *XV Curso de Extensión Universitaria en Regulación de Servicios de Saneamiento*.
- Teixeira, S., Loureiro, D., & Alegre, H. (2006). *MODELAÇÃO E ANÁLISE DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA* (Instituto Regulador de Águas e Resíduos Laboratório Nacional de Engenharia Civil).
- Toskano, G. (2005). *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores* [Tesis de Pregrado]. Facultad de Ciencias Matemáticas - Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Tsutiya, M. (2003). *Abastecimiento de água* (Tercera edición). Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Van Zyl, J. E., & Clayton, C. R. I. (2007). The effect of pressure on leakage in water distribution systems. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 160(2), 109–114. <https://doi.org/10.1680/wama.2007.160.2.109>
- Vicente, D. (2017). *Diseño de maniobras de gestión de presiones en sectores de distribución de agua y análisis de su impacto* [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid.
- Walski, T., Chase, D., Savic, D., Grayman, W., Beckwith, S., & Koelle, E. (2007). *Advanced Water Distribution Modeling and Management*.

## Anexos

Anexo 1: Reporte de Agua No Facturada por sectores del Equipo de Operación y Mantenimiento Comas.....	1
Anexo 2: Términos de referencia del “Servicio de actualización de vida útil promedio de las redes y sustento técnico de operatividad de redes totalmente depreciadas”.....	2
Anexo 3: Gráficos de presiones de los sectores hidráulicos para el reporte mensual a la SUNASS.....	4
Anexo 4: Aplicativo SGIOC para registro y programación de incidencias.....	16
Anexo 5: Registro de incidencias y órdenes de trabajo.....	17
Anexo 6: Plataforma Gisweb - SEDAPAL.....	19
Anexo 7: Diagnóstico y recorrido en el sector crítico.....	20
Anexo 8: Fichas de ubicación de Data Logger.....	24
Anexo 9: Purgado de hidrantes.....	32
Anexo 10: Reportes de los Data Logger.....	35
Anexo 11: Coordinaciones y gestiones con SEDAPAL.....	39

## Anexo 1


### Reporte de Agua No Facturada por sectores del Equipo de Operación y Mantenimiento Comas.

#### Equipo Control y Reducción de Fugas

Centro de Servicios	Sector	Longitud de red de agua km (*)	Oct-24								
			Total Conexiones	Nivel de micromedición %	Volumen Distribuido m3	Agua Facturada			Volumen Facturado m3	Agua No Facturada	
						Lectura m3	Promedio m3	Asignación m3		m3	%
Comas	79	31.39	3,780	95.16%	196,978	122,759	5,011	288	128,058	68,920	34.99
Comas	80	138.49	16,726	97.11%	659,838	515,152	14,194	1,497	530,843	128,995	19.55
Comas	81	75.36	9,791	97.90%	384,729	285,891	6,201	442	292,534	92,195	23.96
Comas	82	50.25	3,598	95.33%	225,544	177,874	8,573	429	186,876	38,668	17.14
Comas	83	81.92	8,439	97.76%	305,771	235,826	4,450	324	240,600	65,171	21.31
Comas	86	76.58	8,222	95.50%	279,991	211,484	7,292	1,133	219,909	60,082	21.46
Comas	200	76.58	5,230	71.87%	271,653	111,555	7,721	23,661	142,937	128,716	47.38
Comas	201	83.34	10,288	95.21%	344,343	257,397	11,343	6,062	274,802	69,541	20.20
Comas	202	33.86	4,940	96.90%	252,117	136,631	10,060	506	147,197	104,920	41.62
Comas	204	44.81	6,328	96.21%	322,241	172,183	6,247	312	178,742	143,499	44.53
Comas	205	24.46	4,192	97.50%	142,646	99,908	2,300	617	102,825	39,821	27.92
Comas	206	50.98	5,566	97.31%	313,089	147,351	4,631	4,128	156,110	156,979	50.14
Comas	207	50.26	7,081	97.22%	338,142	192,818	5,298	215	198,331	139,811	41.35
Comas	208	43.70	6,548	94.53%	320,003	150,440	4,876	4,459	159,775	160,228	50.07
Comas	209	31.89	4,805	96.19%	260,117	113,785	4,087	162	118,034	142,083	54.62
Comas	210	45.52	5,815	96.27%	262,008	156,144	6,581	43	162,768	99,240	37.88
Comas	211	90.14	11,251	95.86%	412,955	250,870	12,339	1,118	264,327	148,628	35.99
Comas	212	86.55	11,031	95.97%	394,296	309,130	9,017	2,073	320,220	74,076	18.79
Comas	213	55.23	5,547	96.07%	184,652	133,204	4,383	479	138,066	46,586	25.23
Comas	334	39.25	3,710	90.40%	176,450	95,087	6,367	6,548	108,002	68,448	38.79
Comas	338	90.76	8,396	96.20%	333,580	265,788	8,282	650	274,720	58,860	17.64
Comas	340	71.67	7,629	96.20%	272,304	228,558	7,418	509	236,485	35,819	13.15
Comas	342	46.99	5,179	97.05%	175,668	143,234	4,016	61	147,311	28,357	16.14
Comas	350	73.48	7,504	96.39%	245,946	168,696	5,657	1,271	175,624	70,322	28.59
Comas	352	67.48	7,191	96.59%	215,516	144,297	5,833	972	151,102	64,414	29.89
Comas	353	53.68	4,573	95.76%	113,281	85,371	5,524	1,227	92,122	21,159	18.68
Comas	356	65.07	3,692	90.66%	114,763	53,297	4,935	4,959	63,191	51,572	44.94
Comas	361	37.36	2,786	94.58%	94,098	54,623	1,791	1,638	58,052	36,046	38.31
Comas	364	34.68	2,988	92.40%	122,718	76,559	3,924	894	81,377	41,341	33.69
Comas	371	54.62	2,918	95.92%	41,322	26,354	1,204	623	28,181	13,141	31.80

## Anexo 2

Términos de referencia del “Servicio de actualización de vida útil promedio de las redes y sustento técnico de operatividad de redes totalmente depreciadas”

	SERVICIO DE ACTUALIZACIÓN DE VIDA ÚTIL PROMEDIO DE LAS REDES Y SUSTENTO TÉCNICO DE OPERATIVIDAD DE LAS REDES TOTALMENTE DEPRECIADAS	Fecha: 05/01/2023
---	---	-------------------

### SERVICIO DE ACTUALIZACIÓN DE VIDA ÚTIL PROMEDIO DE LAS REDES Y SUSTENTO TÉCNICO DE OPERATIVIDAD DE LAS REDES TOTALMENTE DEPRECIADAS

#### 1 RESUMEN EJECUTIVO

Entidad Contratante:	SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LIMA - SEDAPAL
Orden de servicio:	CONTRATO MARCO Nro. 4600007116
Nombre:	SERVICIO DE ACTUALIZACIÓN DE VIDA ÚTIL PROMEDIO DE LAS REDES Y SUSTENTO TÉCNICO DE OPERATIVIDAD DE LAS REDES TOTALMENTE DEPRECIADAS
Objeto del Requerimiento:	Consiste en contratar una consultoría especializada, para realizar la actualización de las actividades siguientes: <ul style="list-style-type: none"><li>• Actualización del Informe N° 01-2014-GSN del 22.01.2014, informe colegiado que sustente el promedio de la vida útil (años) de las redes por tipo de material; y</li><li>• Sustentar el estado operativo de las redes totalmente depreciadas y la programación de su reposición.</li></ul>
Consultor:	Ing. Sanitario Julio Cesar Kawazo Kian Registro CIP N° 149653
Supervisión /Inspector del estudio	Bertha Karina Vidal Valenzuela Responsable del Grupo Funcional Análisis de Redes – SEDAPAL GSN
Inicio del Servicio:	29/12/2022
Plazo de Ejecución:	45 días


#### 2 INTRODUCCIÓN

##### 2.1 Antecedentes

En la Auditoría Financiera realizadas por EY - Paredes, Burga & Asociados, correspondiente al ejercicio 2019, los auditores emitieron la Carta de Control Interno, en la cual se observaron, con relación a los activos fijos totalmente depreciados lo que a continuación se describe “Durante nuestra revisión del reporte operativo del activo fijo, hemos observado que la Compañía mantiene partidas de redes, maquinaria y otros equipos que al 31 de diciembre están en uso y que se encuentran totalmente depreciados. De acuerdo con la NIC 16 “Propiedad, planta y equipo”, la vida útil de los activos debe evaluarse periódicamente”.

Mediante Carta N° 736-2022-GG del 15.06.2022, SEDAPAL realizó una consulta al Fondo Nacional de Financiamiento de la Actividad Empresarial del Estado - FONAFE, en relación con el tratamiento de activos con valor cero, en uso actual. Ello debido a que siendo FONAFE el ente controlador de la compañía, quien ha establecido el lineamiento corporativo “Lineamiento de las Políticas Contables” que no permite la revaluación de activos fijos como modelo de medición posterior a efectos de consolidación de información sobre las entidades que controla.

Con Oficio N° 806-2022-GSC-FONAFE del 15.07.2022, FONAFE solicitó a SEDAPAL remitir un informe complementario al Informe 019-2022-ERCP, con la opinión técnica que sustente la posición de la Empresa respecto a la aplicación de las NIIF, en especial de la NIC 16 - NIC

	SERVICIO DE ACTUALIZACIÓN DE VIDA ÚTIL PROMEDIO DE LAS REDES Y SUSTENTO TÉCNICO DE OPERATIVIDAD DE LAS REDES TOTALMENTE DEPRECIADAS	Fecha: 05/01/2023
---	---	-------------------

8, y de las Política Contables Corporativas y se exponga una propuesta de solución en base a su análisis.

## 2.2 Objeto del requerimiento

Consiste en contratar una consultoría especializada, para realizar la actualización de las siguientes actividades:

- Actualización del Informe N°01-2014-GSN del 22.01.2014, informe que sustente el promedio de la vida útil (años) de las redes por tipo de material.
- Informe de sustento del estado operativo de las redes totalmente depreciadas y la programación de su reposición.

El presente servicio es solicitado por la Gerencia de Desarrollo e Investigación y las Gerencias de Servicios Norte, Centro y Sur.

## 2.3 Finalidad pública

El resultado del “Servicio de actualización de vida útil promedio de las redes y sustento técnico de operatividad de las redes totalmente depreciadas” servirá de sustento técnico para subsanar la observación de auditoría, a fin de evitar salvedades en el Dictamen de Auditoría del presente ejercicio.

## 2.4 Actividad del plan operativo institucional (POI)

El requerimiento del servicio va asociado a la actividad de la Gerencia de Desarrollo e Investigación y las Gerencias de Servicios Norte, Centro y Sur, que consisten en actividades para “Asegurar la sostenibilidad financiera de la Empresa”.

