



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Criterios de evaluación de redes de agua potable enfocado
en la priorización de su cambio en el distrito de Santiago
de Surco, Lima**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Pedro Noe Jaramillo Guillen

Asesor:
Dr. Ing. Jorge Demetrio Reyes Salazar

Piura, agosto de 2025



Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Pedro Noe Jaramillo Guillen, egresado del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI: 74084025, declaro que:

Soy autor del trabajo final titulado:

"Criterios de evaluación de redes de agua potable enfocado en la priorización de su cambio en el distrito de Santiago de Surco, Lima"

El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil.

El texto de mi trabajo final es original y no vulnera los derechos de terceros o, de ser el caso, derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para lo cual, he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas. Asimismo, el texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico; y que la investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

En caso de detectarse el incumplimiento de lo declarado asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

La asesoría del trabajo estuvo a cargo de los siguientes docentes de la Universidad de Piura:

- Dr. Ing. Jorge Demetrio Reyes Salazar, identificado con DNI: 16477301

Declaro (declaramos) que:

Luego de haber empleado el software de coincidencia Turnitin, revisado las fuentes de información señaladas por el autor, y en razón de mi (nuestra) experiencia como investigador(es), declaro (declaramos) que las ideas expuestas en el trabajo final alcanzan las condiciones de calidad, integridad y originalidad acorde a los objetivos institucionales y estándares en materia de investigación. Finalmente, no asumo (asumimos) responsabilidad por la posible vulneración de derechos de autor en el trabajo final referido, pues tal responsabilidad es exclusiva del autor.

Fecha: 21/08/2025.


.....
Firma del autor¹


.....
Firma del asesor¹

¹ Firma idéntica al DNI. No se admite digital, salvo certificado.



Dedicatoria

A Dios, que me dio la fortaleza para seguir a pesar de las dificultades que se presentaron en el camino.

A mi madre, Ruth Guillén Padilla, y mi padre, Pedro Jaramillo Jimenez, por enseñarme los valores que he aplicado en mi vida, y por darme una educación que me ha permitido abrirme paso por la vida.

A mi hermana Gabriela que es un ejemplo de perseverancia y mi hermano Pablo a quien siempre he tratado de dar un buen ejemplo.

Agradecimientos

A mis padres por darme las herramientas necesarias para seguir adelante en la vida.

A mi familia que siempre está en mi vida para darme tranquilidad y alegría.

A los ingenieros German Ramos Ortega y Heiner Huayta Macetas de la empresa prestadora de servicios SEDAPAL, quienes me brindaron enseñanzas y apoyo en la información necesaria para desarrollar la tesis.

Resumen

Hoy en día las empresas prestadoras de servicio de agua potable se enfrentan a un gran desafío con respecto al estado en el que se encuentra su infraestructura de distribución de agua potable. Frecuentemente el sistema de agua potable suele deteriorarse y presentar fallas las cuales generan pérdidas significativas del recurso hídrico.

Considerando lo expuesto, la sustitución de la infraestructura que ha envejecido representa uno de los principales retos para las empresas prestadoras de servicio de agua potable, esto dado que casi en su totalidad la infraestructura de redes de agua potable se encuentran enterradas, su inspección directa resulta inviable, dificultando identificar con precisión qué tramos de tubería se encuentran en un estado crítico y requieren reemplazo con mayor urgencia.

Debido a esto, se plantearon cinco criterios que fueron evaluados en cada tramo de tubería de agua potable dentro del distrito de Santiago de Surco, tomado como caso de estudio: tipo de material, edad de la infraestructura, roturas de tubería, fallas en conexiones domiciliarias y fugas no visibles detectadas, cada uno de los cuales recibió una ponderación. De esta manera facilita determinar cuáles son las que necesitan un cambio con mayor urgencia. Para alcanzar esta finalidad, se solicitó a la empresa prestadora de servicios SEDAPAL la información de las redes secundarias de agua potable en formato shapefile dentro de la cual se encuentran los siguientes elementos: tuberías secundarias, accesorios, hidrantes, válvulas del sistema, conexiones domiciliarias, reservorios y sectores. Asimismo, contiene información del material, año de instalación, número de suministro, ubicación georreferenciada, entre otras. Además, se solicitó las incidencias operativas como: roturas de tubería, roturas de conexiones domiciliarias de los cinco últimos años en formato Excel para poder ser trabajada.

Una vez obtenida la información se analizó y seleccionó la necesaria y adecuada para la investigación. Luego, utilizando el software ArcMap se digitalizaron las redes de agua potable y todas las incidencias operativas de roturas y fugas no visibles. A continuación, se obtuvo información de cada uno de los criterios a evaluar, observando que dentro de cada criterio habían unas variables, y se les asignó puntaje a cada una de ellas.

Utilizando la herramienta de selección por distancia del software ArcMap, se detectaron todas las tuberías que se habían visto afectadas por las incidencias operativas de rotura y fugas no visibles logrando de esta forma asignar una cantidad a cada variable y en base al número de veces que ocurrió la incidencia un puntaje. De esta manera se obtuvo el listado de tuberías en orden descendente de acuerdo al puntaje.

Finalmente se ha obtenido una propuesta de cinco criterios que ayudarán a evaluar y determinar cuales son los tramos de tubería que necesitan un cambio con mayor urgencia.

Tabla de contenido

Introducción	9
Capítulo 1 Marco teórico y contextual.....	10
1.1 Red secundaria de agua potable	10
1.1.1 Componentes.....	10
1.1.2 Tipos de fallas en tuberías	12
1.2 Métodos de renovación de redes de distribución de agua potable	13
1.2.1 Método con zanja abierta	13
1.2.2 Método sin zanja o cracking.....	14
1.3 Envejecimiento de las tuberías de agua potable	14
1.4 Métodos de priorización de cambio de tuberías	15
1.4.1 Método de priorización basada en riesgo	15
1.4.2 Método Parsons.....	16
1.5 Situación actual del Centro de Servicio Surquillo.....	16
Capítulo 2 Metodología.....	20
2.1 Evaluación de criterios.....	20
2.1.1 Tipo de material.....	20
2.1.2 Edad de la infraestructura	20
2.1.3 Roturas de tubería de agua potable.....	21
2.1.4 Fallas en conexiones domiciliarias.....	22
2.1.5 Fugas no visibles detectadas	22
2.2 Análisis e interpretación de datos	22
2.2.1 Análisis de datos	22
2.2.2 Ingreso de información a ArcMap	24
2.2.3 Tuberías por tipo de criterio en ArcMap.....	30
2.3 Evaluación de tuberías según criterios definidos.....	31
2.4 Asignación de puntaje por criterio	35
Capítulo 3 Resultados.....	38
3.1 Propuesta de criterios de evaluación	38
3.2 Selección de tuberías con mayor puntaje	39
3.3 Listado de tuberías	39
3.4 Planos con tuberías a priorizar cambio	42
Conclusiones.....	43
Recomendaciones	44
Glosario	45
Lista de abreviaturas	46
Referencias.....	47
Apéndices	49
Apéndice A. Tablas de puntajes de Ingenieros de SEDAPAL.....	49

Lista de tablas

Tabla 1 Matriz de riesgo.....	15
Tabla 2 Conexiones domiciliarias de agua potable activas emen el mes de abril de 2025.....	16
Tabla 3 Longitud de tuberías de las Redes Secundarias de agua potable del distrito de	20
Tabla 4 Longitud de tuberías por rango de edad.....	21
Tabla 5 Roturas de tubería de agua potable.....	22
Tabla 6 Roturas de conexiones domiciliarias de agua	23
Tabla 7 Roturas de conexiones domiciliarias de agua	23
Tabla 8 Evaluación de criterios por tramo de tubería	34
Tabla 9 Vulnerabilidad del material frente a la deformación del suelo	36
Tabla 10 Puntajes asignados para el reemplazo de tubería para cada criterio.....	37
Tabla 11 Puntajes asignados por cada tipo de criterio	38
Tabla 12 Listado de tuberías con mayor puntaje total obtenido	39
Tabla 13 Listado de tuberías con puntaje de 6.0	41
Tabla 14 Listado de tuberías con menor puntaje total obtenido.....	41



Lista de figuras

Figura 1 Ubicación del Departamento de Lima	18
Figura 2 Ubicación del distrito de Santiago de Surco	19
Figura 3 Lista de tuberías con su rango de edad en años.....	24
Figura 4 Agregando los datos al software ArcMap.....	25
Figura 5 Agregamos la capa de tuberías al software ArcMap	25
Figura 6 Uso del comando Relate para georeferenciar las redes de agua potable.....	26
Figura 7 Tuberías de agua potable del distrito de Santiago de Surco	27
Figura 8 Duplicando la columna del número de suministro a cada rotura de tubería.....	28
Figura 9 Selección de tuberías de polietileno de alta densidad	29
Figura 10 Roturas de tubería a retiradas de la base de datos	29
Figura 11 Ejemplo de punto de rotura a retirar.....	30
Figura 12 Seleccionando la simbología de rango de edad de tuberías	30
Figura 13 Tuberías por rango de edad	31
Figura 14 Redes de agua potable por rango de edad en ArcMap	31
Figura 15 Selección de tuberías donde hubo roturas	32
Figura 16 Selección de números de suministros duplicados	33
Figura 17 Selección de roturas en ArcMap	33
Figura 18 Selección de tuberías rotas con suministro repetido	34
Figura 19 Mapa de tuberías con priorización de cambio	40
Figura 20 Tubería TA-246248 con el mayor puntaje obtenido.....	42
Figura 21 Tubería TA-245155 con el segundo mayor puntaje obtenido.....	42



Introducción

El acceso sostenible y eficiente al agua potable representa uno de los principales retos para las ciudades en crecimiento, en especial en contextos urbanos como el de Lima Metropolitana. La infraestructura de distribución de agua potable, compuesta principalmente por redes secundarias, enfrenta un progresivo deterioro debido a factores como la antigüedad de las tuberías, la calidad de los materiales empleados, la falta de mantenimiento oportuno y el impacto de agentes externos. Este deterioro no solo compromete la calidad del servicio, sino que también ocasiona pérdidas significativas del recurso hídrico, afectando tanto a la población como a las empresas prestadoras del servicio.

En ese marco, la presente investigación tiene como objetivo proponer una metodología de priorización para el cambio de redes secundarias de agua potable, aplicada como caso de estudio a el distrito de Santiago de Surco, bajo la jurisdicción del Centro de Servicio Surquillo de SEDAPAL. Para ello, se han definido cinco criterios técnicos: tipo de material, edad de la infraestructura, número de roturas en la tubería, fallas en conexiones domiciliarias y fugas no visibles detectadas. Estos criterios permiten evaluar el estado actual de los tramos de tuberías mediante un sistema de puntajes ponderados, contribuyendo a una toma de decisiones más eficiente y focalizada en la gestión de mantenimiento.

El desarrollo de la investigación se apoya en herramientas geoespaciales como ArcMap, que permiten integrar datos técnicos en formato shapefile con registros históricos de incidencias operativas. Esta integración posibilita la georreferenciación de los tramos de red más vulnerables y, en consecuencia, la elaboración de un listado priorizado que oriente las acciones de renovación.

La importancia de este estudio radica en ofrecer una herramienta práctica y replicable que apoye la planificación estratégica de la infraestructura hidráulica, alineando la gestión técnica con los principios de sostenibilidad, eficiencia operativa y responsabilidad social en la provisión del servicio de agua potable.

Capítulo 1

Marco teórico y contextual

En el presente capítulo se explicarán los conceptos de cada uno de los componentes que permiten transportar el agua potable a las viviendas de la población a través de una red secundaria de agua potable. Además, poner en contexto como SEDAPAL viene trabajando actualmente para mantener un servicio de calidad.

1.1 Red secundaria de agua potable

Es una de las partes del sistema de distribución de agua potable, encargada de garantizar una presión y caudal suficiente para un buen servicio y llevar el líquido elemento proveniente de la planta y redes primarias hasta los usuarios finales como: predio unifamiliar, multifamiliar, fabricas, comercios entre otros (Morales, 2015).

La red secundaria de agua potable se identifica por tener tuberías con un diámetro de 300 milímetros hasta los 100 milímetros, la cual a diferencia de la red primaria esta tiene diámetros mayores a 300 milímetros (Scott, 2024).

1.1.1 Componentes

Las redes secundarias de agua potable tienen diferentes elementos que trabajan en conjunto para brindar un óptimo servicio al usuario entre ellos se encuentran: tuberías, válvulas de seccionamiento, válvulas de aire, válvulas de purga, conexiones domiciliarias, grifos contra incendio, cámaras reductoras de presión y cámaras de Dataloggers.

1.1.1.1 Tuberías. Son elementos de forma cilíndrica que se encuentra hueco en los extremos y permite transportar fluidos (líquidos o gases). Además es el principal elemento de una red secundaria de agua potable, encargada de transportar el líquido elemento desde su origen hasta los usuarios finales de manera óptima y con buena calidad, evitando la mayor cantidad de pérdidas (Scott, 2024). Existen diferentes tipos de materiales de tubería, siendo las mas utilizadas en el rubro del agua potable:

- **Fierro fundido** ha sido uno de los materiales más antiguos utilizados en la red de distribución de agua potable. Su implementación comenzó en 1834, cuando el ciudadano británico Thomas Gill, mediante un acuerdo con el gobierno de Orbegoso, sustituyó las tuberías de arcilla por conductos de fierro en el tramo que iba desde la Caja de Santo Tomás hasta la fuente ubicada en la Plaza Mayor. No obstante, el uso generalizado de este tipo de tuberías no se consolidó sino hasta la segunda mitad del siglo XIX (Orrego Penagos, 2011).
- **Asbesto cemento** son conductos compuestos por una mezcla homogénea de cemento hidráulico reforzado con fibras de asbesto, diseñadas para resistir presiones internas y externas, utilizadas tradicionalmente en redes de distribución de agua y alcantarillado.