## 2.5 Descripción de las actividades del servicio

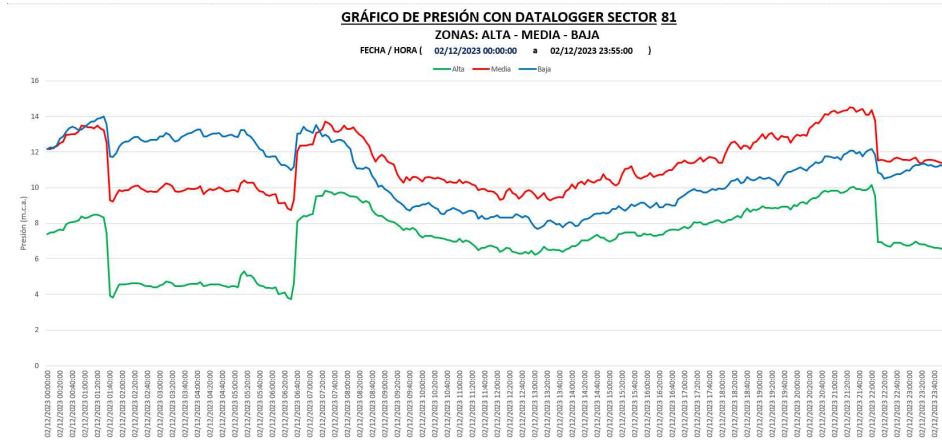
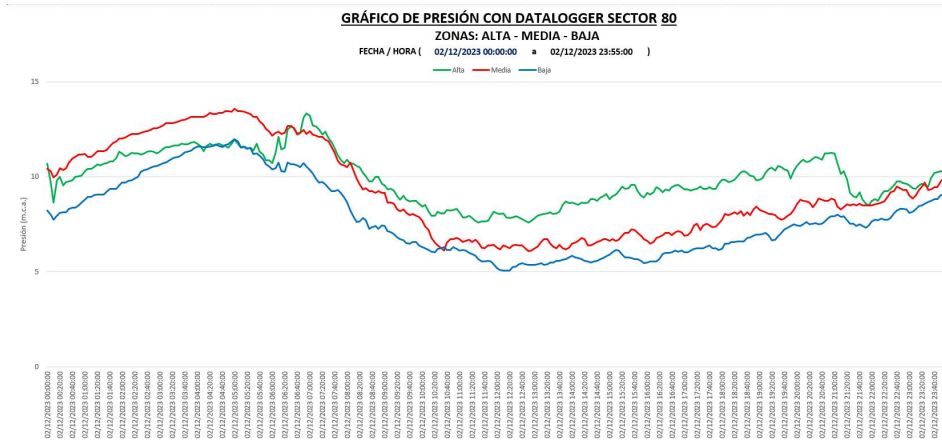
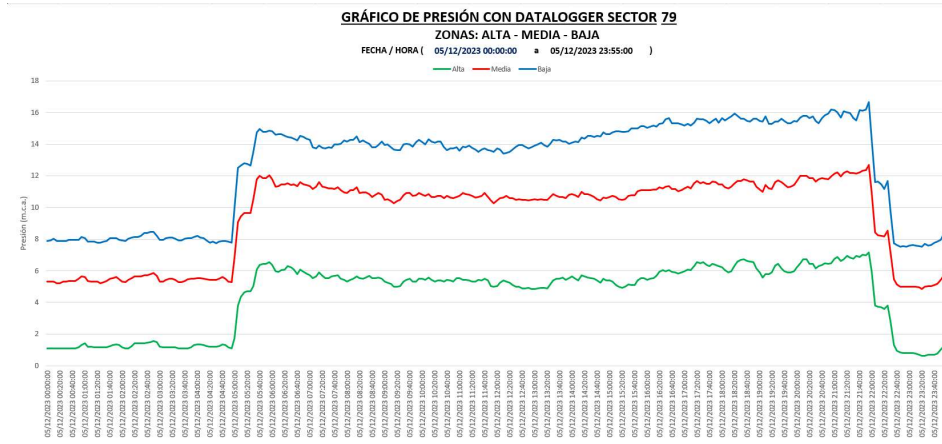
El presente servicio comprende la ejecución de las siguientes actividades:

- a) Revisión de la metodología, la actualización del informe N°01-2014-GSN y sustentar el estado operativo de las redes totalmente depreciadas y la programación de su reposición, en coordinación con las áreas operativas de SEDAPAL.
- b) Revisión de los informes que contiene el informe N° 01-2014-GSN, en el numeral 2 Antecedentes, en los numerales 2.1, 2.2 y 2.3.
- c) Completar a lo descrito en el literal b), con nuevos estudios técnicos u informes que sustenten la evaluación de la vida útil de las redes de agua potable y alcantarillado.
- d) Sugerir una nueva metodología de evaluación de la vida útil de las redes de agua potable y alcantarillado.
- e) Realizar las coordinaciones con los diferentes equipos operativos que administran las redes primarias y secundarias para elaborar el Informe Técnico que sustente la operatividad de las redes totalmente depreciadas. Para la elaboración del informe que sustente la operatividad de las redes que han agotado la vida útil de 50 años, SEDAPAL entregará un plano en ARCGIS (Shape) con la ubicación de las tuberías. El análisis se centrará en los siguientes materiales:
  - Agua Potable: Fierro Fundido y Asbesto Cemento.
  - Alcantarillado: CSN.El consultor deberá de definir una muestra representativa (la cual deberá considerar como mínimo dos zonas de cada centro de servicios) sobre las cuales deberá de sustentarse con información a ser proporcionada por los Equipos Operación y Mantenimiento de Redes de las Gerencias de Servicios de las acciones y/o condiciones que sustentan el funcionamiento de estas tuberías.
- f) Exposición ante SEDAPAL de los resultados y presentación del entregable final.

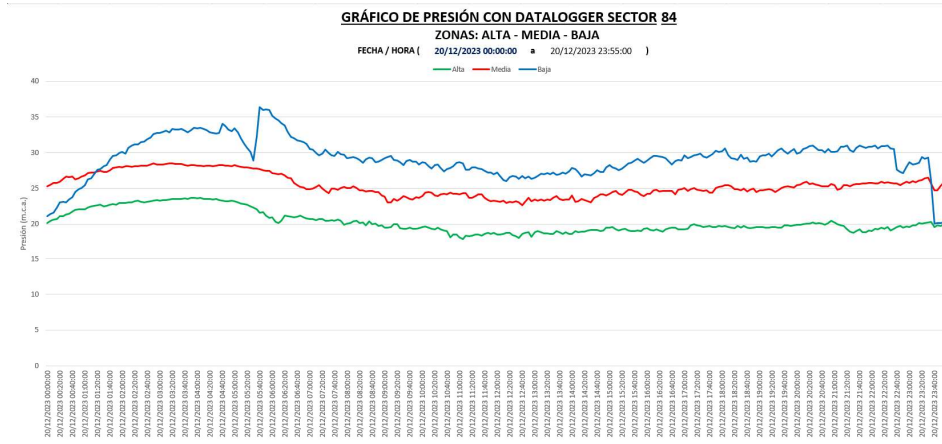
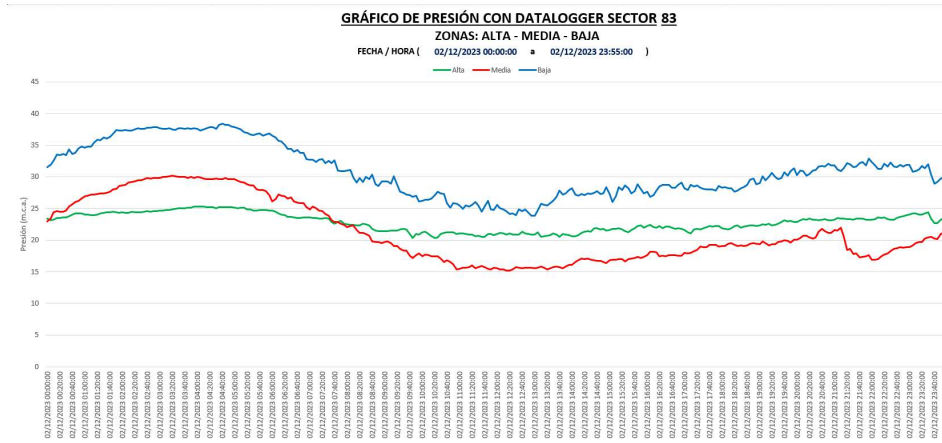
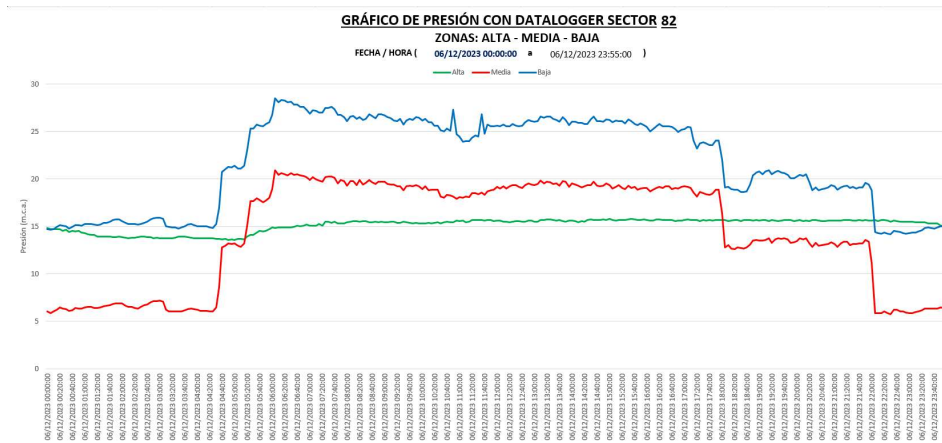
2 / -

# Anexo 3

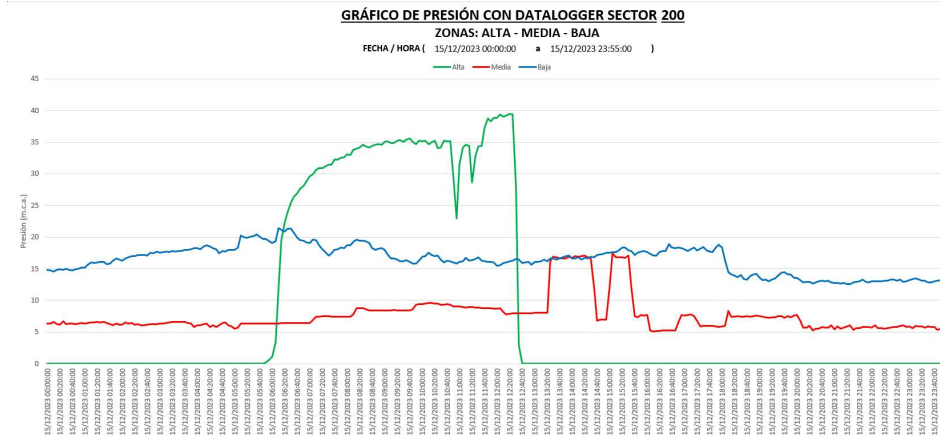
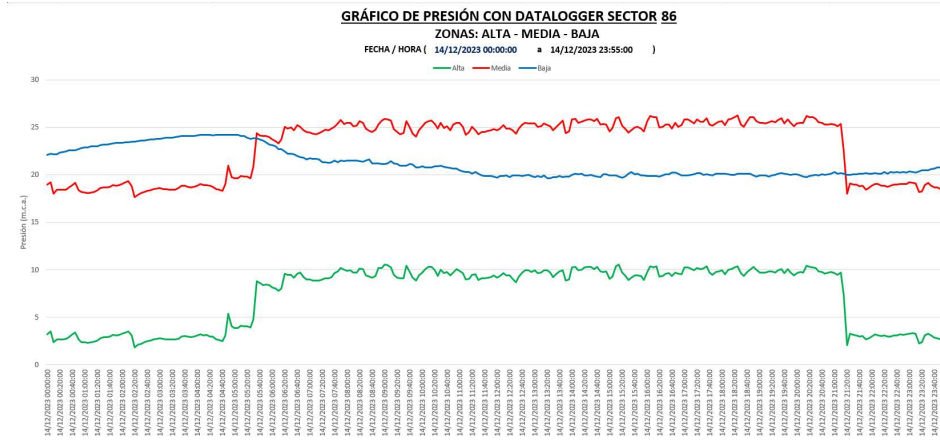
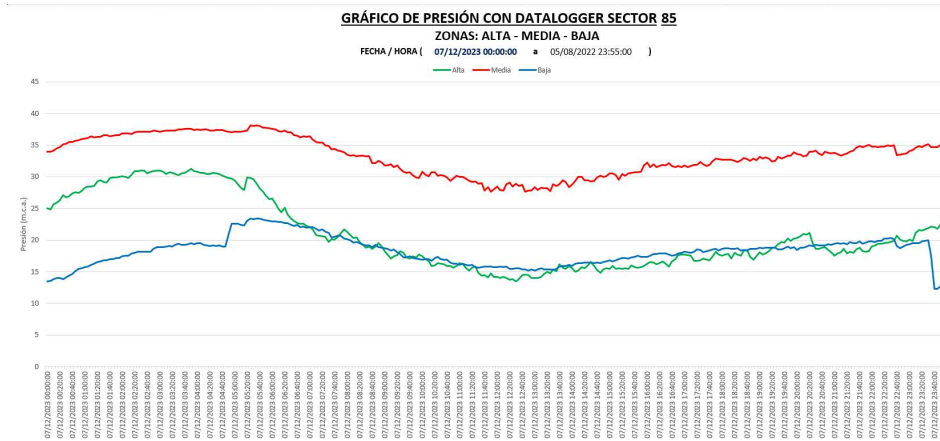
Gráficos de presiones de los sectores hidráulicos para el reporte mensual a la SUNASS.



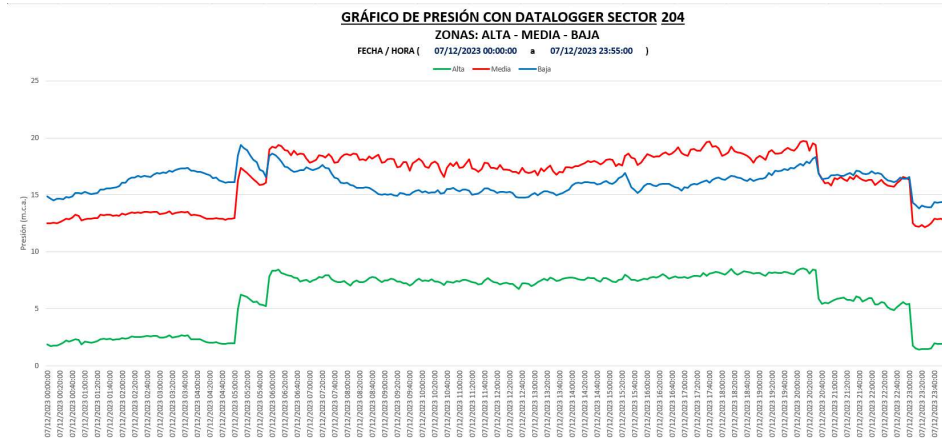
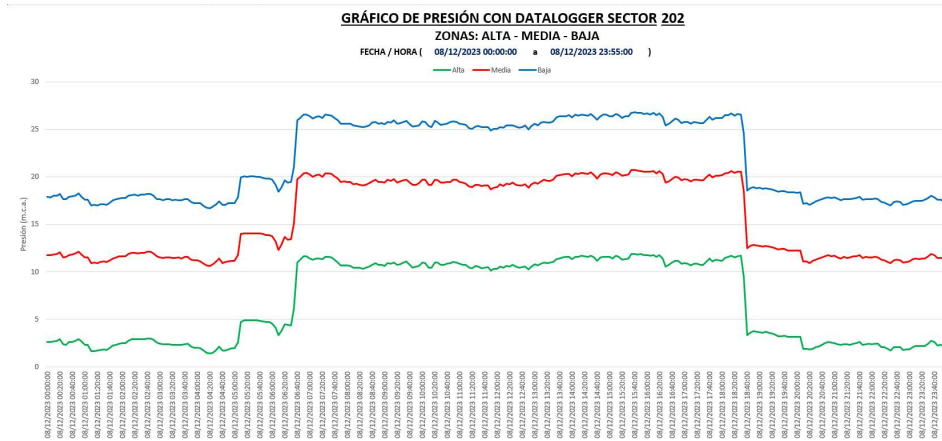
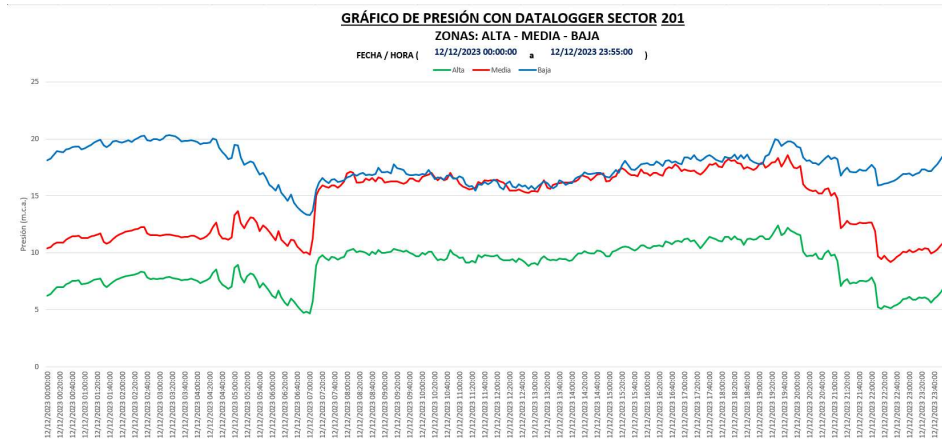
Continúa Anexo 3



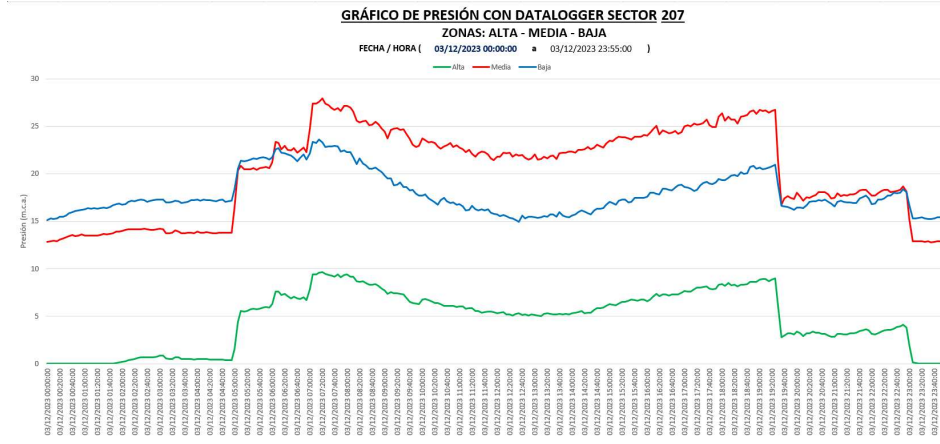
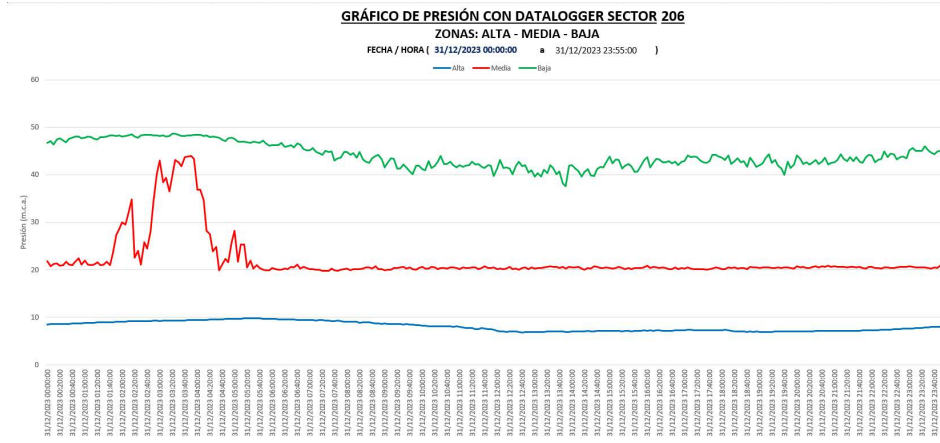
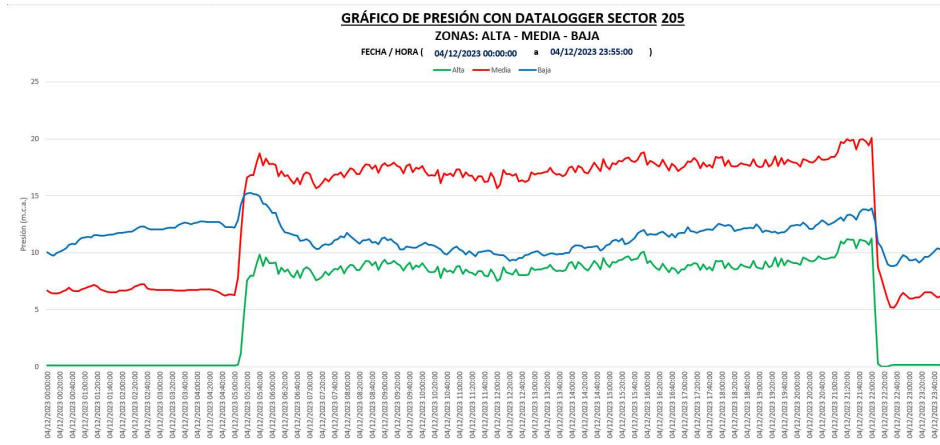
Continúa Anexo 3



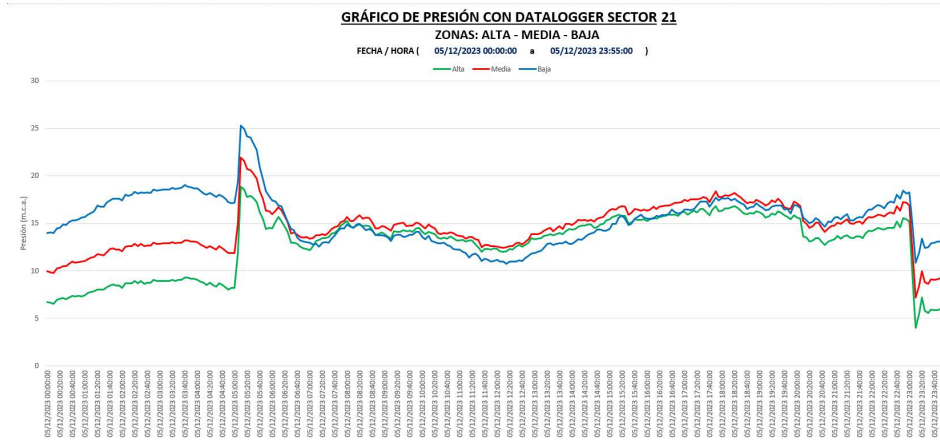
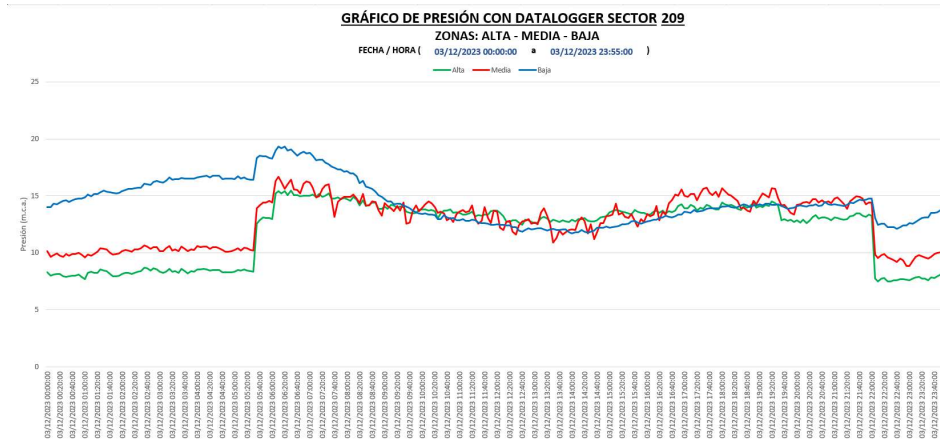
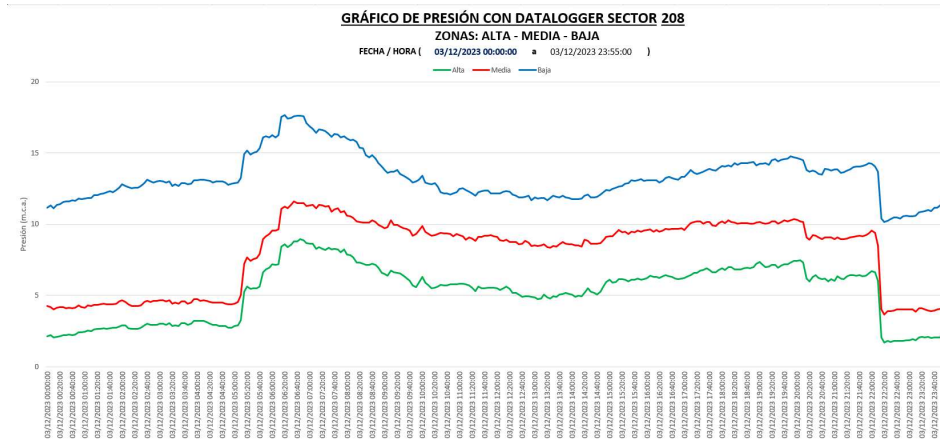
Continúa Anexo 3