Aunque fueron ampliamente utilizadas, hoy en día su uso está restringido o prohibido en muchos países debido a los riesgos para la salud asociados con la inhalación de fibras de asbesto, que pueden causar enfermedades respiratorias graves como la asbestosis, el mesotelioma o el cáncer de pulmón (Imran, 2024).

- **Policloruro de vinilo** son conductos plásticos fabricados a partir de un polímero termoplástico, diseñadas para el transporte de agua potable, aguas residuales y otros fluidos, destacándose por su resistencia a la corrosión, ligereza, durabilidad y facilidad de instalación (Asoven, 2018).
- **Polietileno de alta densidad** son conductos plásticos flexibles y sismoresistentes, fabricados a partir de un polímero termoplástico, diseñados para la conducción de agua potable, aguas residuales, riego y otros fluidos a presión, destacándose por su durabilidad, resistencia a la corrosión, y capacidad para soportar esfuerzos mecánicos y químicos (Jieya, 2024).

Las tuberías funcionan mediante elementos de unión como: codos de 90 grados, codos de 45 grados, tees de electrofusión o embone, cruces de electrofusión o embone, mangos de electrofusión, acople recto, acople escalonado, bridas de acero, uniones, etc (Scott, 2024).

1.1.1.2 Válvulas de seccionamiento o compuerta. Es un dispositivo de movimiento lineal diseñado para iniciar o detener el flujo de un fluido, se denomina válvula compuerta porque utiliza una placa de acero plana en forma de compuerta que se eleva hacia dentro y hacia fuera perpendicularmente al flujo para iniciar o detener su paso. Este tipo de válvulas son principalmente utilizadas para realizar cortes de flujos durante el mantenimiento correctivo o preventivo, procedimiento de desvío de flujos (USAID, 2016).

1.1.1.3 Válvulas de aire son elementos utilizados en los sistemas de tuberías que transportan un fluido cuya función principal es liberar o permitir el ingreso de aire en la tubería, algunas de las válvulas más utilizadas son la válvula de purga de aire automática, válvula de admisión y expulsión de aire, válvula combinada. Este elemento sirve dentro de la red para: (USAID, 2016).

- **Expulsar aire acumulado:** Durante el llenado de una tubería, el aire puede quedar atrapado. Esto forma bolsas de aire que reducen la eficiencia del flujo, provocan golpes de ariete o incluso bloqueos. La válvula permite liberar ese aire automáticamente.
- **Permitir la entrada del aire:** Al vaciar una tubería o si ocurre una caída súbita de presión, se puede generar vacío dentro del sistema. Esto puede provocar colapsos o daños estructurales en la tubería. La válvula permite que entre aire para igualar la presión.

- **Evitar daños mecánicos:** Controlar la presencia de aire protege bombas, medidores y otros equipos hidráulicos.

1.1.1.4 Conexiones domiciliarias. Son las instalaciones que permiten llevar los servicios públicos como: agua potable, alcantarillado, gas, electricidad o telecomunicaciones desde la red principal o matriz hasta el predio. De esta manera permiten proporcionar un acceso individual a los usuarios, asegurando que cada casa, edificio o establecimiento pueda usar ese servicio de forma segura, legal y medible. Toda conexión domiciliar cuenta con un micromedidor el cual es un medidor volumétrico que facilita la facturación del servicio según consumo real, además evita conexiones clandestinas (USAID, 2016).

1.1.1.5 Grifos contra incendio. Conocidos también como hidrantes son los elementos conectados a la red matriz de agua potable mediante una tubería de 4 pulgadas como mínimo según el Reglamento Nacional de Edificaciones que surten de agua potable a los bomberos para poder extinguir incendios, llenar camiones cisterna. Además sirven para realizar el purgado de las redes secundarias, eliminando los residuos o sedimentos debido a que con el tiempo puede acumularse tierra, óxidos o partículas en la red, manteniendo de esta manera una buena calidad del servicio (Zevotek, 2024).

1.1.1.6 Válvulas reductoras de presión. Existen cámaras de concreto que permiten la instalación de una válvula reductora de presión en la tubería de agua potable ayudando a reducir y regular la presión del fluido que se transporte, de esta manera se evita tener grandes presiones en zonas que no lo requieren pudiendo causar una rotura de las tuberías de la red secundaria de agua potable (Carpio & Román Sánchez, 2020).

1.1.1.7 Dataloggers. Un registrador de datos, o *Data Logger*, es un dispositivo autónomo, por lo general compacto y de costo accesible, diseñado para observar y almacenar información en tiempo real, como el caudal, el voltaje o la corriente eléctrica. Este tipo de equipo suele preferirse frente a los sistemas de adquisición de datos (DAQ) en situaciones donde no se necesita una captura rápida de datos, pero sí es importante mantener el registro durante largos periodos. Además, los registradores de datos presentan una ventaja económica, ya que suelen ser más baratos que los sistemas DAQ (Smith, 2024).

1.1.2 Tipos de fallas en tuberías

1.1.2.1 Daños físicos

- Falla circunferencial provocada por la dilatación y contracción permanente de la tubería, principalmente en zonas donde constantemente hay cambios de temperatura ambiental. Asimismo, el movimiento diferencial del suelo desata este tipo de fallas (Grupo Hidráulica, 2021).

- Falla longitudinal ocurre a lo largo de la tubería mostrándose como una grieta, ocurre mayormente por sobrepresiones en la tubería, una manera rápida de repararlas es con una abrazadera de unión, en caso de que la grieta tenga una longitud mayor al de la abrazadera se requerirá cambiar un tramo de tubería usando dos (02) abrazaderas de unión a los extremos (Grupo Hidráulica, 2021).
- Falla explosiva en la tubería se da cuando las paredes están debilitadas principalmente por el factor de corrosión por lo que debe evaluarse el cambio total de la tubería (Grupo Hidráulica, 2021).

1.1.2.2 Afectación por terceros: ocurren cuando un ente externo a la tubería es el que provoca el daño, el caso mas común se da cuando las empresas de servicio público, privadas o municipios ejecutan obras que involucran un movimiento de tierras y durante la excavación con la retroexcavadora o algún otro equipo llegan a romper total o parcialmente la tubería de agua potable generando un aniego en la vía pública que debe ser reparado inmediatamente. Otro caso se da con las raíces de los arboles, las cuales a medida que crecen generan un aplastamiento sobre la tubería generando una rotura de la misma.

1.2 Métodos de renovación de redes de distribución de agua potable

A continuación, se describirá el método convencional de zanja abierta y el método sin zanja, debido a que son actualmente las formas de renovación de tuberías con mayor tendencia en el mundo.

1.2.1 Método con zanja abierta

Este procedimiento consiste en abrir una zanja a cielo, siendo el método comúnmente más empleado en nuestro entorno para renovar redes de agua potable y sistemas de alcantarillado. El proceso implica la excavación de una franja rectangular de aproximadamente 80 centímetros de ancho y de longitud variable, según las necesidades del proyecto. Dependiendo de la profundidad de la zanja y del tipo de suelo, suele requerirse la colocación de entibados para garantizar la estabilidad de las paredes. Una vez realizada la excavación, se procede a instalar la nueva tubería, la cual debe apoyarse sobre una cimentación adecuada, que puede estar compuesta por material granular compactado o concreto, conforme a las exigencias del servicio (Ochoa, 2012).

Cuando esta intervención se lleva a cabo en áreas urbanas consolidadas, es fundamental implementar una señalización adecuada que permita establecer desvíos mientras se ejecutan las labores de rotura y posterior reposición del pavimento en las vías donde se instalará la tubería. Las excavaciones pueden realizarse de forma manual o mediante equipos mecánicos, siguiendo siempre los lineamientos técnicos establecidos. Estas deben ser diseñadas y ejecutadas de tal manera que garanticen una colocación de las tuberías que sea tanto segura como eficiente.

1.2.2 Método sin zanja o cracking

El método sin zanja o cracking es uno de los métodos que hace uso de la tecnología para instalar una tubería sin la necesidad de retirar la tubería existente, para esto se hace uso de un cabezal de fractura en la parte delantera de la tubería a instalar, que a medida que avanza con un desplazamiento mecánico va rompiendo la tubería existente e instalando la nueva tubería. Se instala una tubería del mismo diámetro de la existente o máximo una del mismo diámetro del cabezal de fractura.

La tubería existente es fragmentada e incrustada en el suelo circundante por la acción intrusiva del cabezal. Para poder realizar el método cracking se requiere una ventana de inicio para realizar el lanzamiento del cabezal y otra ventana al final que permitirá tener una llegada de este. La parte posterior del cabezal de fractura se conecta a la nueva tubería y la parte delantera se conecta a un cable de tracción. La nueva tubería y el cabezal de fractura son introducidos por la ventana de inicio y el cable de tracción se encuentra conectado a la parte delantera del cabezal de fractura hasta la ventana de llegada que está conectado a una máquina hidráulica la cual genera una potencia de ruptura de avance para romper la tubería existente (Garayar, 2015).

La parte frontal del cabezal de fractura presenta un diámetro menor al de la tubería existente, lo cual permite mantener una trayectoria alineada y asegurar una fractura controlada y homogénea. A diferencia de la parte posterior del cabezal, la cual tiene un diámetro superior al de la tubería existente, lo que facilita su fractura durante el proceso. Además, esta base presenta una anchura ligeramente superior al diámetro externo de la tubería que se va a instalar. Esto permite reducir la fricción en el proceso de inserción y asegura un margen adecuado para maniobrar el nuevo conducto con facilidad (Garayar, 2015).

1.3 Envejecimiento de las tuberías de agua potable

Las tuberías de agua potable a medida que pasa el tiempo se van deteriorando por una combinación de factores físicos, químicos y ambientales que degradan su material, como puede ser:

- **Corrosión:** en el caso de tuberías como las de fierro fundido, sufren corrosión interna por el agua que transita por la tubería y externa por el suelo y su humedad que presenta. Esto causa óxido, reducción del diámetro interno y eventualmente fugas o roturas (Fso International, 2015).
- **Abrasión interna:** esto debido al flujo continuo de agua, especialmente si contiene partículas sólidas (arena, sedimentos), puede desgastar el interior de la tubería (Makris, Langeveld, & Clemens, 2019).

- **Fatiga del material:** a consecuencia de las variaciones de presión dentro de la red provocadas por cierres bruscos de válvulas, golpes de ariete, generando esfuerzos repetitivos que debilitan el material (Makris, Langeveld, & Clemens, 2019).
- **Factores químicos del agua:** un pH demasiado ácido o básico, o la presencia de ciertos iones (como cloruros o sulfatos), pueden acelerar la degradación de los materiales (Makris, Langeveld, & Clemens, 2019).
- **Edad del material:** factor importante ya que todos los materiales son diseñados con una vida útil y una vez se sobrepasa esta se presentan fallas si no se le ha dado un buen mantenimiento (Makris, Langeveld, & Clemens, 2019).

1.4 Métodos de priorización de cambio de tuberías

1.4.1 Método de priorización basada en riesgo

Es una metodología que permite evaluar, clasificar y decidir qué activos (como tuberías) deben ser reemplazados o rehabilitados según el riesgo que representan. Se basa en una fórmula, siendo esta la siguiente:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad de falla} \times \text{Consecuencia de Falla}$$

Basándose la probabilidad de falla según: edad, material, diámetro, presión interna, cobertura, condiciones del terreno y la consecuencia de falla se basa en factores como: ubicación geográfica, número de personas afectadas, daños esperados tanto económicos, ambientales y sociales (Hommes, 2022).

Tabla 1

Matriz de riesgo

	CF: Bajo (1-2)	Medio (3)	Alto (4-5)
PF: Bajo (1-2)	Bajo	Bajo	Medio
Medio (3)	Bajo	Medio	Alto
Alto (4-5)	Medio	Alto	Muy alto

Nota: Tomado de ASME 14th International Pipeline Conference (Martin, Eric, Paul, Oleg, & Jan, 2022)

1.4.2 Método Parsons

Un método alternativo al señalado anteriormente es el propuesto por el Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) de Australia, PARMs (Pipeline Asset and Risk Management System) es un modelo que incluye (Moglia, Burn, & Meddings, 2005):

- PARMs-Planning: predice fallas y evalúa costos para estrategias de renovación a largo plazo.
- PARMs-Priority: prioriza tuberías individuales para renovación, reparación o instalación de válvulas, enfocándose en fallas frecuentes, pero de bajo impacto.

Ambas herramientas utilizan modelos probabilísticos calibrados con datos históricos de fallas, pero PARMs-Priority se centra en:

- Modelado de deterioro mediante un proceso de Poisson no homogéneo (para frecuencias altas)
- Estimación refinada de consecuencias, considerando ubicación y contexto
- Cálculo del riesgo, comparable entre tramos
- Escenarios de acción, como reemplazo, zonificación hidráulica o instalación de válvulas

1.5 Situación actual del Centro de Servicio Surquillo

El Centro de Servicio Surquillo es una de las siete unidades con las que cuenta SEDAPAL, y es la responsable de administrar hidráulicamente ocho distritos de Lima como son: Barranco, Chorrillos, Lince, Miraflores, San Isidro, Santiago de Surco, San Borja y Surquillo. El total de conexiones activas distribuidas en los ocho distritos se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Conexiones domiciliarias de agua potable activas en el Centro de Servicios Surquillo en el mes de abril de 2025

Distrito	Conexiones totales
San Borja	23,268
Lince	11,586
Surquillo	13,174
San Isidro	5,970
Miraflores	24,489
Santiago de Surco	44,459
Chorrillos	45,663
Barranco	7,855

SEDAPAL, con el objetivo de optimizar la operación y el mantenimiento de las redes secundarias de agua potable, ha implementado un sistema de sectorización. Este consiste en dividir las redes de distribución en subredes hidráulicamente independientes, denominadas sectores.