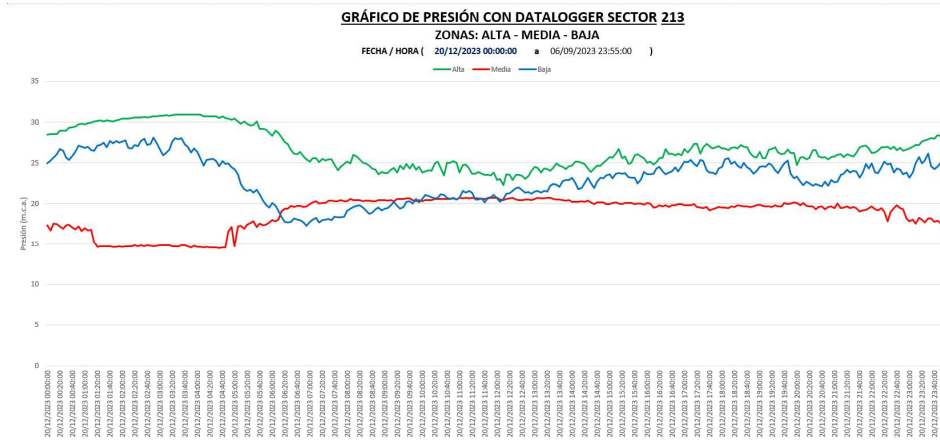
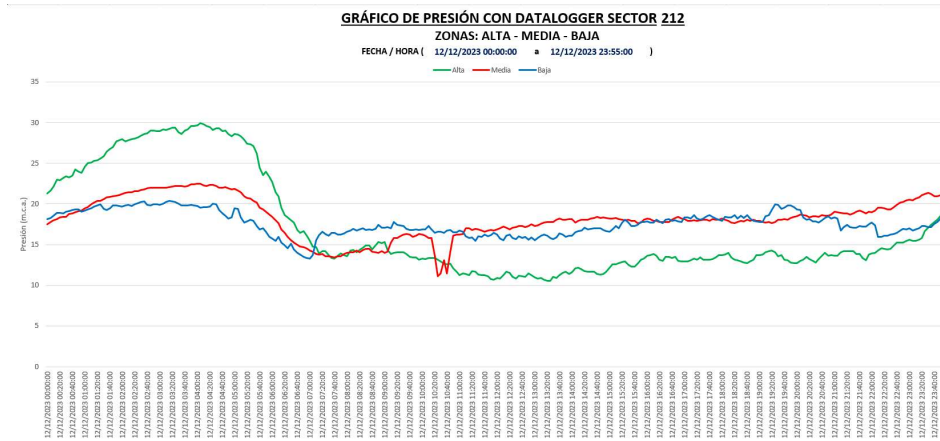
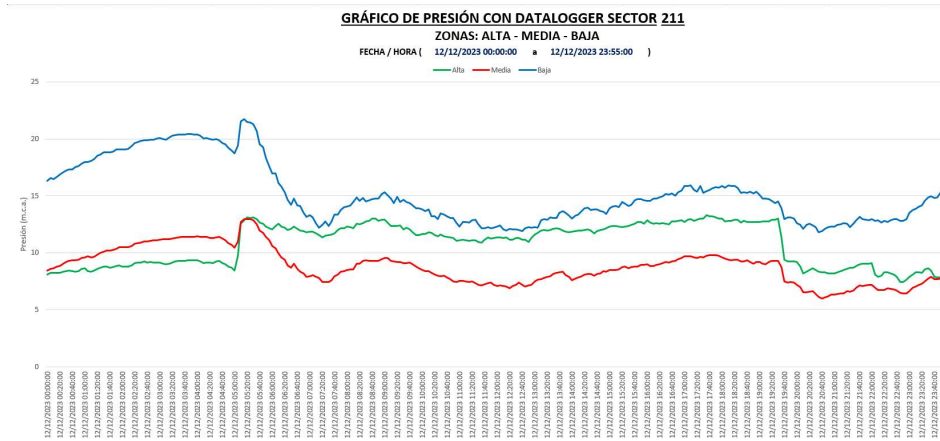
Continúa Anexo 3



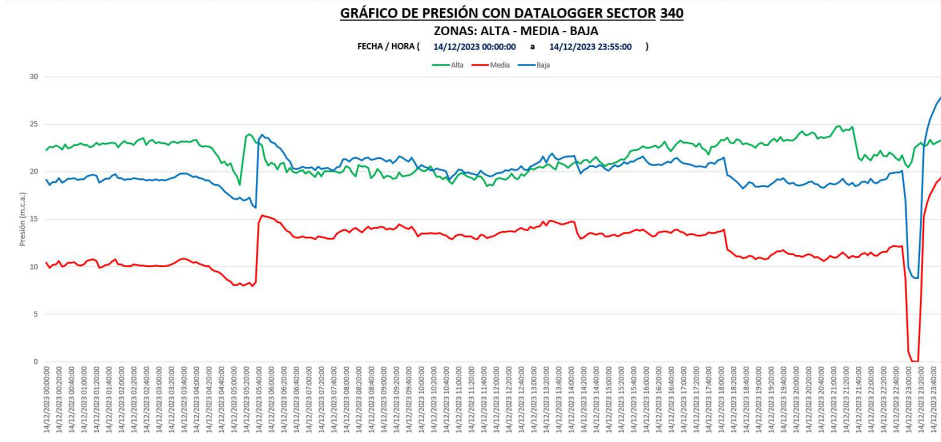
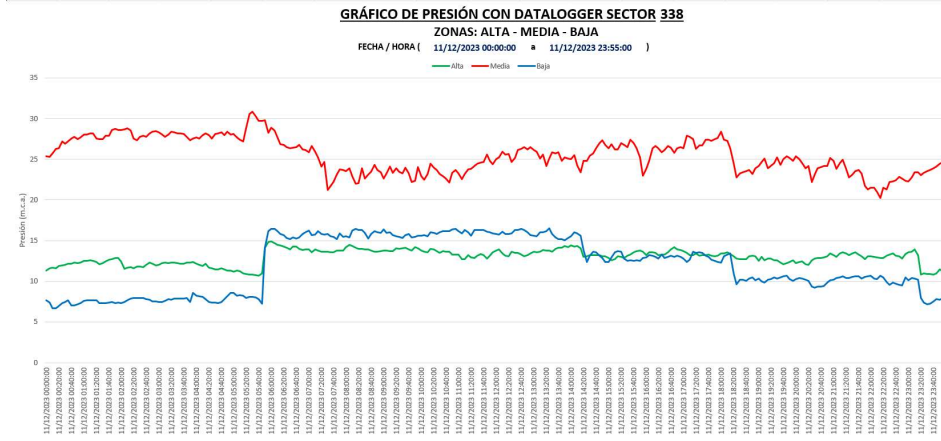
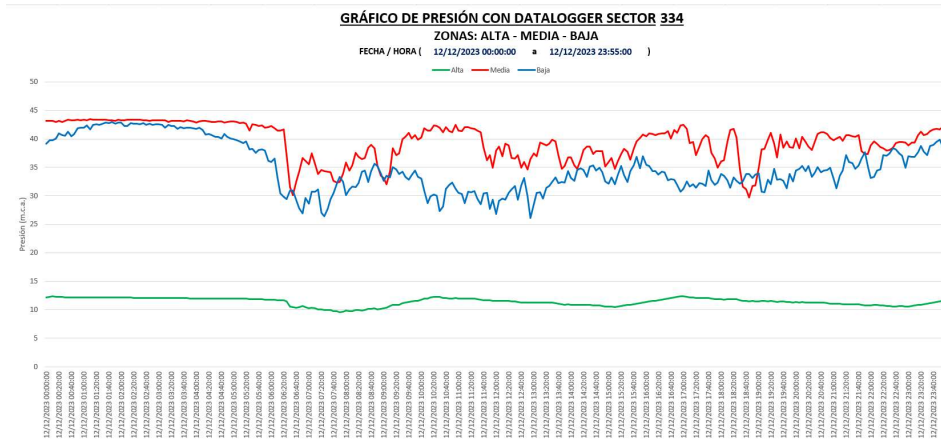
Continúa Anexo 3



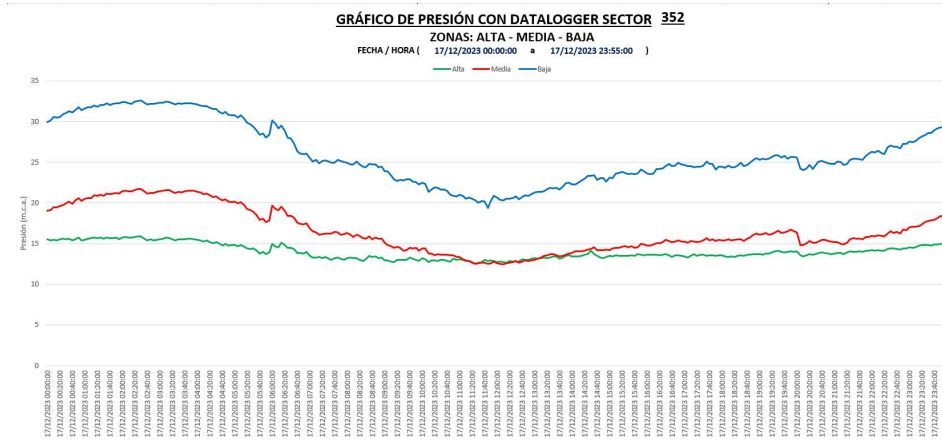
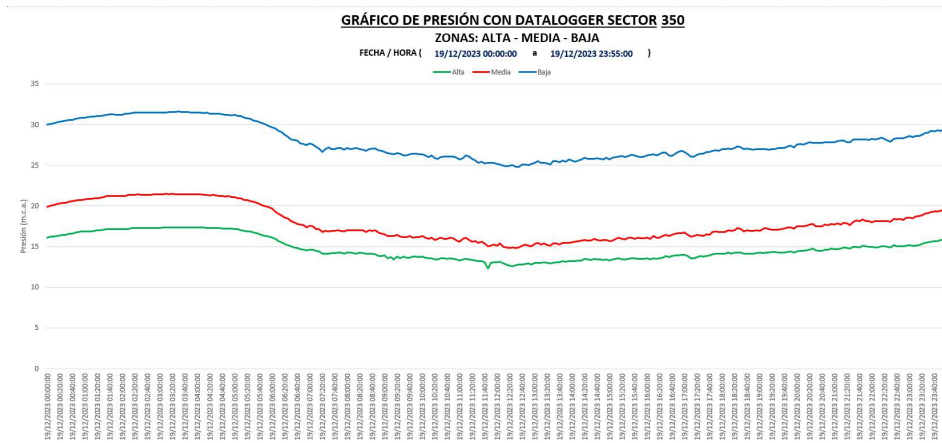
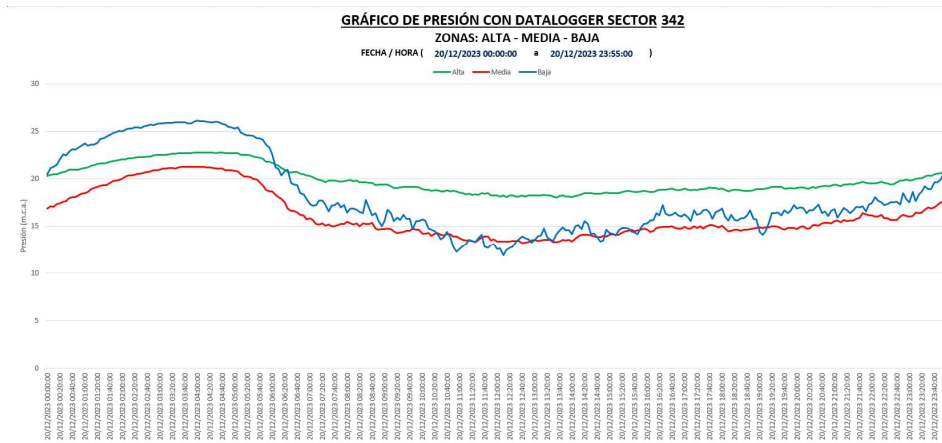
Continúa Anexo 3