Cada sector se caracteriza por contar con una o, como máximo, dos entradas de agua, lo que permite un control más eficiente del flujo. Al ser independientes entre sí, los sectores operan de manera aislada, sin interferir en el funcionamiento de los demás. Para mejorar el control del ingreso de agua en cada sector, se instala un macromedidor, lo que facilita una gestión más precisa y eficiente del recurso. El Equipo de Operación y Mantenimiento de Redes – Surquillo tiene bajo su jurisdicción un total de 56 sectores de abastecimiento, de los cuales el distrito de Santiago de Surco (Figura 1) comprende 17 sectores que ayudan únicamente a administrarlo hidráulicamente, más no tienen una relación directa con el estado de las tuberías. Las funciones principales de acuerdo a los dos contratos entre el Equipo de Operación y Mantenimiento de Redes - Surquillo y las contratistas Consorcio Sol y ACEA Lima Sur son:

- **Mantenimiento preventivo y rehabilitación de redes secundarias:** El centro se encarga de la conservación y mejora de las redes secundarias de agua potable y alcantarillado, enfocándose en puntos críticos que puedan generar problemas como inundaciones o rotura.
- **Atención de emergencias y reparaciones:** Gestiona la respuesta rápida ante fallas en el sistema, como fugas o roturas de tuberías, para minimizar el impacto en los usuarios.
- **Fortalecimiento de capacidades:** Implementa proyectos para reducir el agua no facturada, mejorando la eficiencia en la distribución y cobro del servicio.
- **Supervisión y control de calidad:** Realiza monitoreos periódicos para asegurar la calidad del agua y el buen estado de las infraestructuras.
- **Coordinación con contratistas:** Colabora con empresas externas para ejecutar proyectos de mantenimiento y rehabilitación, como Consorcio Sol y ACEA Lima Sur para la rehabilitación de redes y emergencias.

El Perú está dividido en 24 departamentos siendo Lima uno de ellos (Figura 1). Dentro de este se encuentra el distrito de Santiago de Surco (Figura 2) el cual es uno de los ocho distritos administrados por el Centro de Servicios Surquillo, cuenta con 565 km de tuberías de agua potable siendo esta la mayor cantidad dentro de los ocho distritos. Además, cuenta con 44,459 conexiones domiciliarias de agua potable activas, siendo el segundo distrito con mayor número, por tal motivo se escogió el distrito de Santiago de Surco para ser evaluado en la presente investigación.

Figura 1*Ubicación del Departamento de Lima*

Figura 2

Ubicación del distrito de Santiago de Surco



Capítulo 2

Metodología

2.1 Evaluación de criterios

En la presente investigación para priorizar la renovación de tuberías secundarias de agua potable se proponen cinco criterios a evaluar, entre ellos están: tipo de material, edad de la infraestructura, roturas de tubería de agua potable, fallas en conexiones domiciliarias y fugas no visibles detectadas. Para esto se solicitó a la empresa prestadora de servicios SEDAPAL la data de las incidencias operativas durante los últimos cinco años, así como las redes de agua potable y sus componentes en formato shapefile.

2.1.1 Tipo de material

Uno de los criterios a evaluar es el tipo del material de la tubería de agua potable, para esto se revisó la información entregada por SEDAPAL y se determinó que presentan 4 tipos de materiales de tubería, siendo estos: fierro fundido, asbesto cemento, policloruro de vinilo y polietileno de alta densidad.

Se observó que la tubería de asbesto cemento es la que mas predomina dentro del distrito de Santiago de Surco con 397,37 km de tubería como se observa en la Tabla 3, sin embargo cuenta aún con tuberías de fierro fundido siendo éstas las más antiguas. A cada uno de los materiales se les asignará un puntaje que determinará la importancia de este material a ser cambiado.

Tabla 3

Longitud de tuberías de las Redes Secundarias de agua potable del distrito de Santiago de Surco por tipo de material

Material	Acrónimo	Cantidad (km)
Fierro Fundido	FoFo	5.73
Asbesto Cemento	AC	397.37
Policloruro de Vinilo	PVC	109.66
Polietileno de alta densidad	PEAD	52.51

2.1.2 Edad de la infraestructura

La infraestructura del sistema de agua potable que abastece a la ciudad de Lima con las primeras tuberías de fierro fundido tiene origen en 1834 (Orrego Penagos, 2011), por lo que evaluar este criterio es muy importante, se tomarán los años de instalación que presentan las tuberías en la información brindada por SEDAPAL. Para esto se ingresó a la base de datos

de las redes secundarias de agua potable en Excel y se filtraron los datos en intervalos de diez años y por cada uno de los materiales que se encuentren dentro de ellos como se observa en la Tabla 4, de esta manera se podrán asignar puntajes.

Tabla 4

Longitud de tuberías por rango de edad

Rango de edad (años)	Material	Cantidad (km)
x<10	FoFo	0.00
	AC	0.03
	PVC	1.87
	PEAD	45.86
10 <= x <20	FoFo	0.00
	AC	1.44
	PVC	16.68
	PEAD	5.94
20 <= x <30	FoFo	0.00
	AC	12.77
	PVC	54.86
	PEAD	0.30
30 <= x < 40	FoFo	0.01
	AC	48.44
	PVC	19.68
	PEAD	0.08
40 <= x <50	FoFo	1.76
	AC	11.42
	PVC	9.07
	PEAD	0.33
x >= 50	FoFo	3.96
	AC	220.46
	PVC	7.49
	PEAD	0.00

2.1.3 Roturas de tubería de agua potable

Como siguiente paso se tomaron las incidencias operativas de rotura de las tuberías de agua potable de la base de datos. Para esto es importante tener en cuenta que se deberá retirar de la información brindada por SEDAPAL todas las incidencias que fueron causadas por un agente externo a la tubería como puede ser: empresas públicas, privadas, municipalidades, entre otros, que durante trabajos de excavación provocaron la rotura de una tubería secundaria de agua potable. Una vez retirada la información, se procedió a adecuar la información para ser ingresada al software ArcMap colocando en formato de texto todas las celdas.

2.1.4 Fallas en conexiones domiciliarias

De igual manera con las fallas en conexiones domiciliarias se retiró de la información brindada por SEDAPAL todas las incidencias que fueron causadas por un agente externo a la conexión como puede ser: empresas públicas, privadas, municipalidades, entre otros, que durante los trabajos de excavación provocaron la rotura de una conexión domiciliaria de agua potable.

2.1.5 Fugas no visibles detectadas

Como último criterio a evaluar se tomó la información de fugas no visibles de los últimos tres años en el distrito de Santiago de Surco entregada por el equipo reducción y control de fugas de SEDAPAL, las cuales fueron detectadas con ayuda de geófonos y correladores. Dicha información adecuó en Excel colocando todas las celdas en formato "texto" a excepción de las fechas que se colocarán como "fecha corta" para que pueda ser ingresada al software ArcMap.

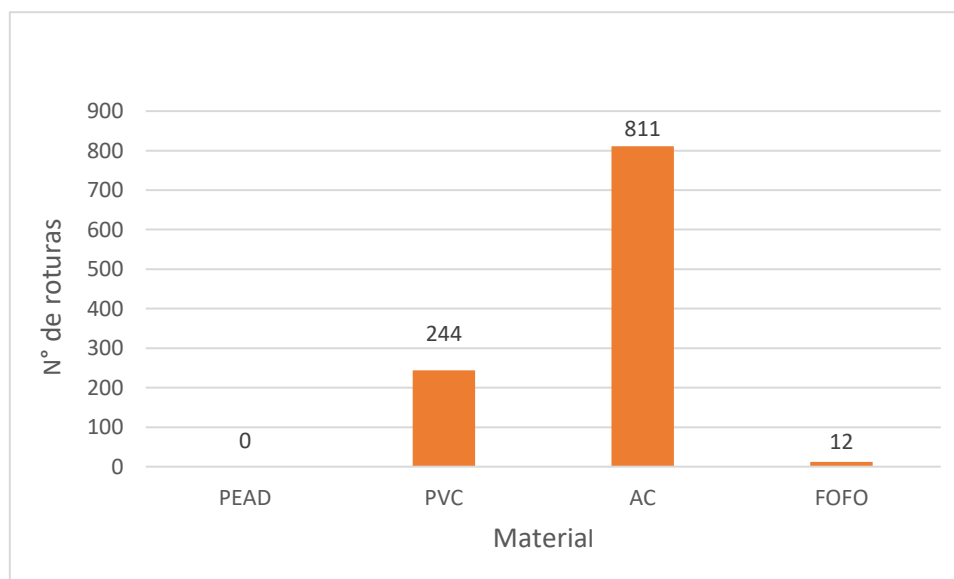
2.2 Análisis e interpretación de datos

2.2.1 Análisis de datos

Una vez seleccionada la data de número de roturas de tubería necesaria para trabajar, se observa que ocurrieron alrededor de 1067 roturas de tubería de agua potable desde enero del año 2021 en el distrito de Santiago de Surco de las cuales 811 ocurrieron en la tubería de asbesto cemento (Tabla 5) que representan un 76% del total, siendo este elemento el más significativo en su evaluación como material.

Tabla 5

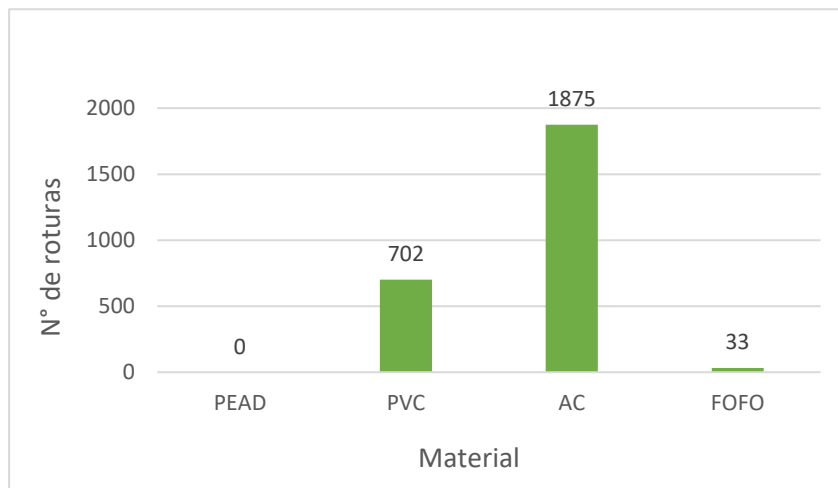
Roturas de tubería de agua potable



En el caso de las conexiones domiciliarias se puede apreciar que en los últimos cinco años han ocurrido 2610 roturas de conexiones entre: rotura en la tubería de conexión, rotura de válvula corporation, rotura de abrazadera, rotura después del medidor, rotura de unión presión rosa (UPR). Además, se observa que 1875 roturas de conexiones de agua potable ocurrieron en la tubería de asbesto cemento (Tabla 6), que representa un 72% del total.

Tabla 6

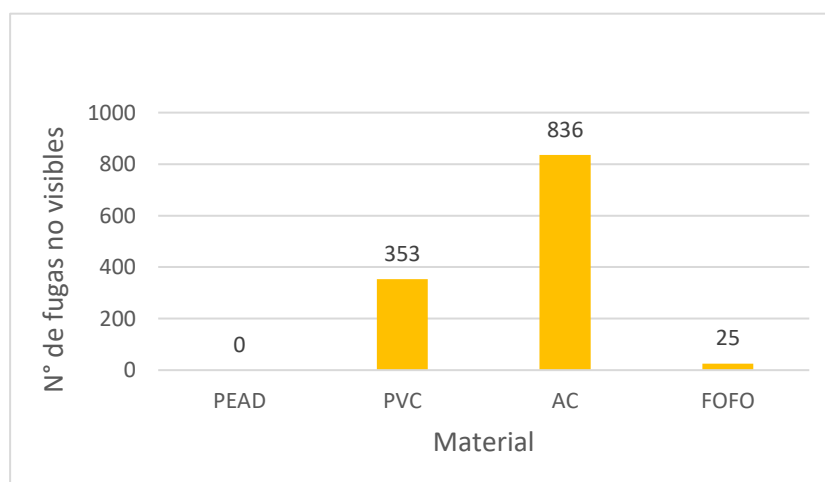
Roturas de conexiones domiciliarias de agua



Al respecto de las fugas no visibles que fueron detectadas durante el mismo periodo de tiempo que las roturas de tuberías y conexiones, se observa la existencia de 1271 fugas no visibles en tuberías, que con ayuda de geófonos y correladores fueron detectadas. En este caso se obtuvo una menor cantidad en la tubería de asbesto cemento a comparación de los dos criterios previos, siendo 836 (Tabla 7) el cual representa el 66%. Se obtuvo como segundo valor más alto en la tubería de policloruro de vinilo (PVC) con 353 fugas no visibles equivalentes a un 28% del total.