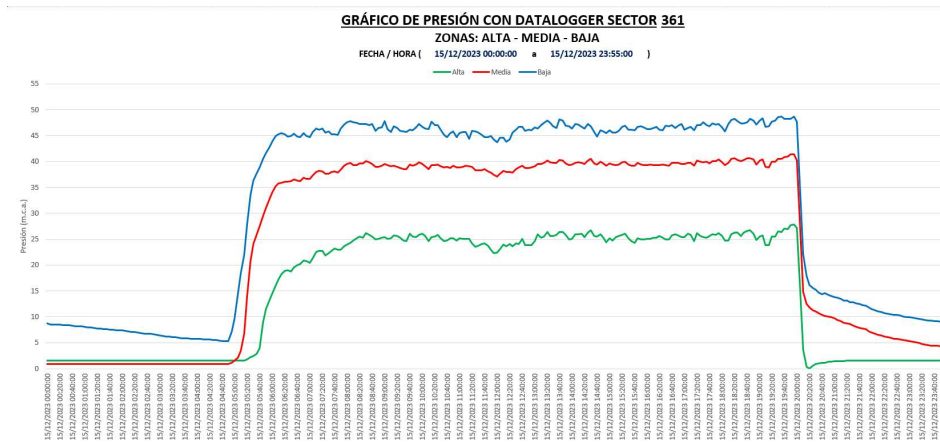
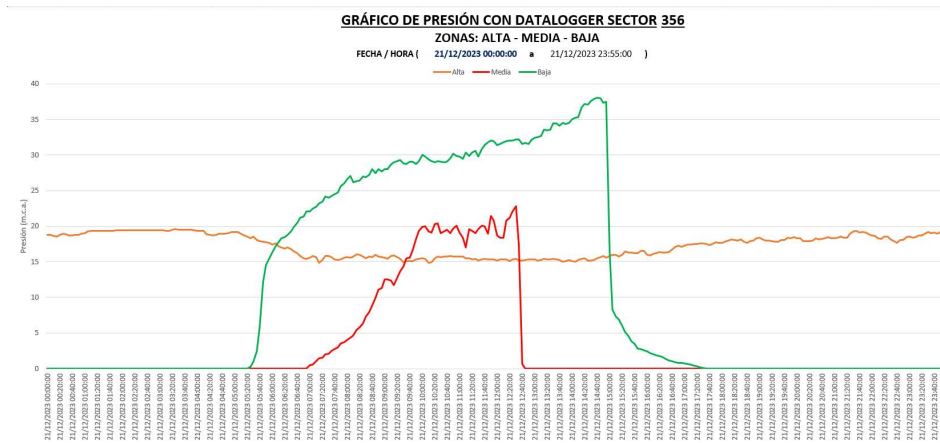
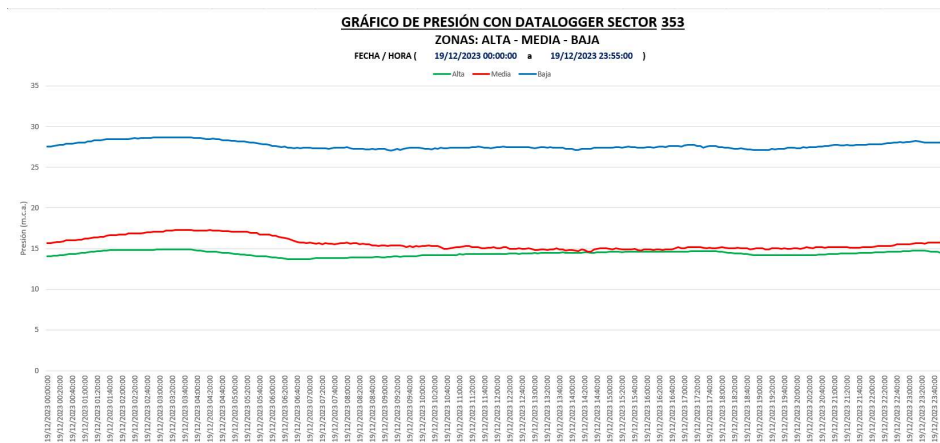


Continúa Anexo 3

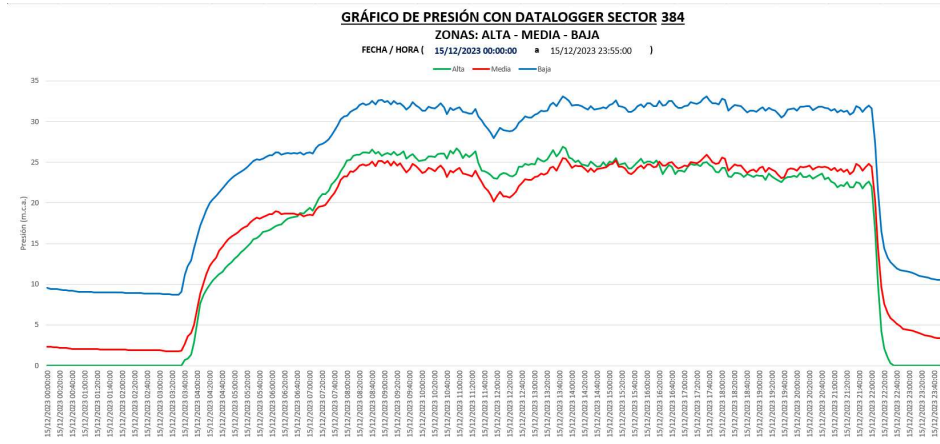
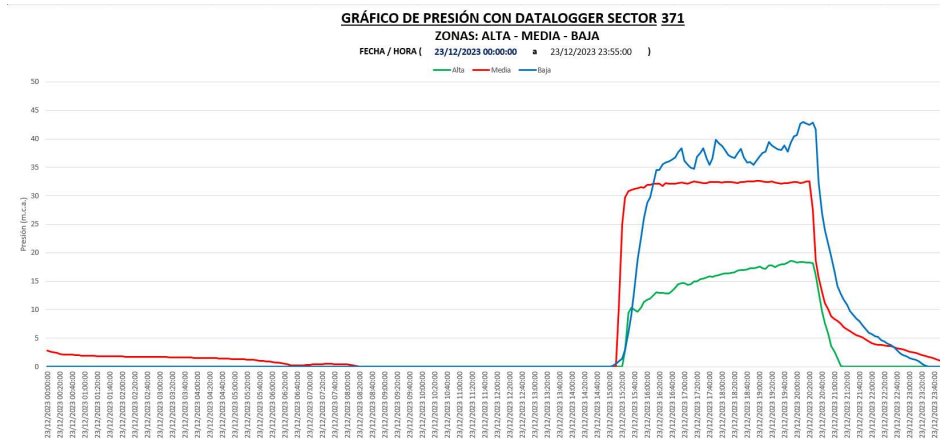
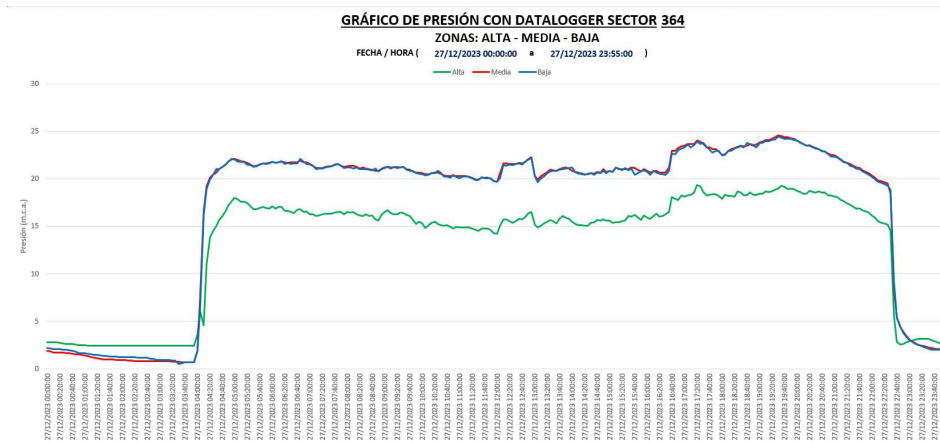


Continúa Anexo 3

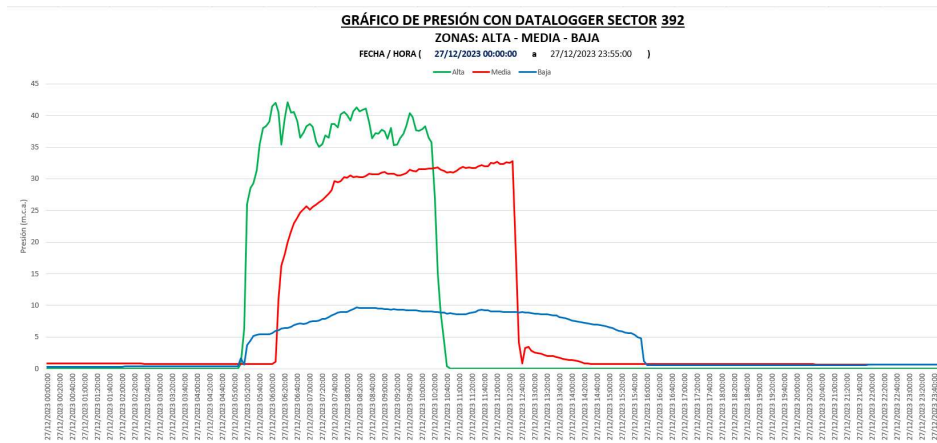




Continúa Anexo 3



Continúa Anexo 3



## Anexo 4

Aplicativo SGIOC para registro y programación de incidencias.

Aplicativo de Gestión de Incidencias Operativas - SGIO

Archivo Tablero GIS Sol Aten Incidencia O/T Valoriza Exp-Infor Consulta Ventana Acerca de

Detalle de Sol. Atención Solucionados Fecha Solucion

Fecha Inicio: 04/04/2025 00:00 Fecha Termino: 04/04/2025 23:59

Relacion de Sol. Atención Solucionados

A- CENTRO SERVICIO COMAS N° Registros: 182

FEC ALTA	SOL ATEN	CC.SS	NIS	SECTOR	ESTADO	DISTRITO	LOCALIDAD	CALLE
03/04/2025 22:13	8313185	COMAS	3736000	341	FINALIZADO	SAN MARTIN DE PORRES	A.H BOLOGNESI, FRANCISCO	CA BOLOGNESI, CRNL FRANCISCO 01
03/04/2025 22:14	8313186	COMAS	3782693	338	FINALIZADO	COMAS	URB CARABAYLLO, EL	AV METROPOLITANA 348 N 37 LECT 3
03/04/2025 22:18	8313197	COMAS	5523550	368	FINALIZADO	PUENTE PIEDRA	ASOC DE VIV VALLE CHILLON	AV B 0 L23
03/04/2025 22:30	8313198	COMAS	5888447	369	FINALIZADO	PUENTE PIEDRA	ASOC DE VIV. RESID. LOS SAUCES	CA 4 0 J 12 ME
04/04/2025 00:14	8313266	COMAS	3679771	357	FINALIZADO	CARABAYLLO	P.J PORRAS BARRENECHEA, RAUL	JR PARDO, JOSE 313
04/04/2025 01:13	8313221	COMAS	3755871	338	FINALIZADO	COMAS	URB SANTA LUZMILA	CA CASTRO, JUAN 210 LECTU
04/04/2025 01:43	8313271	COMAS	5040143	352	FINALIZADO	CARABAYLLO	ASOC DE POBL AMPL DE VIV CAUDIVILLA	PS 3 0 O 17 LECTUR
04/04/2025 01:54	8313273	COMAS	3657672	350	FINALIZADO	CARABAYLLO	URB TUNGASUCA	AV CHIMPU OCLLO, ISABEL 791 URB
04/04/2025 03:54	8313287	COMAS	3784200	82	FINALIZADO	SAN MARTIN DE PORRES	U.IND PANAMERICANA NORTE	CA ANDES, LOS 465 LECTUR
04/04/2025 04:32	8313291	COMAS	5911674	367	FINALIZADO	PUENTE PIEDRA	A.H HIJOS DE LAMUD II ET	PS A 0 A-03
04/04/2025 05:07	8313310	COMAS	5941820	355	FINALIZADO	CARABAYLLO	P.V CHAVIN DE HUANTAR I	CA SIN NOMBRE 0 E-10
04/04/2025 05:09	8313297	COMAS	3587595	333	FINALIZADO	INDEPENDENCIA	U.POP INDEPENDENCIA	AV AMERICAS, LAS 257 OTRO 02
04/04/2025 05:19	8313300	COMAS	3728926	353	FINALIZADO	CARABAYLLO	A.H HISTORICO CON CON	AV TUPAC AMARU 0 C-09 LECTUR
04/04/2025 05:21	8313301	COMAS	3663778	82	FINALIZADO	SAN MARTIN DE PORRES	URB NARANJAL	AV MENDIOLA, ALFREDO 4350 A LECT
04/04/2025 05:22	8313311	COMAS	3566119	200	FINALIZADO	RIMAC	P.J VILLA FATIMA	CA DESCALZOS, LOS 201
04/04/2025 05:27	8313312	COMAS	3714105	357	FINALIZADO	CARABAYLLO	P.J PORRAS BARRENECHEA, RAUL	JR CHAVEZ, JORGE 581
04/04/2025 05:41	8313328	COMAS	5615932	390	FINALIZADO	PUENTE PIEDRA	A.H CHAVINILLO	CA SIN NOMBRE 0 G 16 ESQUE
04/04/2025 05:53	8313330	COMAS	5418999	81	FINALIZADO	LOS OLIVOS	COOP VIV DEPARTAMENTAL LIBERTAD, LA	CA 3 0 L 01 INDEP
04/04/2025 05:53	8313332	COMAS	3597789	200	FINALIZADO	RIMAC	CERC RIMAC	PS DESCALZOS, LOS 117 ALTOS
04/04/2025 06:15	8313342	COMAS	3597788	200	FINALIZADO	RIMAC	CERC RIMAC	PS DESCALZOS, LOS 119 OTRO 121
04/04/2025 06:17	8313345	COMAS	3578345	350	FINALIZADO	CARABAYLLO	URB SANTA ISABEL	AV CHIMPU OCLLO, ISABEL 595 HO
04/04/2025 06:23	8313348	COMAS	3587598	333	FINALIZADO	INDEPENDENCIA	U.POP INDEPENDENCIA	AV AMERICAS, LAS 235
04/04/2025 06:25	8313350	COMAS	5757081	387	FINALIZADO	PUENTE PIEDRA	ASOC DE PROP BELLAVISTA LOS GRAMADALES	AV SAN JOSE 0 A-02 1 ESQ. LA GRA