Tabla 7

Roturas de conexiones domiciliarias de agua



2.2.2 Ingreso de información a ArcMap

Para el siguiente paso se trabajó primero la base de datos de las tuberías de agua potable. Teniendo la fecha de instalación, se añadió una columna con la edad y otra con el rango de edad de años a la que corresponde, y se asignó un valor con relación a los intervalos de 10 años como se muestra en la Figura 3.

Figura 3

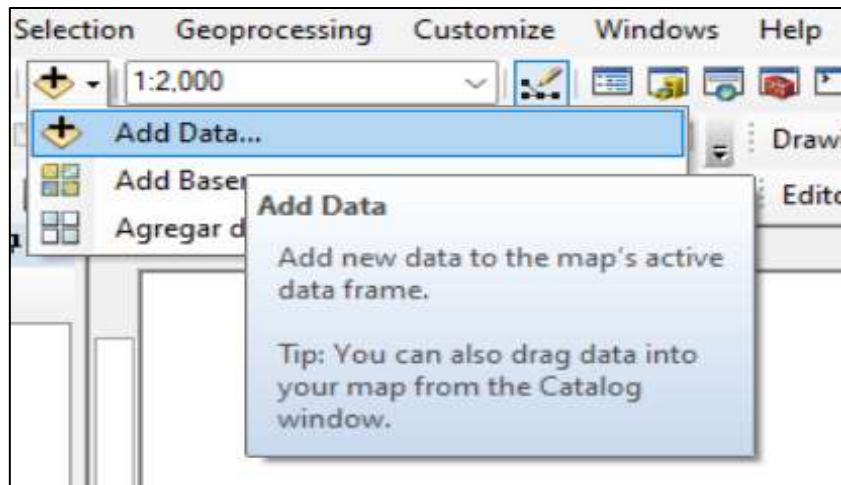
Lista de tuberías con su rango de edad en años

Identificador	Diámetro (mm)	Material	Longitud real	Fecha de instalación	Municipalidad	Material (SIGLAS)	Años de edad	Rango de edad años
TA-246248	100	Asbesto cemento	109.19	2/01/1971	SANTIAGO DE SURCO	AC	54	>=50
TA-245155	100	Asbesto cemento	108.62	1/01/1974	SANTIAGO DE SURCO	AC	51	>=50
TA-729667	100	Asbesto cemento	77.23	2/01/1961	SANTIAGO DE SURCO	AC	64	>=50
TA-370145	150	Asbesto cemento	198.62	13/02/1970	SANTIAGO DE SURCO	AC	55	>=50
TA-258175	100	Asbesto cemento	266.24	28/03/1973	SANTIAGO DE SURCO	AC	52	>=50
TA-485540	50	Asbesto cemento	164.56	9/03/1971	SANTIAGO DE SURCO	AC	54	>=50
TA-229459	100	Asbesto cemento	39.64	1/01/1979	SANTIAGO DE SURCO	AC	46	<50
TA-234519	100	Asbesto cemento	15.76	1/01/1964	SANTIAGO DE SURCO	AC	61	>=50
TA-593703	100	Asbesto cemento	39.95	1/01/1979	SANTIAGO DE SURCO	AC	46	<50
TA-253739	100	Asbesto cemento	125.74	3/11/1970	SANTIAGO DE SURCO	AC	55	>=50
TA-254648	100	Asbesto cemento	157.18	16/12/1974	SANTIAGO DE SURCO	AC	51	>=50
TA-226766	100	Asbesto cemento	68.87	16/03/1964	SANTIAGO DE SURCO	AC	61	>=50
TA-361394	100	Asbesto cemento	42.03	27/05/1966	SANTIAGO DE SURCO	AC	59	>=50
TA-228849	100	Asbesto cemento	206.66	9/03/1971	SANTIAGO DE SURCO	AC	54	>=50
TA-227185	100	Asbesto cemento	221.80	1/01/1968	SANTIAGO DE SURCO	AC	57	>=50
TA-227477	100	Asbesto cemento	147.14	9/03/1971	SANTIAGO DE SURCO	AC	54	>=50
TA-369572	150	Asbesto cemento	153.11	13/02/1970	SANTIAGO DE SURCO	AC	55	>=50
TA-245323	100	Asbesto cemento	79.85	1/01/1971	SANTIAGO DE SURCO	AC	54	>=50
TA-766578	100	Asbesto cemento	72.83	27/06/1973	SANTIAGO DE SURCO	AC	52	>=50
TA-247469	75	Asbesto cemento	35.95	20/09/1976	SANTIAGO DE SURCO	AC	49	<50
TA-243933	100	Asbesto cemento	220.08	20/12/1981	SANTIAGO DE SURCO	AC	44	<50

Luego de esto se ingresaron los datos al software ArcMap con el ícono “Add Data” como se ve en la Figura 4, prosiguiendo con el ícono “Display XY data” en la Figura 5 que permitió dibujar las redes dentro del mapa y mediante el uso del comando “relate” como se muestra en la Figura 6 se pudo georreferenciar utilizando las redes existentes brindadas por SEDAPAL en formato shapefile ya que cada una de las tuberías cuenta con un código identificador único (ID), se obtuvo como resultado las redes de agua potable (Figura 7).

Figura 4

Agregando los datos al software ArcMap

**Figura 5**

Agregamos la capa de tuberías al software ArcMap

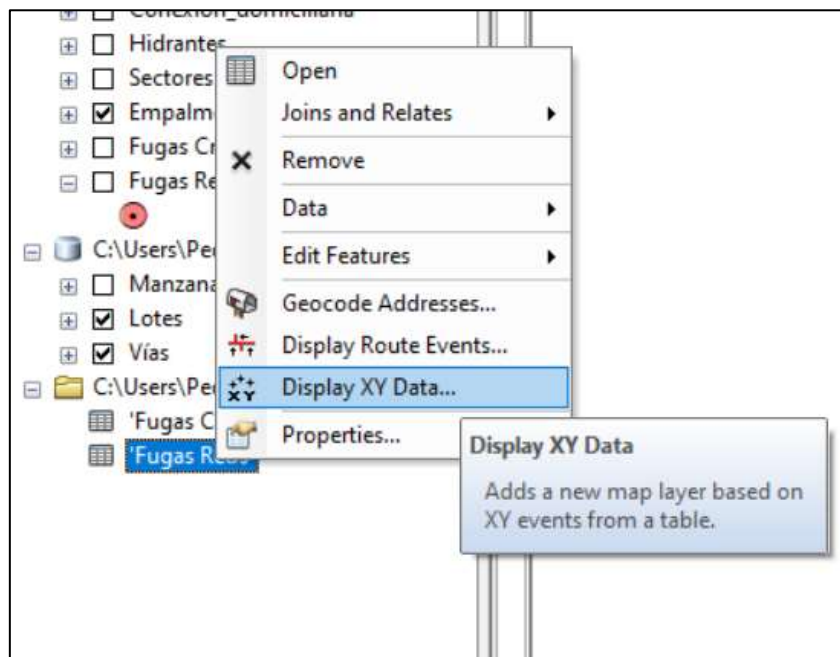


Figura 6

Uso del comando Relate para georeferenciar las redes de agua potable

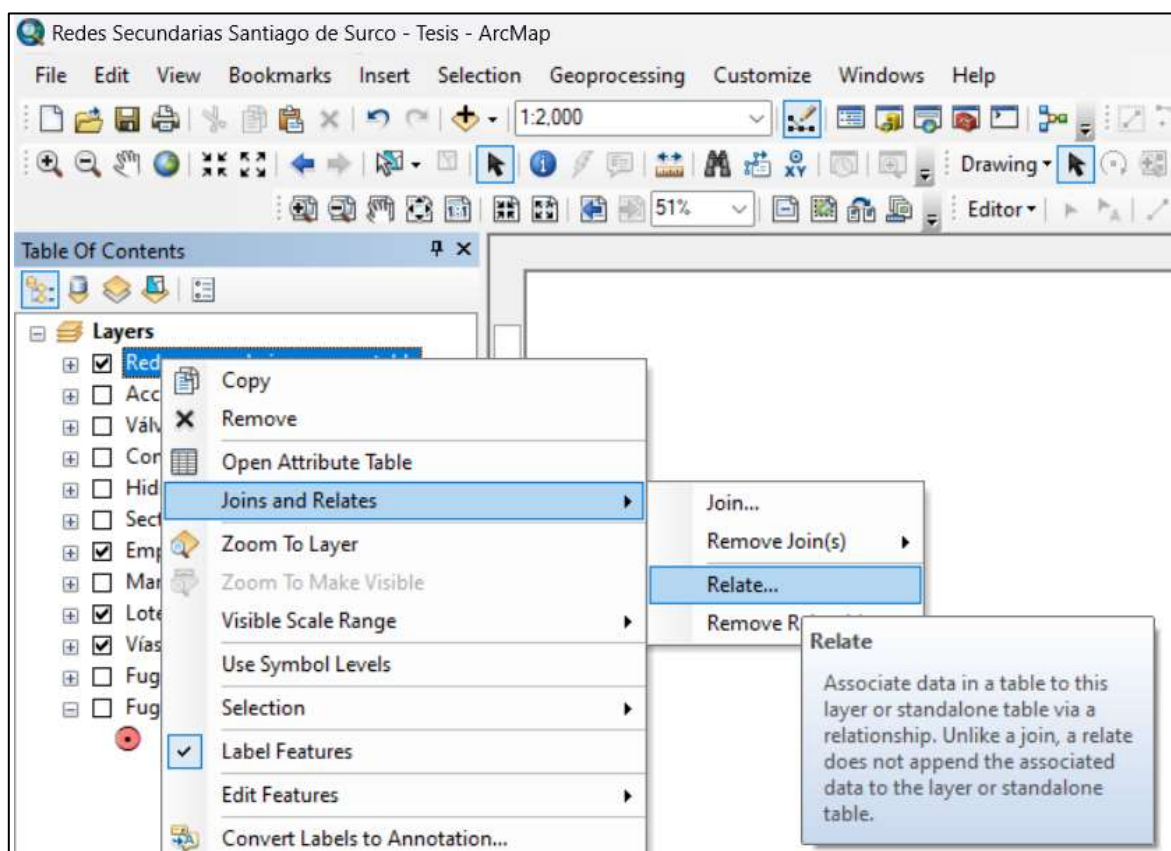
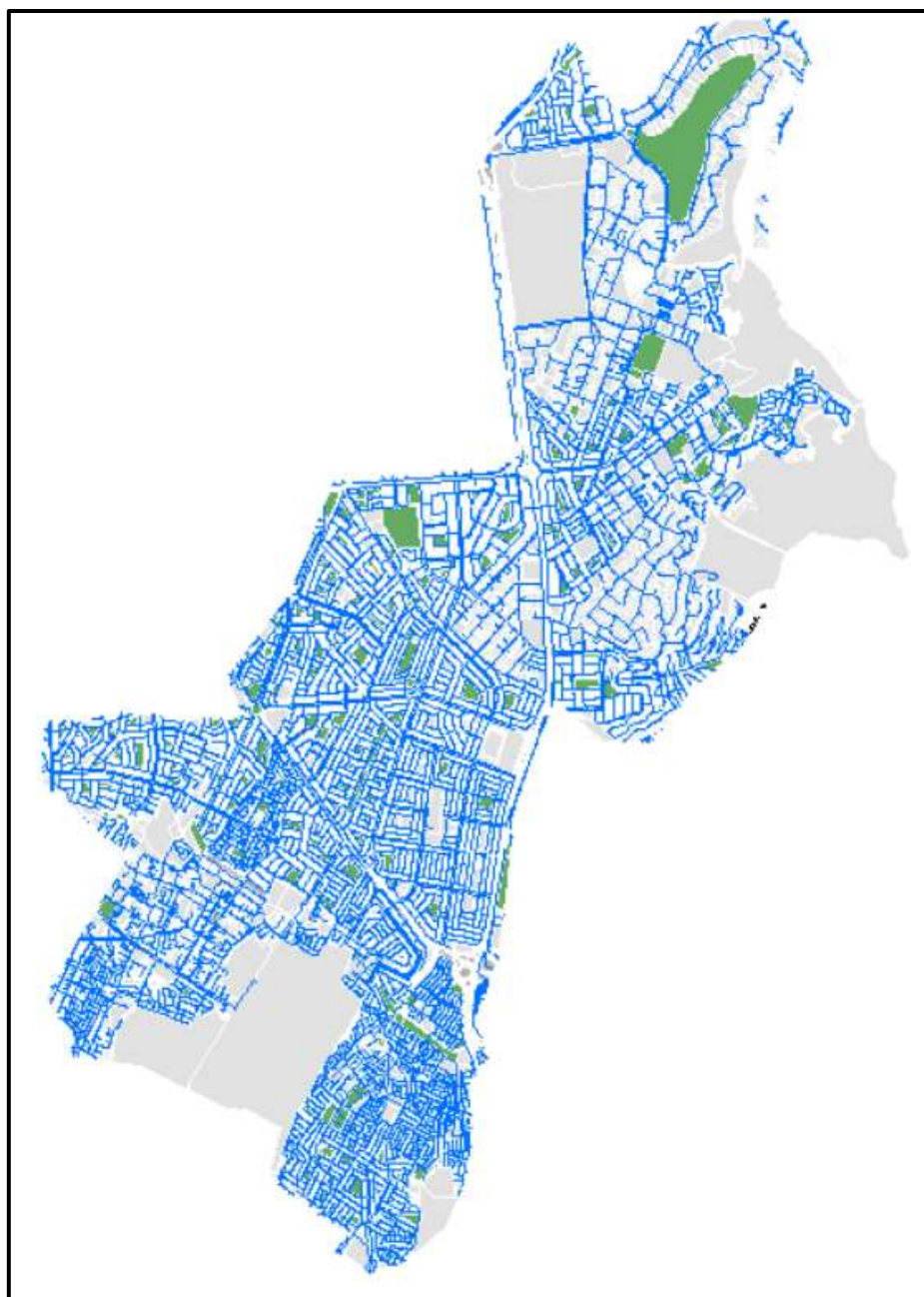


Figura 7

Tuberías de agua potable del distrito de Santiago de Surco



Una vez se tengan las redes de agua potable dentro del software, se procedió a ingresar las roturas de tuberías como puntos de la misma forma que se ingresaron las tuberías, sin embargo, antes de realizar el “relate” se agregó un campo para duplicar la columna del número de suministro con ayuda del comando “field calculator” dentro de la tabla de atributos (Figura 8), ya que el software ArcMap no reconoce la columna de número de suministro original. Luego de esto se procederá de aplicar el “relate” para georeferenciar todas las roturas de tubería existentes en el distrito de Santiago de Surco. Como paso siguiente se eliminarán los puntos que indiquen rotura de tubería donde ya existe una tubería de polietileno de alta, ya que es el material que actualmente se viene instalando, y al estar ya dibujado dentro de las redes de agua potable, significa que ya se ha cambiado dicho tramo desde que ocurrió la rotura, por lo que se deben eliminar estos datos. Para esto primero se seleccionaron todas las tuberías que tenían el material polietileno de alta densidad con el comando “Select by Attributes” como se muestra en la Figura 9. Luego de esto se utilizó el comando “Select by location” (Figura 10) para identificar los puntos de rotura, llenamos los datos solicitados en donde se seleccionó todas las roturas de tubería ubicadas a una distancia de 10 metros de la tubería y presionamos el “check” en las redes secundarias de agua potable para que solo utilice la data seleccionada previamente de tuberías de polietileno como se muestra en la Figura 11. Teniendo seleccionadas las roturas de tubería que se encuentran en la red de polietileno se eliminan de la tabla de atributos con el comando “Delete Selected”.

Figura 8

Duplicando la columna del número de suministro a cada rotura de tubería

Distrito	Suministro	Fuga_en	NIS *
SANTIAGO DE SURCO	2594996	TUBERIA	2594996
SANTIAGO DE SURCO	2810368	TUBERIA	2810368
SANTIAGO DE SURCO	2610720	TUBERIA	2610720
SANTIAGO DE SURCO	2602796	TUBERIA	2602796
SANTIAGO DE SURCO	5110100	TUBERIA	5110100
SANTIAGO DE SURCO	2602998	TUBERIA	2602998
SANTIAGO DE SURCO	2597622	TUBERIA	2597622
SANTIAGO DE SURCO	2605642	TUBERIA	2605642
SANTIAGO DE SURCO	2605615	TUBERIA	2605615
SANTIAGO DE SURCO	2789887	TUBERIA	2789887
SANTIAGO DE SURCO	2864823	TUBERIA	2864823
SANTIAGO DE SURCO	2603688	TUBERIA	2603688
SANTIAGO DE SURCO	2618682	TUBERIA	2618682
SANTIAGO DE SURCO	2839712	TUBERIA	2839712
SANTIAGO DE SURCO	2737411	TUBERIA	2737411
SANTIAGO DE SURCO	2824543	VALVULA RED	2824543
SANTIAGO DE SURCO	2591829	TUBERIA	2591829
SANTIAGO DE SURCO	2596523	TUBERIA	2596523
SANTIAGO DE SURCO	2642058	TUBERIA	2642058
SANTIAGO DE SURCO	2594058	TUBERIA	2594058

Figura 9

Selección de tuberías de polietileno de alta densidad

Select by Attributes

Enter a WHERE clause to select records in the table window.

Method: Create a new selection

"FID"
"OBJECTID"
"FACILITYID"
"DIAMETER"
"MATERIAL"

Like
And
Or
Not
Null
Get Unique Values
Go To:

SELECT * FROM Redes_secundarias_por_años WHERE
"MATERIAL" = PEAD

Clear Verify Help Load... Save... Apply Close

FID	Shape	OBJECTID	FACILITYID	DIAMETER	MATERIAL
0	Polyline	1	TA-545395	110	PEAD
1	Polyline	2	TA-545397	110	PEAD
4	Polyline	8	TA-488553	160	PEAD
307	Polyline	319	TA-544723	90	PEAD
308	Polyline	320	TA-544724	90	PEAD
309	Polyline	321	TA-544726	90	PEAD
354	Polyline	369	TA-447757	160	PEAD
367	Polyline	403	TA-531186	160	PEAD
399	Polyline	415	TA-448403	200	PEAD
404	Polyline	420	TA-448404	200	PEAD
405	Polyline	421	TA-448405	200	PEAD
406	Polyline	422	TA-448408	200	PEAD
407	Polyline	423	TA-448409	200	PEAD
408	Polyline	424	TA-448410	200	PEAD
409	Polyline	425	TA-448411	200	PEAD
413	Polyline	429	TA-448875	200	PEAD
443	Polyline	469	TA-488525	160	PEAD
445	Polyline	471	TA-520696	160	PEAD
446	Polyline	472	TA-563269	160	PEAD
466	Polyline	497	TA-467939	110	PEAD
489	Polyline	496	TA-467943	110	PEAD
490	Polyline	519	TA-536677	160	PEAD
491	Polyline	520	TA-536679	160	PEAD
492	Polyline	521	TA-536680	160	PEAD
493	Polyline	522	TA-536684	160	PEAD
494	Polyline	523	TA-536688	160	PEAD
495	Polyline	524	TA-536690	160	PEAD
496	Polyline	525	TA-536691	160	PEAD
539	Polyline	569	TA-487946	110	PEAD
540	Polyline	570	TA-487947	110	PEAD
541	Polyline	571	TA-487948	110	PEAD
667	Polyline	697	TA-457877	90	PEAD

(1715 out of 14789 Selected)

Roturas en tubería Redes secundarias agua potable

Figura 10

Roturas de tubería a retiradas de la base de datos

Redes Secundarias Santiago de Surco - Tesis - ArcMap

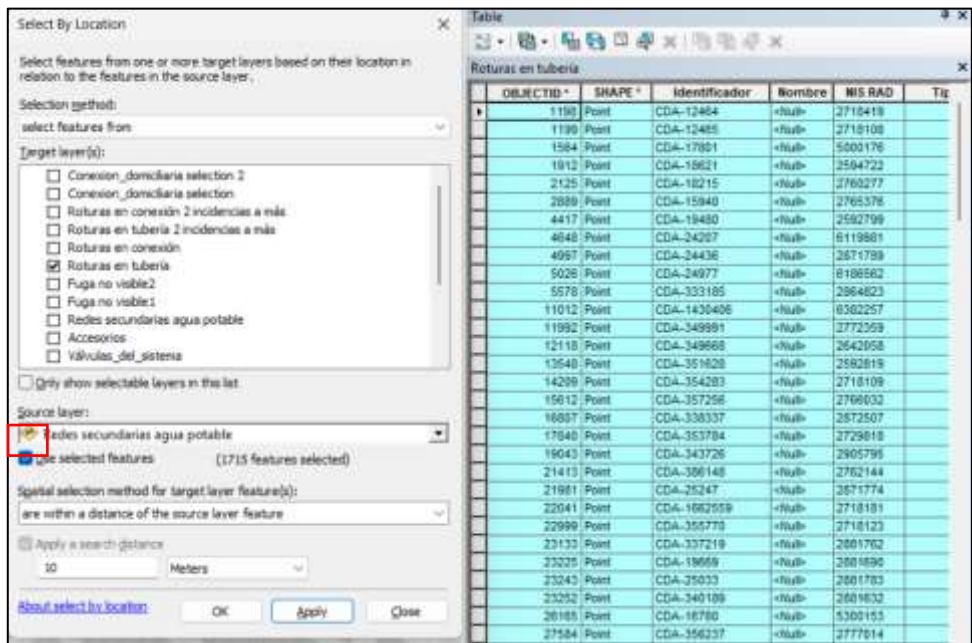
File Edit View Bookmarks Insert Selection Geoprocessing Customize Windows Help

Select By Attributes...
Select By Location...

Select By Location
Selects features using the location of features in another layer.

Table Of Contents
Layers

Figura 11
Ejemplo de punto de rotura a retirar



De la misma manera se procedió a ingresar las bases de datos brindadas por SEDAPAL de las roturas de conexiones domiciliarias y de las fugas no visibles que han sido detectadas, de esta manera se pueden analizar los datos.

2.2.3 Tuberías por tipo de criterio en ArcMap

Una vez ingresadas las redes de agua potable y como previamente se le asignó a cada una de ellas un intervalo de años, procedemos a separar cada una de ellas dependiendo al intervalo al que corresponda, esto con ayuda de la simbología dentro de las propiedades de las redes secundarias de agua potable (Figura 12), les asignamos el valor de rango de edad de años y “Add all values” (Figura 13), y se clasificarán todas las tuberías como se muestra en la Figura N° 14.

Figura 12
Seleccionando la simbología de rango de edad de tuberías

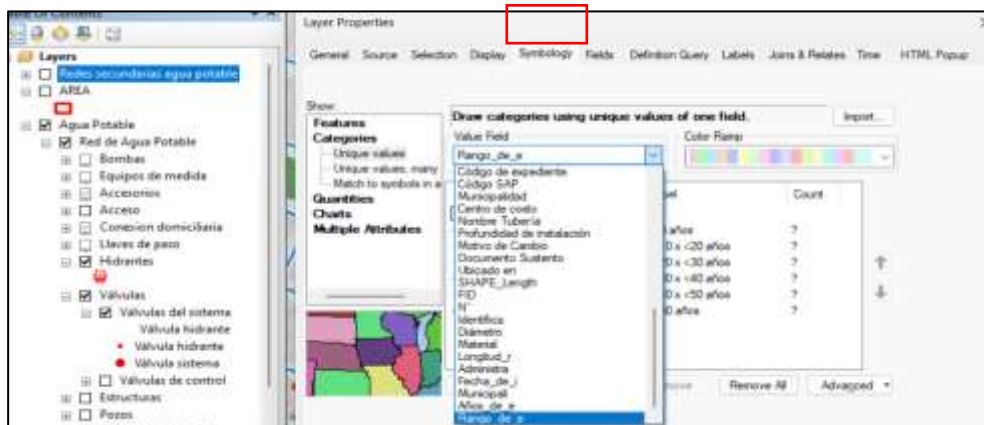
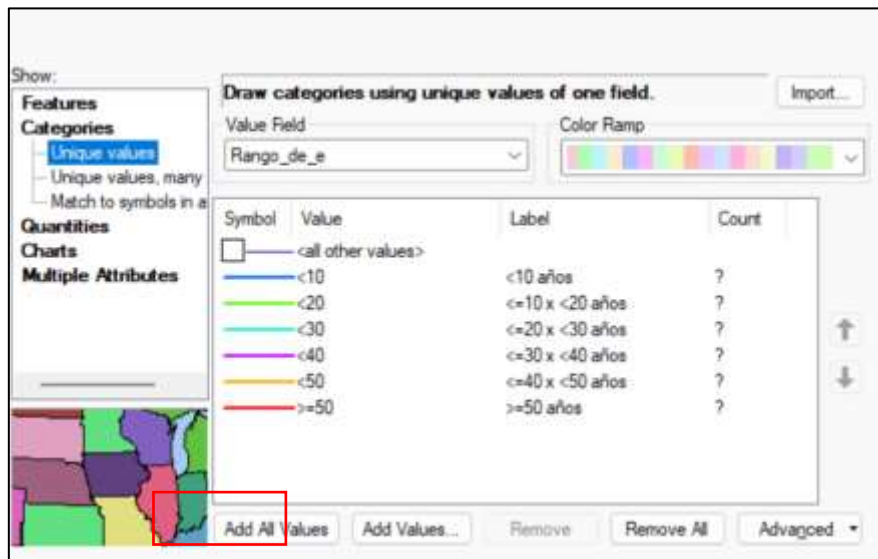


Figura 13*Tuberías por rango de edad***Figura 14***Redes de agua potable por rango de edad en ArcMap*

2.3 Evaluación de tuberías según criterios definidos

En la siguiente fase ya teniendo el tipo de material y la antigüedad de la base de datos de SEDAPAL, se procedió a asignar la cantidad de: roturas de tubería, fallas en conexiones domiciliarias y fugas no visibles detectadas. Esto fue realizado primeramente con ayuda del comando "Select by location" (Figura 10) para identificar las tuberías cercanas a los puntos de rotura, llenamos los datos solicitados por el software en donde se seleccionó las redes secundarias de agua potable como la capa objetivo y roturas de tubería como la capa origen,

se seleccionó una distancia de diez metros desde la capa origen para seleccionar la capa objetivo como se muestra en la Figura 15. De esta se determinó en que tuberías había ocurrido una rotura de tubería.