Aplicativo de Gestión de Incidencias Operativas - SGIO 04/04/2025 FLORES YATACO, JUAN CARLOS JUNIOR

## Anexo 5

### Registro de incidencias y órdenes de trabajo.



Firmado digitalmente por:  
FLORES YATACO Juan Carlos  
Junior FAU 20100162358 soft  
Motivo: Doy Vº Bº  
Fecha: 31/03/2025 09:09:26-0500

#### Detalle de Orden de Trabajo

19-03-2025 05:16 PM

Nro OT: **62368432** Fecha Alta: 12/12/2024 11:59 Usuario: GUTIERREZ ORTIZ JESUS AB

Centro: CC.SS COMAS Tipo Red: AGUA Ot Contrat: **1519**  
Dirección: CA TACNA 0 85-04 Distrito: PUENTE PIEDRA

Localidad: A.H MARGINAL SANTA ROSA

Cliente: FUENTES BAUTISTA, EUGENIO FELIX

Estado: RESUELTO

Suministro: 3765525

Supervisor: 15732 FLORES YATACO JUAN CARLOS JUNIOR

Contrata: ACEA PERU

Cuadrilla: DISTRIBUCION

F. Pendiente: 12/12/2024 F. Trabajando: 25/02/2025 F. Atendido: 19/03/2025 F. Concluido: 19/03/2025

F. Resol Contrata: 19/03/2025 F. Revisada: 31/12/2999 F. Facturada: 31/12/2999 F. Anulado: 31/12/2999

Observacion Contrata: 17/03/2025 200109 SAAVEDRA // 03/03/2025 200109 FREDDY SAAVEDRA - EN PROCESO. // 25/02/2025 200109 FREDDY SAAVEDRA - EN PROCESO.

Observación Sedapal: CAMBIO DE TUBERIA POR MEJORAMIENTO DEL SECTOR, COORDINAR CON TEC. JUAN CARLOS FLORES

Actividad: ACT A1 - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE REDES DE AGUA POTABLE (HASTA 315MM)

Subactividad	Diam.	UM	Cantidad	Precio	Monto
CAMBIO O REPOSICION DE TUBERIA CON ZANJA HASTA 160 MM	0	M	149.00	117.23	17,467.27
ROTURA Y REPOSICION DE PAVIMENTO DE ASFALTO EN CALIENTE	0	M2	107.90	89.00	9,603.10
					27,070.37

Material	UM	Cantidad	Precio	Monto
TAPON HDPE TERMOFUSION SDR 17 PN 10 PE 160 MM	UN	2.00	63.01	126.02
TUBERIA POLIETILENO PEAD ABAST. AGUA POTABLE PE 100 (160 MM) PN 10 SD	M	149.00	33.90	5,051.10
UNION DE ELECTROFUSION PARA TUBERIAS DE POLIETILENO 160MM	UN	6.00	356.00	2,136.00
				7,313.12

Costo OT: **34,383.49**

Continúa Anexo 5



Firmado digitalmente por:  
FLORES YATACO Juan Carlos  
Junior FAU 20100152350 soft  
Motivo: Doy Vº Bº  
Fecha: 31/03/2025 09:09:28-0500

**Detalle de Orden de Trabajo**

08-02-2025 11:29 AM

Nro OT: **62707183** Fecha Alta: 03/01/2025 10:33 Usuario: CAPILLO ORDAYA DAYANA-75

Centro: CC.SS COMAS Tipo Red: AGUA Ot Contrat: **3523**  
 Dirección: PS OCTUBRE, 9 DE 0 J4-06 Distrito: CARABAYLLO  
 Localidad: A.H VILLA ESPERANZA COMITE N° 13  
 Cliente: ACOSTA NINAHUAMAN, ELGUER ROMAN  
 Estado: RESUELTO Suministro: 5964841  
 Supervisor: 14531 BUSTAMANTE ILATOMA HUMBERTO

Contrata: ACEA PERU

Cuadrilla: DISTRIBUCION

F. Pendiente: 03/01/2025 F. Trabajando: 04/01/2025 F. Atendido: 04/01/2025 F. Concluido: 06/02/2025

F. Resol Contrata: 06/02/2025 F. Revisada: 31/12/2999 F. Facturada: 31/12/2999 F. Anulado: 31/12/2999

Observacion Contrata: 04/01/2025 200102 MARCO DAMIAN - CORRESPONDE A T/R DE 4" POR RAJADURA COORDINADO CON EL  
 TEC RAZO // 03/01/2025 - COORDINADO CON EL CAP VALENCIA PARA ATENDERSE EN HORARIO DE  
 ABASTECIMIENTO EL DIA 04/01/2025

Observación Sedapal: REQUI PIQUE DE CALICATA-URGENTE//COORDINAR CON EL CAP D.  
 VALENCIA

Actividad: ACT A1 - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE REDES DE AGUA POTABLE (HASTA 315MM)

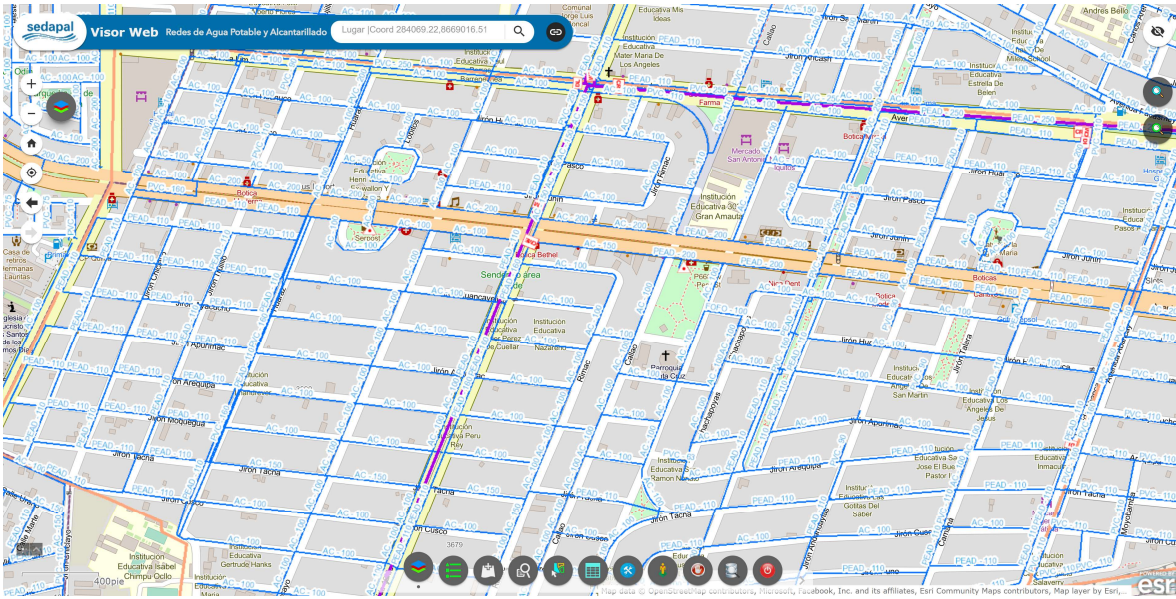
Subactividad	Diam.	UM	Cantidad	Precio	Monto
REPARACION CON RETIRO DE TUBERIA HASTA 160 MM	0	UN	1.00	222.32	222.32
ROTURA Y REPOSICION DE PAVIMENTO DE ASFALTO EN CALIENTE	0	M2	2.23	89.00	198.47
					420.79

Material	UM	Cantidad	Precio	Monto
TUBERIA PVC-U AGUA PRESION 4" (110MM) PN 10 (S10) SDR 21 (E=5,3 MM) NTP	M	1.50	25.36	38.04
UNION JUNTA MECANICA FLEXIBLE 110MM (4")	UN	2.00	402.00	804.00
				842.04

**Costo OT:** 1,262.83

## Anexo 6

### Plataforma Gis Web – SEDAPAL.



## Anexo 7

Diagnóstico y recorrido en el sector crítico.

### Fotografía 1

*Verificación de cámara de purga de aire para colocación de datalogger en la Av. Perú cuadra 37 Urb. Perú – San Martín de Porres.*



### Fotografía 2

*Instalación de datalogger en la Av. Perú cuadra 37 Urb. Perú – San Martín de Porres.*



Continúa Anexo 7

### Fotografía 3

*Verificación de cámara de purga de aire para colocación de datalogger en la Av. Abancay cuadra 6 Urb. Perú – San Martín de Porres.*



### Fotografía 4

*Identificación de conexiones domiciliarias que cuenten con dispositivos de seguridad para la instalación de los dataloggers en el Jr. Huánuco cuadra 39.*



Continúa Anexo 7

### Fotografía 5

*Identificación de cámaras de purga que cuenten con dispositivos de seguridad para la instalación de los dataloggers en la Av. Lima cuadra 36 Urb. Perú – San Martín de Porres.*



### Fotografía 6

*Instalación de datalogger en la Av. Lima cuadra 32 Urb. Perú – San Martín de Porres.*



*Continúa Anexo 7*

**Fotografía 7**

*Verificación de funcionamiento de válvula de control Av. 27 de Noviembre cruce con Jr. Ica  
Urb. Perú – San Martín de Porres.*



## Anexo 8

### Fichas de ubicación de Data Logger.

Tesis: Metodología para la gestión de la infraestructura en redes de distribución de agua aplicando el proceso de jerarquías analíticas (AHP)	Fecha: 01/08/2024
---	-------------------

<b>PUNTO DE MEDICION</b>	1			
<b>SECTOR</b>	208			
<b>NIS</b>	3536260	<b>TIPO DE ESTRUCTURA</b>	Cámara de data logger	
<b>DIRECCION</b>	Av. Lima 3201 Urb. Perú- San Martin de Porres			
<b>UBICACIÓN GPS</b>	<b>LATITUD</b>		<b>LONGITUD</b>	
	12°01'45"S		77°04'55.5"W	
<b>DATALOGGER</b>	<b>CODIGO</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>SERIE</b>
	GL7632	GCR TECH	PTRIP	1904015
<b>FECHA INSTALACION</b>	01/08/2024	<b>HORA</b>	11:20	
<b>PRESION INSTALACION</b>	15 mca (MANÓMETRO)			
<b>FECHA DESINSTALACION</b>	03/08/2024	<b>HORA</b>	10:20	
<b>PRESION DESINSTALACION</b>	11 mca ( MANOMETRO)			

**FOTOS**

**VISTA DEL FRONTIS**



**VISTA FINAL INSTALADO**



**OBSERVACIONES DE LA INSTALACION**

-

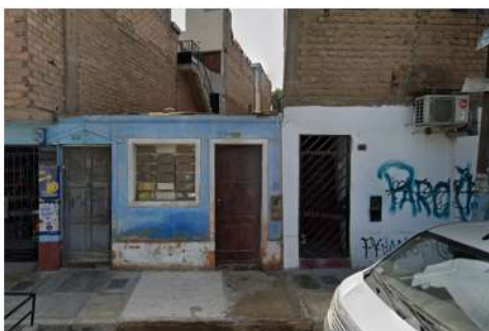
Continúa Anexo 8

Tesis: Metodología para la gestión de la infraestructura en redes de distribución de agua aplicando el proceso de jerarquías analíticas (AHP)	Fecha: 01/08/2024
---	-------------------

PUNTO DE MEDICION	2			
SECTOR	208			
NIS	3538430	TIPO DE ESTRUCTURA	Conexión domiciliaria	
DIRECCION	Jr. Arequipa 32107 Urb. Perú- San Martin de Porres			
UBICACIÓN GPS	LATITUD		LONGITUD	
	12°02'01.5"S		77°04'50.4"W	
DATALOGGER	CODIGO	MARCA	MODELO	SERIE
	GL6879	GCR TECH	PTRIP	1904015
FECHA INSTALACION	01/08/2024	HORA	11:35	
PRESION INSTALACION	8 mca (MANÓMETRO)			
FECHA DESINSTALACION	03/08/2024	HORA	11:20	
PRESION DESINSTALACION	7 mca ( MANÓMETRO)			

FOTOS

VISTA DEL FRONTIS



VISTA FINAL INSTALADO



OBSERVACIONES DE LA INSTALACION

LOS INSTRUMENTOS SON INSTALADOS CON LA AUTORIZACION DE LOS MORADORES  
 LA CAJA DE CONEXIÓN CUENTA CON TAPA TERMOPLASTICA  
 EL USUARIO NO CUENTA CON TANQUE ELEVADO NI CISTERNA.

Continúa Anexo 8

Tesis: Metodología para la gestión de la infraestructura en redes de distribución de agua aplicando el proceso de jerarquías analíticas (AHP)	Fecha: 01/08/2024
---	-------------------

PUNTO DE MEDICION	3			
SECTOR	208			
NIS	3536537	TIPO DE ESTRUCTURA	Conexión domiciliaria	
DIRECCION	Av. Lima 3479 Urb. Perú- San Martin de Porres			
UBICACIÓN GPS	LATITUD		LONGITUD	
	12°01'44.1"S		77°05'03.1"W	
DATALOGGER	CODIGO	MARCA	MODELO	SERIE
	GL7634	GCR TECH	PTRIP	1904015
FECHA INSTALACION	01/08/2024	HORA	11:50	
PRESION INSTALACION	18 mca (MANÓMETRO)			
FECHA DESINSTALACION	03/08/2024	HORA	08:50	
PRESION DESINSTALACION	17 mca ( MANÓMETRO)			

FOTOS

VISTA DEL FRONTIS



VISTA FINAL INSTALADO



OBSERVACIONES DE LA INSTALACION

LA CAJA DE CONEXIÓN CUENTA CON TAPA TERMOPLASTICA

LOS INSTRUMENTOS SON INSTALADOS CON LA AUTORIZACION DE LOS MORADORES

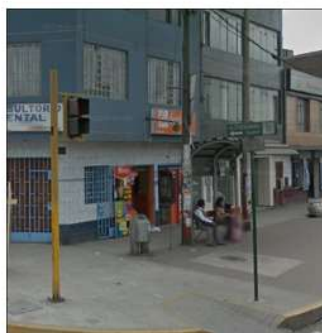
Continúa Anexo 8

Tesis: Metodología para la gestión de la infraestructura en redes de distribución de agua aplicando el proceso de jerarquías analíticas (AHP)	Fecha: 01/08/2024
---	-------------------

PUNTO DE MEDICION	4			
SECTOR	208			
NIS	3537761	TIPO DE ESTRUCTURA	Cámara de purga de aire	
DIRECCION	Av. Perú 3411 Urb. Perú- San Martin de Porres			
UBICACIÓN GPS	LATITUD		LONGITUD	
	12°01'52.1"S		77°05 '03.6"W	
DATALOGGER	CODIGO	MARCA	MODELO	SERIE
	GL7617	GCR TECH	PTRIP	1904015
FECHA INSTALACION	01/08/2024	HORA	11:25	
PRESION INSTALACION	16 mca (MANÓMETRO)			
FECHA DESINSTALACION	03/08/2024	HORA	10:20	
PRESION DESINSTALACION	15 mca ( MANÓMETRO)			

FOTOS

VISTA DEL FRONTIS



VISTA FINAL INSTALADO



OBSERVACIONES DE LA INSTALACION

LA CAMARA DE PURGA DE AIRE CUENTA CON TAPA ANTIVANDALICA

Continúa Anexo 8

Tesis: Metodología para la gestión de la infraestructura en redes de distribución de agua aplicando el proceso de jerarquías analíticas (AHP)	Fecha: 01/08/2024
---	-------------------

PUNTO DE MEDICION	5			
SECTOR	208			
NIS	5961155	TIPO DE ESTRUCTURA	Conexión domiciliaria	
DIRECCION	Jr. Huánuco 3819 Urb. Perú- San Martin de Porres			
UBICACIÓN GPS	LATITUD		LONGITUD	
	12°01'44.5"S		77°05'22.2"W	
DATALOGGER	CODIGO	MARCA	MODELO	SERIE
	GL6877	GCR TECH	PTRIP	1904015
FECHA INSTALACION	01/08/2024	HORA	11:20	
PRESION INSTALACION	17 mca (MANÓMETRO)			
FECHA DESINSTALACION	03/08/2024	HORA	09:25	
PRESION DESINSTALACION	18 mca ( MANÓMETRO)			

FOTOS

VISTA DEL FRONTIS



VISTA FINAL INSTALADO



OBSERVACIONES DE LA INSTALACION

LA CAJA DE CONEXIÓN CUENTA CON TAPA TERMOPLASTICA

LOS INSTRUMENTOS SON INSTALADOS CON LA AUTORIZACION DE LOS MORADORES

Continúa Anexo 8

Tesis: Metodología para la gestión de la infraestructura en redes de distribución de agua aplicando el proceso de jerarquías analíticas (AHP)	Fecha: 01/08/2024
---	-------------------

PUNTO DE MEDICION	6			
SECTOR	208			
NIS	3540075	TIPO DE ESTRUCTURA	Cámara de purga de aire	
DIRECCION	Av. Perú 3713 Urb. Perú- San Martin de Porres			
UBICACIÓN GPS	LATITUD		LONGITUD	
	12°01'50.7"S		77°05'19.1"W	
DATALOGGER	CODIGO	MARCA	MODELO	SERIE
	GL7621	GCR TECH	PTRIP	1904015
FECHA INSTALACION	01/08/2024	HORA	11:35	
PRESION INSTALACION	20 mca (MANÓMETRO)			
FECHA DESINSTALACION	03/08/2024	HORA	08:35	
PRESION DESINSTALACION	21 mca ( MANÓMETRO)			

FOTOS

VISTA DEL FRONTIS



VISTA FINAL INSTALADO



OBSERVACIONES DE LA INSTALACION

LA CAMARA DE PURGA DE AIRE CUENTA CON TAPA ANTIVANDALICA

LOS INSTRUMENTOS SON INSTALADOS CON LA AUTORIZACION DE LOS MORADORES

Continúa Anexo 8

Tesis: Metodología para la gestión de la infraestructura en redes de distribución de agua aplicando el proceso de jerarquías analíticas (AHP)	Fecha: 01/08/2024
---	-------------------

PUNTO DE MEDICION	7			
SECTOR	208			
NIS	3540985	TIPO DE ESTRUCTURA	Conexión domiciliaria	
DIRECCION	Jr. Huánuco 3915 Urb. Perú- San Martin de Porres			
UBICACIÓN GPS	LATITUD		LONGITUD	
	12°01'43.8"S		77°05'27.8"W	
DATALOGGER	CODIGO	MARCA	MODELO	SERIE
	GL7636	GCR TECH	PTRIP	1904015
FECHA INSTALACION	01/08/2024	HORA	12:00	
PRESION INSTALACION	11 mca (MANÓMETRO)			
FECHA DESINSTALACION	03/08/2024	HORA	09:00	
PRESION DESINSTALACION	11 mca ( MANÓMETRO)			

FOTOS

VISTA DEL FRONTIS



VISTA FINAL INSTALADO



OBSERVACIONES DE LA INSTALACION

LA CAJA DE CONEXIÓN CUENTA CON TAPA TERMOPLASTICA

LOS INSTRUMENTOS SON INSTALADOS CON LA AUTORIZACION DE LOS MORADORES

Continúa Anexo 8

Tesis: Metodología para la gestión de la infraestructura en redes de distribución de agua aplicando el proceso de jerarquías analíticas (AHP)	Fecha: 01/08/2024
---	-------------------

PUNTO DE MEDICION	8			
SECTOR	208			
NIS	3541134	TIPO DE ESTRUCTURA	Conexión domiciliaria	
DIRECCION	Jr. Ica 3915 Urb. Perú- San Martin de Porres			
UBICACIÓN GPS	LATITUD		LONGITUD	
	12°01'50.6"S		77°05'31.0"W	
DATALOGGER	CODIGO	MARCA	MODELO	SERIE
	GL7625	GCR TECH	PTRIP	1904015
FECHA INSTALACION	01/08/2024	HORA	13:30	
PRESION INSTALACION	12.5 mca (MANÓMETRO)			
FECHA DESINSTALACION	03/08/2024	HORA	09:30	
PRESION DESINSTALACION	11 mca ( MANÓMETRO)			

FOTOS

VISTA DEL FRONTIS



VISTA FINAL INSTALADO



OBSERVACIONES DE LA INSTALACION

LA CAJA DE CONEXIÓN CUENTA CON TAPA TERMOPLASTICA

LOS INSTRUMENTOS SON INSTALADOS CON LA AUTORIZACION DE LOS MORADORES

## Anexo 9

Purgado de hidrantes.

### Fotografía 1

*Toma de presión y purgado de hidrante ubicado en Jr. Junín cuadra 33 Urb. Perú – San Martín de Porres.*



### Fotografía 2

*Toma de presión y purgado de hidrante ubicado en Av. 12 de Octubre cuadra 4 Urb. Perú – San Martín de Porres.*



Continúa Anexo 9

**Fotografía 3**

*Toma de presión y purgado de hidrante ubicado en Jr. Junín cuadra 38 Urb. Perú – San Martín de Porres.*



**Fotografía 4**

*Toma de presión y purgado de hidrante ubicado en Jr. Callao cuadra 6 Urb. Perú – San Martín de Porres.*



Continúa Anexo 9

**Fotografía 5**

*Toma de presión y purgado de hidrante ubicado en Jr. Ayacucho cuadra 39 Urb. Perú – San Martín de Porres.*



**Fotografía 6**

*Toma de presión y purgado de hidrante ubicado en Jr. Andahuaylas cuadra 7 Urb. Perú – San Martín de Porres.*



## Anexo 10

### Reportes de los Data Logger.

#### Gráfica 1

Lectura de Data Logger GL 6879 cerca a número de suministro 3538430.



Nota: (Yataco, comunicación personal, 7 de agosto del 2024)

#### Gráfica 2

Lectura de Data Logger GL 7621 cerca a número de suministro 3540075.



Nota: (Yataco, comunicación personal, 7 de agosto del 2024)

### Gráfica 3

Lectura de Data Logger GL 7617 cerca a número de suministro 3537761.



Nota: (Yataco, comunicación personal, 7 de agosto del 2024)

### Gráfica 4

Lectura de Data Logger GL 6877 cerca a número de suministro 5961155.



Nota: (Yataco, comunicación personal, 7 de agosto del 2024)

### Gráfica 5

Lectura de Data Logger GL 7632 cerca a número de suministro 3536351.



Nota: (Yataco, comunicación personal, 7 de agosto del 2024)

### Gráfica 6

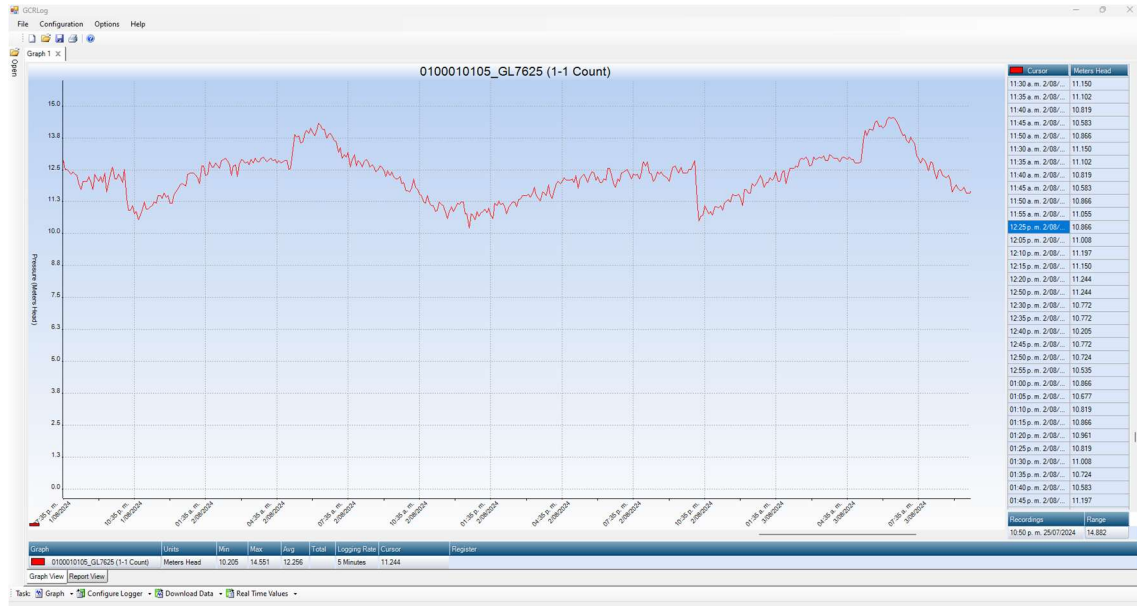
Lectura de Data Logger GL 7636 cerca a número de suministro 3540985.