Figura 15

Selección de tuberías donde hubo roturas

FID	Shape *	OBJECTID	FACILITYID	DIAMETER	MATERIAL	SC
5095	Polyline	5434	TA-229005	50	AC	AT
5099	Polyline	5435	TA-227317	100	AC	AT
5107	Polyline	5443	TA-366558	100	AC	AT
5105	Polyline	5444	TA-366559	100	AC	AT
5114	Polyline	5450	TA-228267	250	PVC	AT
5151	Polyline	5407	TA-232351	100	AC	AT
5157	Polyline	5493	TA-232181	100	AC	AT
5180	Polyline	5516	TA-533402	150	AC	AT
5188	Polyline	5525	TA-232638	100	AC	AT
5199	Polyline	5536	TA-232671	100	AC	AT
5211	Polyline	5548	TA-224605	100	AC	AT
5215	Polyline	5552	TA-226472	100	AC	AT
5218	Polyline	5555	TA-226611	100	AC	AT
5227	Polyline	5564	TA-226766	100	AC	AT
5234	Polyline	5571	TA-363529	100	AC	AT
5238	Polyline	5575	TA-232821	150	AC	AT
5256	Polyline	5593	TA-232817	200	AC	AT
5264	Polyline	5601	TA-233116	100	AC	AT
5298	Polyline	5635	TA-232670	100	AC	AT
5322	Polyline	5658	TA-233717	100	AC	AT
5349	Polyline	5686	TA-233849	100	AC	AT
5355	Polyline	5692	TA-233964	100	AC	AT
5359	Polyline	5696	TA-233871	100	AC	AT
5360	Polyline	5697	TA-233872	100	AC	AT
5389	Polyline	5726	TA-233114	100	AC	AT
5402	Polyline	5739	TA-232030	100	AC	AT
5419	Polyline	5756	TA-233134	150	AC	AT
5430	Polyline	5767	TA-226644	150	AC	AT
5460	Polyline	5799	TA-232025	100	AC	AT

Como siguiente paso se ingresó manualmente los casos que en la base de datos se repitió el número de suministro, ya que el software ArcMap al momento de usar el comando “relate” solo selecciona un número de suministro de los repetidos, sin embargo pueden ocurrir dos o más roturas con el mismo número de suministro. Para esto se utiliza la base de datos brindadas por SEDAPAL y se seleccionaron los valores repetidos (Figura 16). Una vez se han obtenido estos números de suministros, se ingresan al software ArcMap con ayuda del comando “Select By Attributes” y se escribe el código: “SUPPLYID='número de suministro' or ...” ingresando cada uno de los números de suministro duplicados (Figura 17). Se revisó una a una las roturas de tubería (Figura 18), y teniendo su código de la tubería se sumó la misma cantidad de veces repetidas el número de suministro en la base de datos.

Figura 16

Selección de números de suministros duplicados

OT	NIS	FECHA INGRESO	ESTADO	ACTIVIDAD
49991025	2584164	30/12/2022	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
50067487	2584164	5/01/2023	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
50397510	2590375	14/06/2024	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
59573700	2590375	26/06/2024	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
59900184	2590375	18/07/2024	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
47797611	2590375	17/07/2022	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
59458590	2591754	19/06/2024	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
61930148	2591754	18/11/2024	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
54894575	2592500	29/09/2023	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
54980401	2592500	3/10/2023	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
60969061	2594833	26/09/2024	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
61050568	2594833	29/09/2024	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
64180076	2595801	6/04/2025	REV	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
60048911	2595801	6/09/2024	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
47100285	2595801	25/05/2022	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
47440742	2595801	19/06/2022	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
53206324	2595801	24/06/2023	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
55058728	2595801	7/10/2023	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
46806581	2596523	5/05/2022	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
46844745	2596523	7/05/2022	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
57569357	2596919	1/03/2024	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
57734877	2596919	11/03/2024	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
59932640	2597798	20/07/2024	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
47848989	2597798	21/07/2022	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
62896998	2598711	15/01/2025	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
45271217	2598711	27/01/2022	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
48581294	2598751	17/09/2022	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
48790604	2598751	2/10/2022	FAC	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)
64310392	2602796	15/04/2025	ATEN	ACT A - MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE (HASTA 300 MM)

Figura 17

Selección de roturas en ArcMap

Select by Attributes

Enter a WHERE clause to select records in the table window.

Method: Create a new selection

OBJECTID
FACILITYID
FACILITYNAME
SUPPLYID
SERVICETYPE

= <> Like
> >= And
< <= Or
_ % () Not
Is In Null Get Unique Values Go To:

SELECT * FROM Conexion_domiciliaria WHERE:
SUPPLYID='2584164' or SUPPLYID = '2591754' or SUPPLYID = '2592500' or SUPPLYID = '2594833' or SUPPLYID = '2595801' or SUPPLYID = '2596523' or SUPPLYID = '2596919' or SUPPLYID = '2597798' or SUPPLYID = '2598711' or SUPPLYID = '2598751' or SUPPLYID = '2602796' or SUPPLYID = '2607518' or SUPPLYID = '2611210'

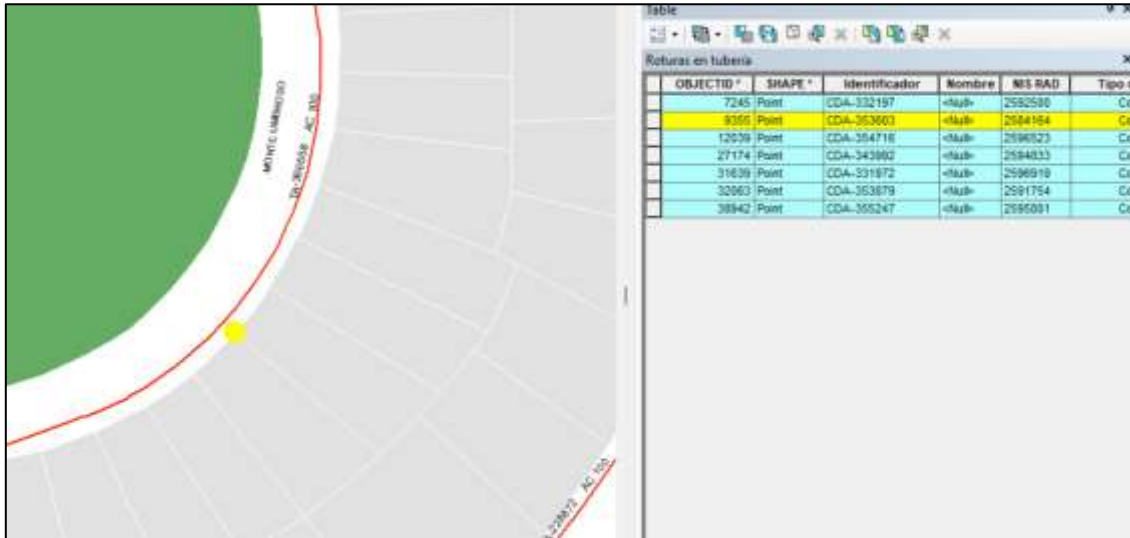
Table

Roturas en tubería

OBJECTID *	SHAPE *	Identificador	Nombre	NIS RAD	Tipo c
1701	Point	CDA-17544	<Null>	2602796	Co
3340	Point	CDA-21248	<Null>	2607518	Co
7245	Point	CDA-332197	<Null>	2592500	Co
9355	Point	CDA-353603	<Null>	2584164	Co
12039	Point	CDA-354716	<Null>	2596523	Co
14494	Point	CDA-357731	<Null>	2598711	Co
27174	Point	CDA-343992	<Null>	2594833	Co
27373	Point	CDA-353156	<Null>	2598751	Co
31639	Point	CDA-331972	<Null>	2596919	Co
32063	Point	CDA-353879	<Null>	2591754	Co
34931	Point	CDA-351571	<Null>	2611210	Co
38942	Point	CDA-355247	<Null>	2595801	Co
50668	Point	CDA-1968920	<Null>	2597798	Co

Figura 18

Selección de tuberías rotas con suministro repetido



De la misma manera se procedió a ingresar las bases de datos brindadas por SEDAPAL de las roturas de conexiones domiciliarias y de las fugas no visibles que han sido detectadas, de esta manera se completó la tabla 8.

Tabla 8

Evaluación de criterios por tramo de tubería

N°	Identificador	Diámetro (mm)	Material (SIGLAS)	Rango de edad años	N° de Roturas de Tubería	N° de Roturas de Conexión	N° De Fugas No Visibles
1	TA-246248	100	AC	>=50	5	0	1
2	TA-245155	100	AC	>=50	4	4	0
3	TA-729667	100	AC	>=50	4	1	1
4	TA-370145	150	AC	>=50	4	1	1
5	TA-258175	100	AC	>=50	3	3	1
6	TA-485540	50	AC	>=50	3	1	1
7	TA-229459	100	AC	<50	4	5	1
8	TA-234519	100	AC	>=50	3	1	0
9	TA-593703	100	AC	<50	4	1	1
10	TA-253739	100	AC	>=50	3	0	0
11	TA-254648	100	AC	>=50	3	0	0
12	TA-226766	100	AC	>=50	2	2	1
13	TA-361394	100	AC	>=50	2	0	1
14	TA-228849	100	AC	>=50	2	0	1
15	TA-227185	100	AC	>=50	2	0	2
16	TA-227477	100	AC	>=50	2	1	0
17	TA-369572	150	AC	>=50	2	2	0
18	TA-245323	100	AC	>=50	1	9	0
19	TA-766578	100	AC	>=50	1	7	1
20	TA-247469	75	AC	<50	3	1	0

2.4 Asignación de puntaje por criterio

Para la asignación del puntaje en cada criterio de evaluación se designó un peso dependiendo de la importancia de cada uno de estos, así como un puntaje individual que varía según la característica que pueda presentar cada una de estas.

En el caso del material de la tubería, para su puntaje se tomó en cuenta si material era sismorresistente, se puede observar en la Tabla 9 que el polietileno tiene una vulnerabilidad baja, esto se debe a su elasticidad que posee, en el caso del policloruro de vinilo presenta una vulnerabilidad baja a media por lo que su puntaje será menor que el de fierro fundido que se encuentra en una vulnerabilidad media. Además, las tuberías de fierro fundido a medida que pasan los años presentan problemas de calidad por el óxido del material al contacto con el agua. Finalmente, el asbesto cemento es el que más alta vulnerabilidad presenta ante una deformación del suelo por lo que será el de mayor puntaje al momento de asignarlo, además las tuberías de asbesto cemento presentan riesgos para la salud asociados con la inhalación de fibras de asbesto durante los trabajos de reparación, que pueden causar enfermedades respiratorias graves como la asbestosis, el mesotelioma o el cáncer de pulmón.

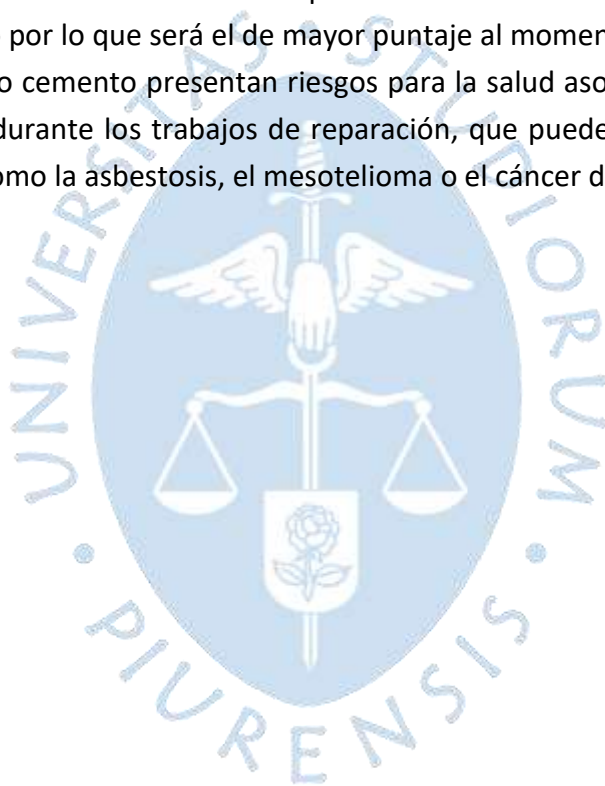


Tabla 9*Vulnerabilidad del material frente a la deformación del suelo*

Tipo de material y diámetro	Norma AWWA	Tipo de unión
Vulnerabilidad baja		
Hierro dúctil	Series C1xx*	Campana y espiga con empaque de caucho, fija
Poliétileno	C906	Fundida
Acero	Series C2xx	Soldada con arco voltaico
Acero	Sin designación	Remachada
Acero	Series C2xx	Campana y espiga con empaque de caucho, fija
Vulnerabilidad baja a media		
Cilindro de concreto	C300, C3003	Campana y espiga, fija
Hierro dúctil	Series C1xx*	Campana y espiga con empaque de caucho, suelta
Policloruro de vinilo	C900, C905	Campana y espiga, fija
Vulnerabilidad media		
Asbesto-cemento > 8 pulgadas (203 mm) de diámetro	Series C4xx*	Acoplada
Hierro fundido > 8 pulgadas (203 mm) de diámetro	Sin designación	Campana y espiga con empaque de caucho
Policloruro de vinilo	C900, C905	Campana y espiga, suelta
Acero	Series C2xx	Campana y espiga con empaque de caucho, suelta
Vulnerabilidad media a alta		
Asbesto-cemento > 8 pulgadas (203 mm) de diámetro	Series C4xx	Vulnerabilidad media a alta
Hierro fundido > 8 pulgadas (203 mm) de diámetro	Sin designación	Acoplada
Cilindro de concreto	C300, C303	Campana y espiga con empaque de caucho
Acero	Sin designación	Campana y espiga, suelta
		Soldada con gas
Vulnerabilidad alta		
Hierro fundido	Sin designación	Campana y espiga, galvanizada o de mortero

Nota: Tomado de Gestión de riesgos de desastres en SEDAPAL (Tori, 2018).

Como segundo criterio a evaluar está la edad de la infraestructura, se vio la vida útil de cada material de tubería para poder definir según los intervalos de años sus puntajes, siendo estos los siguientes:

- Poliétileno de alta densidad: 50-100 años
- Policloruro de vinilo: 40-70 años
- Asbesto cemento: 30-50 años

- Fierro Fundido gris: 50 a 70 años

En la mayoría de casos en el año 50 la vida útil de la tubería empezaría a tener fallas durante su uso habitual, por lo que se tomará como valor mayor en el momento de la evaluación de puntajes.

En el caso de las roturas de tuberías, se visualizó en el ingreso de datos a ArcMap que el máximo número de roturas de tubería en un tramo fue de cinco, por lo que se asignará un puntaje equitativo empezando desde cero.

Cabe resaltar que para llegar a la asignación de cada uno de los puntajes se realizó una entrevista a ingenieros de SEDAPAL con gran experiencia en el área de trabajo, quienes sugirieron puntajes. Se analizaron las propuestas de cada uno para obtener los resultados finales, teniendo como propuesta inicial por el tesista la Tabla 10.

Tabla 10

Puntajes asignados para el reemplazo de tubería para cada criterio

Criterio	Peso general	Tipos	Puntaje
Material	35%	PEAD	0
		PVC	3
		AC	8
		FoFo	10
Antigüedad	25%	$x < 10$ años	0
		$10 \text{ años} \leq x < 20$ años	2
		$20 \text{ años} \leq x < 30$ años	4
		$30 \text{ años} \leq x < 40$ años	6
		$40 \text{ años} \leq x < 50$ años	8
		$x \geq 50$ años	10
Número de roturas en la tubería	20%	0 roturas	0
		1 rotura	2
		2 roturas	4
		3 roturas	6
		4 roturas	8
		5 a más roturas	10
Número de roturas de conexiones	10%	0 roturas	0
		1 a 2 roturas	1
		3 a 5 roturas	2
		6 a 8 roturas	3
		9 a 10 roturas	4
Número de fugas no visibles	10%	0 fugas	0
		1 a 3 fugas	1
		3 a 5 fugas	2
		5 a más fugas	3

Capítulo 3

Resultados

3.1 Propuesta de criterios de evaluación

Como resultado de la investigación se proponen cinco criterios para evaluar la urgencia en la renovación de tuberías secundarias de agua potable siendo estos: material, antigüedad, número de roturas en la tubería, número de roturas de conexiones, número de fugas no visibles, a las cuales se les asignó un peso general y un puntaje dependiendo de la clasificación de cada uno de los criterios, siendo estos los mostrados en la Tabla 11. A partir de esta asignación, el puntaje promedio ponderado indicará la prioridad del reemplazo. De la Tabla 10 planteada se modificó el puntaje de material entre el AC y FoFo dándole un mayor puntaje al AC, además se aumentaron los puntajes de las fugas no visibles ya que, si bien no son roturas, las filtraciones en tuberías debería tener un mayor puntaje, esto basado en las tablas propuestas por cada uno de los ingenieros de SEDAPAL.

Tabla 11

Puntajes asignados por cada tipo de criterio

Criterio	Peso general	Tipos	Puntaje
Material	35%	PEAD	0
		PVC	3
		FoFo	8
		AC	10
Antigüedad	25%	< 10 años	0
		10 años <= x < 20 años	2
		20 años <= x < 30 años	4
		30 años <= x < 40 años	6
		40 años <= x < 50 años	8
		>= 50 años	10
Número de roturas en la tubería	20%	0 roturas	0
		1 rotura	2
		2 roturas	4
		3 roturas	6
		4 roturas	8
		5 a más roturas	10
Número de roturas de conexiones	10%	0 roturas	0
		1 a 2 roturas	1
		3 a 5 roturas	2
		6 a 8 roturas	3
		9 a 10 roturas	4
Número de fugas no visibles	10%	0 fugas	0
		1 a 3 fugas	2

		3 a 5 fugas	4
		5 a más fugas	6

3.2 Selección de tuberías con mayor puntaje

Como resultado de la asignación de puntaje a cada una de las tuberías se pudo determinar que el primer lugar en el orden de urgencia lo ocupa la tubería con código TA-246248 de material asbesto cemento, la misma que cuenta con 54 años de funcionamiento y ha presentado cinco roturas en los últimos cinco años, además de una fuga no visible.

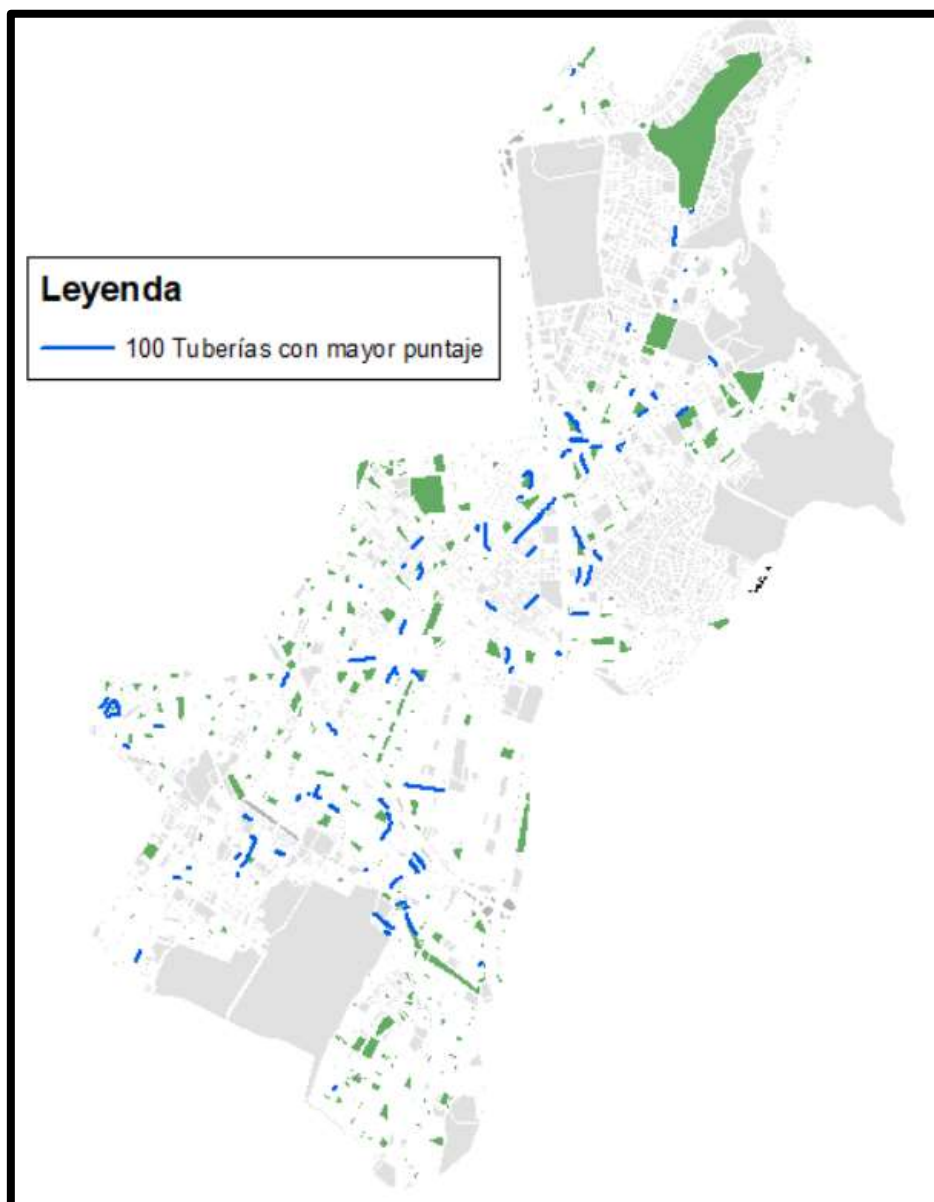
3.3 Listado de tuberías

El listado cuenta con 14,651 datos de tuberías, por lo que se mostrarán el listado de las treinta tuberías con mayor puntaje obtenido durante el análisis (Tabla 12), se observa que las tuberías de asbesto cemento son las más predominantes en la urgencia del cambio. Además, se colocó en un mapa las primeras cien tuberías con mayor puntaje como se puede ver en la Figura 19 para tener una mejor visión de las zonas donde hay mayor cantidad.

Tabla 12

Listado de tuberías con mayor puntaje total obtenido

N°	Identificador	Material (SIGLAS)	Rango de edad años	N° de Roturas de Tubería	N° de Roturas de Conexión	N° De Fugas No Visibles	Puntaje por material	Puntaje por antigüedad	Puntaje por Número De Roturas de Tubería	Puntaje por Número De Roturas de Conexiones	Puntaje por Número De Fugas No Visibles	Puntaje Total
1	TA-246248	AC	>=50	5	0	1	10	10	10	0	1	8.1
2	TA-245125	AC	>=50	4	4	0	10	10	8	2	0	7.8
3	TA-729867	AC	>=50	4	1	1	10	10	8	1	1	7.8
4	TA-370345	AC	>=50	4	1	1	10	10	8	1	0	7.7
5	TA-258175	AC	>=50	3	1	1	10	10	6	2	1	7.3
6	TA-485540	AC	>=50	3	1	1	10	10	6	1	1	7.4
7	TA-229459	AC	<50	4	3	1	10	8	8	2	1	7.4
8	TA-234519	AC	>=50	3	1	0	10	10	6	1	0	7.3
9	TA-593703	AC	<50	4	1	1	10	8	8	1	1	7.3
10	TA-253739	AC	>=50	3	0	0	10	10	6	0	0	7.2
11	TA-254648	AC	>=50	3	0	0	10	10	6	0	0	7.2
12	TA-226766	AC	>=50	2	2	1	10	10	4	1	1	7.0
13	TA-363394	AC	>=50	2	0	1	10	10	4	0	1	6.9
14	TA-228849	AC	>=50	2	0	1	10	10	4	0	1	6.9
15	TA-227185	AC	>=50	2	0	2	10	10	4	0	1	6.9
16	TA-227477	AC	>=50	2	1	0	10	10	4	1	0	6.9
17	TA-369572	AC	>=50	2	2	0	10	10	4	1	0	6.9
18	TA-245323	AC	>=50	1	3	0	10	10	2	4	0	6.8
19	TA-766578	AC	>=50	1	7	1	10	10	2	3	1	6.8
20	TA-247469	AC	<50	3	1	0	10	8	6	1	0	6.8
21	TA-248933	AC	<50	3	1	0	10	8	6	1	0	6.8
22	TA-427893	AC	>=50	2	0	0	10	10	4	0	0	6.8
23	TA-487212	AC	>=50	2	0	0	10	10	4	0	0	6.8
24	TA-366258	AC	>=50	2	0	0	10	10	4	0	0	6.8
25	TA-232621	AC	>=50	2	0	0	10	10	4	0	0	6.8
26	TA-252899	AC	>=50	2	0	0	10	10	4	0	0	6.8
27	TA-255138	AC	>=50	2	0	0	10	10	4	0	0	6.8
28	TA-228703	AC	>=50	2	0	0	10	10	4	0	0	6.8
29	TA-252473	AC	>=50	1	7	0	10	10	2	3	0	6.7
30	TA-743939	AC	>=50	1	3	1	10	10	2	2	1	6.7

Figura 19*Mapa de tuberías con priorización de cambio*

Se observa que las tuberías que tienen un puntaje de 6.0 (Tabla 13) en su mayoría no han sufrido ningún tipo de daño como rotura de tubería, rotura de conexión domiciliaria o fuga no visible. Sin embargo, es un puntaje en el que se debería tomar en cuenta el cambio de tubería a futuro ya que cuenta con una antigüedad que supera su vida útil.

Tabla 13

Listado de tuberías con puntaje de 6.0

N°	Identificador	Material (SIGLAS)	Rango de edad años	N° de Roturas de Tubería	N° de Roturas de Conexión	N° De Fugas No Visibles	Puntaje por material	Puntaje por antigüedad	Puntaje por Número De Roturas de Tubería	Puntaje por Número De Roturas de Conexiones	Puntaje por Número De Fugas No Visibles	Puntaje Total
1321	TA-256883	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1322	TA-257329	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1323	TA-252940	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1324	TA-257072	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1325	TA-237976	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1326	TA-238093	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1327	TA-252964	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1328	TA-251459	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1329	TA-252466	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1330	TA-256280	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1331	TA-256282	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1332	TA-232959	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1333	TA-253403	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1334	TA-257861	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1335	TA-252588	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1336	TA-253895	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1337	TA-253996	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1338	TA-253998	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1339	TA-256407	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1340	TA-256408	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1341	TA-256410	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1342	TA-258381	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1343	TA-252342	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1344	TA-257077	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1345	TA-258110	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1346	TA-257399	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1347	TA-258284	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1348	TA-258285	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1349	TA-252476	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0
1350	TA-254527	AC	>=50	0	0	0	10	10	0	0	0	6.0

Además, los tramos de tuberías con menor puntaje obtenido fueron las de polietileno de alta densidad (Tabla 14), esto debido a que es el material que actualmente se viene utilizando en la renovación de tuberías de agua potable, por lo que en su gran mayoría no presentan fallos.