Nota: (Yataco, comunicación personal, 7 de agosto del 2024)

### Gráfica 7

Lectura de Data Logger GL 7625 cerca a número de suministro 3541134.



Nota: (Yataco, comunicación personal, 7 de agosto del 2024)

### Gráfica 8

Lectura de Data Logger GL 7634 cerca a número de suministro 3536537.



Nota: (Yataco, comunicación personal, 7 de agosto del 2024)

## Anexo 11

Coordinaciones y gestiones con SEDAPAL.



### CARGO DE RECEPCIÓN

**Estimado(a) usuario(a)**

**Su documento ha sido procesado con Exito y como evidencia de la recepción se le remite la siguiente información:**

---

NÚMERO REGISTRO :	44789
FECHA DE RECEPCIÓN :	2024/04/17
CANAL DE PRESENTACIÓN:	VIRTUAL
REMITENTE:	DENNY JAVIER JAHNSEN QUEZADA
NÚMERO DE DOCUMENTO :	01-2024
ASUNTO :	Presentación electrónica del Trámite Solicitud de Acceso a la Información Pública
NÚMERO FOLIO :	1

---

Usted podrá, saber el estado de su documento ingresando a nuestra sede digital en el siguiente link: <https://sedapal.administracionelectronica.net/SedeElectronica/> y emplear el Número de Registro antes brindado.

Estamos para atenderlo

**Sedapal**



**CARGO DE RECEPCIÓN**

**Estimado(a) usuario(a)**

**Su documento ha sido procesado con Exito y como evidencia de la recepción se le remite la siguiente información:**

---

NÚMERO REGISTRO :	74820
FECHA DE RECEPCIÓN :	2024/07/05
CANAL DE PRESENTACIÓN:	VIRTUAL
REMITENTE:	DENNYS JAVIER JAHNSEN QUEZADA
NÚMERO DE DOCUMENTO :	003-2024
ASUNTO :	Solicito la oportunidad de visitar sus instalaciones y reunirme con sus especialistas para entender mejor el funcionamiento de los sectores hidráulicos 206, 208 209 y 210.
NÚMERO FOLIO :	2

---

Usted podrá, saber el estado de su documento ingresando a nuestra sede digital en el siguiente link: <https://sedapal.administracionelectronica.net/SedeElectronica/> y emplear el Número de Registro antes brindado.



**CARGO DE RECEPCIÓN**

**Estimado(a) usuario(a)**

**Su documento ha sido procesado con Exito y como evidencia de la recepción se le remite la siguiente información:**

---

NÚMERO REGISTRO :	129702
FECHA DE RECEPCIÓN :	2024/12/10
CANAL DE PRESENTACIÓN:	VIRTUAL
REMITENTE:	DENNYS JAVIER JAHNSEN QUEZADA
NÚMERO DE DOCUMENTO :	5
ASUNTO :	LEY DE TRANSPARENCIA - Solicito información relacionada con los variables hidráulicas promedio HORARIO (caudal, presión de entrada, presión de salida, apertura de válvula y volumen) de los meses julio, agosto y septiembre del 2024, correspondientes a
NÚMERO FOLIO :	11

---

Usted podrá, saber el estado de su documento ingresando a nuestra sede digital en el siguiente link: <https://sedapal.administracionelectronica.net/SedeElectronica/> y emplear el Número de Registro antes brindado.



Equipo Control y Reducción de Fugas



Firmado digitalmente por:  
GAMARRA LEÓN Liliانا  
20100152358 soft  
Motivo: En señal de  
conformidad  
Fecha: 23/04/2024 11:46:

Memorando Nº 410-2024-ECRF

: Walter Enrique Zegarra Figueroa  
Secretario General

Asunto : Atención de pedido de planos de redes de agua potable y alcantarillado de los Sectores 208, 209 y 210, distrito de San Martín de Porres, requeridos por el Sr. Dennys Javier Jahnsen Quezada, para elaboración de tesis, al amparo de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública - Ley Nº 27806.

Referencia : Memorando Nº 270-2024-ESG, Registro 44789.

Fecha : La Atarjea, 22 de abril del 2024.

En atención a lo solicitado mediante el documento de la referencia, recibido en nuestras oficinas el **18.04.2024**, hemos enviado en fecha 22.04.2024 y 23.04.2024, vía correo electrónico a la dirección [transparencia@sedapal.com.pe](mailto:transparencia@sedapal.com.pe), en formatos **GDB ArcGIS - Versiones 10.3 y 10.8, KMZ y xls**, copia de los planos catastrales de las redes de agua potable y alcantarillado administradas por SEDAPAL correspondientes a la zona del asunto y el reporte de Agua No Facturada de los sectores 208, 209 y 210 (enero 2024, febrero 2024 y marzo 2024), a fin de que se sirva responder directamente al interesado.

En la carta de respuesta, sírvanse incluir los siguientes párrafos:

"La información que estamos proporcionando es reservada".

"Debido a que las redes de agua y alcantarillado han sido instaladas en diferentes periodos de tiempo, y siendo posible que en el transcurrir de los años los niveles de las vías hayan sido modificadas, deberán considerar como referenciales las distancias y profundidades indicadas en nuestros planos".

"Sin perjuicio de la atención a la información requerida, a través de la presente se comunica que ante cualquier daño, deterioro o afectación a las redes e infraestructura de SEDAPAL, generado por tercero, SEDAPAL se reserva el derecho de iniciar las acciones civiles que correspondan, a fin de que el(los) responsable(s), individual o solidariamente, cumplan con el pago de la indemnización por los daños y perjuicios ocasionados, incluyendo daño emergente y lucro cesante; en perjuicio de las acciones penales respectivas, conforme al marco legal vigente".

Atentamente,

Liliana Gamarra León  
Jefa Equipo Control y Reducción de Fugas

Adj.: Correo de envío de extracción GIS  
cc: GC/GSN/OGH/ARA.



Firmado digitalmente por:  
HERNANDEZ TATAJE Sandy  
AneI FAU 20100152358 soft  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 23/04/2024 11:26:02-0500



Firmado digitalmente por:  
VERA ROJAS Luis Eugenio  
FAU 20100152358 soft  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 23/04/2024 11:31:26



Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima  
Equipo Secretaría General

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Carta n.º 802-2024-ESG

Lima, 17 Diciembre 2024

Señor  
Dennys Javier Jahnsen Quezada  
[dennys.jahnsen.q@uni.pe](mailto:dennys.jahnsen.q@uni.pe)

Asunto : Atención a solicitud de acceso a la información pública – Ley N° 27806 presentada por la Mesa de Parte COP La Atarjea Registro 129702-2024 del 12.12.2024

Es grato dirigirme a usted, con relación a su pedido de información efectuado con el documento de la referencia, en mérito a la Ley N° 27806 - Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Al respecto, debe tenerse en cuenta que, el artículo 10° del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, establece que: ***"Las entidades de la Administración Pública tienen la obligación de proveer la información requerida si se refiere a la contenida en documentos escritos (.....), o en cualquier otro formato, siempre que haya sido creada u obtenida por ella o que se encuentre en su posesión o bajo su control"***; asimismo, el párrafo tercero del artículo 13° de la referida norma, dispone que: ***"La solicitud de información no implica la obligación de las entidades de la Administración Pública de crear o producir información con la que no cuente o no tenga obligación de contar al momento de efectuarse el pedido... Esta Ley tampoco permite que los solicitantes exijan a las entidades que efectúen evaluaciones o análisis de la información que posean"*** (el resaltado y subrayado es nuestro).

Bajo este contexto, el Equipo Distribución Primaria de la Gerencia de Producción y Distribución Primaria traslada el Memorando N° 2070 -2024-EDP y anexos, los mismos que se adjuntan en atención a su requerimiento.

Por ello, conforme a lo establecido en el artículo 12° del Reglamento de la Ley N° 27806 - Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, dicha documentación, se remite escaneada al correo electrónico: [dennys.jahnsen.q@uni.pe](mailto:dennys.jahnsen.q@uni.pe) y de acuerdo con lo señalado en su solicitud.

Sin otro particular, quedo de usted,

Atentamente,

Gloria Delicia Melgarejo Olortegui  
Funcionaria responsable de atender las solicitudes  
de acceso a la información - COP La Atarjea

GDMO/fyns



Firmado por:  
MELGAREJO  
OLORTEGUI Gloria  
Delicia FAU  
20100152356 soft  
Fecha: 2024.12.17  
13:26:51





Firmado por: ARRIETA  
VALDELOMAR Nahim  
Sayto FAU  
20100152356 soft  
Fecha: 2024.12.13  
12:42:00



Equipo Distribución Primaria

Memorando N° 2070-2024-EDP

A : Gloria Melgarejo Olortegui  
Jefa Equipo Secretaría General

Asunto : Remisión de pedido de información por Ley de Transparencia y Acceso a la  
Información Pública Ley N° 27806 presentado por el señor Dennys Javier Jahnsen  
Quezada.

Referencia : Memorando N° 954-2024-ESG (Registro 129702-2024)  
Solicitud de información recibida por la mesa de partes COP La Atarjea  
mpv\_sedapal@sedapal.com.pe el 10.12.2024 Registro 129702-2024

Fecha : Lima, 13 de diciembre del 2024

---

Mediante el presente me dirijo a Usted en atención al documento de la referencia, a través del cual solicita remitir la información solicitada por el señor Dennys Javier Jahnsen Quezada.

Al respecto, se adjunta a la presente información de las variables hidráulicas promedio horario (caudal, presión de entrada, presión de salida, apertura de válvula y volumen) de los meses de julio, agosto y setiembre del 2024 del sector hidráulico 208, ubicado en el distrito de San Martín de Porres.

Atentamente,

*Documento firmado digitalmente*

Nahim Arrieta Valdelomar  
Jefe Equipo Distribución Primaria

cc.: file



Firmado por: LEON  
MEDINA Victor Raul  
FAU 20100152356  
soft  
Fecha: 2024.12.13  
12:12:10



Equipo Distribución Primaria

Memorando N° 661 -2024-EDP

A : Walter Enrique Zegarra Figueroa  
Secretario General

Asunto : Remisión de pedido de información por Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública Ley N° 27806 presentado por el señor Dennys Javier Jahnsen Quezada.

Referencia : a) Memorando N° 270-2024-ESG

Fecha : Lima, 24 de Abril del 2024

Me dirijo a usted en atención al documento de la referencia a), relacionado a la solicitud de información del Sr. Dennys Javier Jahnsen Quezada para el proyecto de tesis titulado "Metodología para la Gestión de la Infraestructura en Redes de Distribución de Agua aplicando el proceso de Jerarquías Analíticas".

Al respecto, se adjunta la información solicitada de las variables hidráulicas promedio horaria de los meses de enero, febrero y marzo del 2024 de los sectores 208,209 y 210 en el siguiente link:

[https://drive.google.com/drive/folders/1CwPJDD3MYcK6e9Qtsr5uUZUU5x6UEUna?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1CwPJDD3MYcK6e9Qtsr5uUZUU5x6UEUna?usp=drive_link)

Atentamente.

*Documento firmado digitalmente*

Nahim Arrieta Valdelomar  
Jefe Equipo Distribución Primaria (e)

c.c.: /GSN/GC/ECRF/EOMR-C  
Reg. 44789-24



Firmado digitalmente por  
ARRIETA VALDELOMAR  
Nahim Sayto FAU  
20100152356 soft  
Fecha: 2024.04.24 10:26:44  
-05'00'



Firmado digitalmente por:  
SAAVEDRA ZA/ALETA  
Jonathan Alberto FAU 201001523  
soft  
Inkativo: En señal de  
conformidad  
Fecha: 24/04/2024 10:22:40-0500