Tabla 14

Listado de tuberías con menor puntaje total obtenido

N°	Identificador	Diámetro (mm)	Material	Puntaje por material	Puntaje por antigüedad	Puntaje por Número De Roturas de Tubería	Puntaje por Número De Roturas de Conexiones	Puntaje por Número De Fugas No Visibles	Puntaje Total
14632	TA-787698	200	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14633	TA-785502	200	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14634	TA-629148	200	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14635	TA-629151	200	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14636	TA-785503	200	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14637	TA-785504	200	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14638	TA-785505	200	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14639	TA-787769	160	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14640	TA-787774	160	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14641	TA-787771	160	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14642	TA-787772	160	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14643	TA-787773	160	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14644	TA-787775	160	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14645	TA-787776	160	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14646	TA-787777	160	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14647	TA-787778	160	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14648	TA-787921	63	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14649	TA-787922	63	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14650	TA-787923	63	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0
14651	TA-658969	160	Polietileno de alta densidad	0	0	0	0	0	0.0

3.4 Planos con tuberías a priorizar cambio

Se observa en la Figura 20 la tubería TA-246248 que obtuvo un puntaje de 8.1, siendo este el mayor puntaje del listado, así mismo se visualizan puntos que hacen referencia a los daños que ha sufrido la tubería durante los últimos 5 años. En la Figura 21 se observa la tubería TA-245155 siendo la segunda con mayor puntaje con 7.8, la cual presenta roturas de conexiones a diferencia de la primera que no las presentaba.

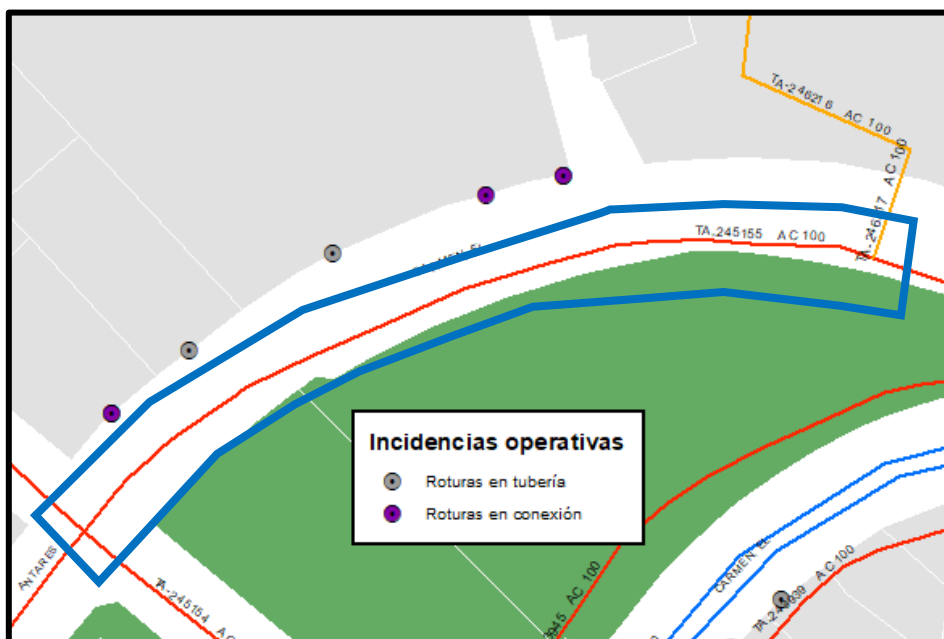
Figura 20

Tubería TA-246248 con el mayor puntaje obtenido



Figura 21

Tubería TA-245155 con el segundo mayor puntaje obtenido



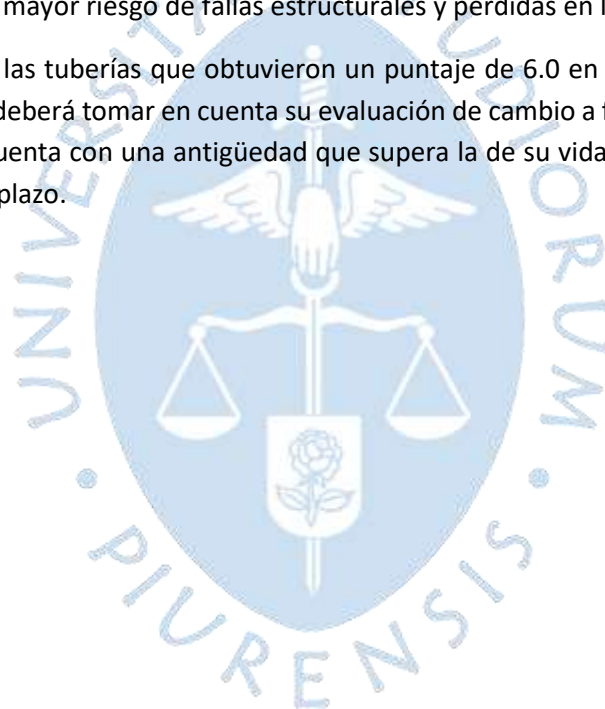
Conclusiones

Se plantean 5 criterios de evaluación para determinar mediante un sistema de puntajes y en conjunto con el software ArcMap y una hoja de cálculo, la urgencia de cambio de tuberías, siendo estos: tipo de material, edad de la infraestructura, roturas de tubería de agua potable, fallas en conexiones domiciliarias y fugas no visibles.

Los resultados obtenidos en el caso analizado permiten identificar cinco tramos de tubería que presentan una mayor urgencia de reemplazo en comparación con el resto de la red analizada. De estos, el primero alcanza un puntaje de 8.1, seguido cuatro tramos con un puntaje entre 7.5 y 7.8. Estos valores reflejan un nivel significativo de deterioro o riesgo, por lo que su atención prioritaria es fundamental para garantizar la eficiencia y seguridad del sistema.

Se determinó que las tuberías con mayor necesidad de renovación corresponden principalmente a las fabricadas con materiales de fierro fundido y asbesto-cemento, debido a su prolongado tiempo de operación desde su instalación. Estos materiales, al haber superado su vida útil estimada, presentan un mayor riesgo de fallas estructurales y pérdidas en la red.

Se observó que las tuberías que obtuvieron un puntaje de 6.0 en su mayoría no han sufrido daños, sin embargo, se deberá tomar en cuenta su evaluación de cambio a futuro ya que, si bien no ha ocurrido ningún fallo, cuenta con una antigüedad que supera la de su vida útil, pudiendo ocurrir una falla a corto o mediano plazo.



Recomendaciones

Se recomienda a la empresa SEDAPAL realizar progresivamente el cambio de las tuberías, empezando con el mayor puntaje obtenido en el desarrollo de la investigación, debido a que presentan mayor número de fallos, así como una antigüedad que supera los 50 años. Además, evaluar los demás distritos bajo su administración con la propuesta de evaluación de criterios presentada.

Así mismo se recomienda agregar criterios de evaluación como podrían ser el tipo de suelo, cantidad de usuarios afectados por el corte de servicio, volumen de agua pérdida por reparación de tubería, entre otros.



Glosario

Sector: Es una determinada área en la que se encuentran redes de agua potable que tienen uno o dos ingresos como máximo.

EPS: Empresa prestadora de servicios que se encarga de administrar el suministro de agua potable y alcantarillado a la población.

Hidrante: Elemento encargado de proporcionar agua a los bomberos en caso de que suceda algún siniestro cercano.

SEDAPAL: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima y Callao encargado de administrar las redes de agua potable y alcantarillado, así como la producción del agua potable y la disposición final de las aguas residuales.



Lista de abreviaturas

FNV : Fuga no visible.

TR : Tubería rota.

PEAD: Polietileno de alta densidad.

FoFo : Fierro Fundido

AC : Asbesto Cemento

PVC : Policloruro de Vinilo

DAQ : Adquisición de datos.

PH : Potencial de hidrógeno.



Referencias

- Agency, U. E. (03 de 2012). *Condition assessment technologies for water transmission and distribution systems*. Fonte: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100E3Y5.TXT>
- Asoven. (02 de 07 de 2018). *Asoven*. Fonte: <https://asoven.com/publicaciones-asoven/el-pvc-y-el-agua/>
- Carpio, A. C., & Román Sánchez, P. A. (2020). *Diseño y construcción de un prototipo para el control de posición del tornillo piloto de una válvula reductora de presión en la red de distribución de agua potable de la empresa de telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado y saneamiento de Cuenca*. Fonte: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19136/1/UPS-CT00819.pdf>
- Fso International. (15 de 02 de 2015). *FSO INTERNATIONAL*. Fonte: <https://www.fsointernacional.com/factores-que-afectan-la-durabilidad-de-las-tuberias-y-como-solucionarlos>
- Garayar, J. O. (01 de 2015). *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO PIPE BURSTING Y EL MÉTODO TRADICIONAL EN LA RENOVACIÓN DE TUBERÍAS DE DESAGÜE*. Fonte: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/556449/Tesis%20Jeda%20Garayar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Grupo Hidráulica. (28 de 12 de 2021). *Grupo Hidráulica*. Fonte: Tipos de fisuras en tuberías y soluciones para cada una: https://grupohidraulica.com/noticias/2021/12/28/tipos-de-fisuras-en-tuberias-y-soluciones-para-cada-una/?utm_source=chatgpt.com
- Hombres, M. (19 de 12 de 2022). *ASME Digital Collection*. Fonte: <https://asmedigitalcollection.asme.org/IPC/proceedings-abstract/IPC2022/86564/V001T01A008/1154806>
- Imran, M. (26 de 09 de 2024). *Hseblog*. Fonte: <https://www.hseblog.com/asbestos-cement-pipe>
- Jieya. (21 de 06 de 2024). *Nanjing Jieya*. Fonte: <https://jieyatwinscrew.com/blog/hdpe-pipe>
- Makris, K. F., Langeveld, J., & Clemens, F. H. (08 de 10 de 2019). *Taylor & Francis*. Fonte: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2019.1673442>
- Martin, H., Eric, J., Paul, K., Oleg, B., & Jan, R. (26 de 09 de 2022). *Proceedings of the ASME 2022 14th International Pipeline Conference*. Fonte: <https://www.proceedings.com/content/067/067584webtoc.pdf>

- Moglia, M., Burn, S., & Meddings, S. (17 de 10 de 2005). *Research Gate*. Fonte: https://www.researchgate.net/publication/246044393_Parms-Priority_a_methodology_for_water_pipe_replacement
- Morales, F. A. (2015). *Abastecimiento de agua potable para comunidades rurales*. Fonte: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AGUIRRE%202015.%20Abastecimiento%20de%20agua%20para%20comunidades%20rurales.pdf
- Ochoa, C. R. (20 de 12 de 2012). *NUEVAS METODOLOGÍAS Y TECNOLOGÍAS PARA LA RENOVACIÓN Y/O REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE* . Fonte: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/2f3731f1-1d22-4e43-983d-5c3d7604ae30/content>
- Orrego Penagos, J. L. (27 de 03 de 2011). *Blog PUCP* . Fonte: Dirección de Informática Académica : [http://blog.pucp.edu.pe/blog/juanluisorrego/2011/03/27/historia-del-agua-potable-en-lima/#:~:text=Los%20trabajos%20se%20iniciaron%20en%20201563,%20con%20la,Contribuci%C3%B3n%20de%20la%20Sisa%20\(%E2%80%9Csis%E2%80%9D:%20impuesto%20o%20estanco\).](http://blog.pucp.edu.pe/blog/juanluisorrego/2011/03/27/historia-del-agua-potable-en-lima/#:~:text=Los%20trabajos%20se%20iniciaron%20en%20201563,%20con%20la,Contribuci%C3%B3n%20de%20la%20Sisa%20(%E2%80%9Csis%E2%80%9D:%20impuesto%20o%20estanco).)
- Scott, P. (17 de 05 de 2024). *What is a water pipe?* Fonte: <https://www.aboutmechanics.com/what-is-a-water-pipe.htm>
- Smith, G. M. (14 de 05 de 2024). *DEWEsoft*. Fonte: <https://dewesoft.com/es/blog/que-es-un-data-logger#aplicaciones-comunes-de-data-logger>
- Tori, O. C. (2018). *Gestión del riesgo de desastres en la empresa de servicios de agua potable y alcantarillado de Lima SEDAPAL* (1ra edición ed.). Lima, Perú: SEDAPAL.
- USAID. (2016). *Manual de operación y mantenimiento de sistemas de agua potable por gravedad*. Fonte: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/USAID%202016.%20Manual%20operaci%C3%B3n%20y%20mantenimiento%20de%20agua%20por%20gravedad..pdf
- Zevotek, R. (12 de 01 de 2024). *NFPA*. Fonte: <https://www.nfpa.org/es/news-blogs-and-articles/blogs/2024/01/12/flujo-de-hidrante-de-incendio>

Apéndices

Apéndice A. Tablas de puntajes de Ingenieros de SEDAPAL

Tabla obtenida en entrevista a Ing. Heiner Silvio Huayta Macetas

Cargo de Ingeniero de Operación y Mantenimiento de Redes Surquillo

Criterio	Peso General	Tipos	Puntaje
Material	35%	PEAD	0
		PVC	3
		FoFo	8
		AC	10
Antigüedad	25%	< 10 años	0
		10 años <= x < 20 años	2
		20 años <= x < 30 años	4
		30 años <= x < 40 años	6
		40 años <= x < 50 años	8
		>= 50 años	10
Número de roturas en la tubería	20%	0 roturas	0
		1 rotura	2
		2 roturas	4
		3 roturas	6
		4 roturas	8
		5 a más roturas	10
Número de roturas de conexiones	10%	0 roturas	0
		1 a 2 roturas	1
		3 a 5 roturas	2
		6 a 8 roturas	3
		9 a 10 roturas	4
Número de fugas no visibles	10%	0 fugas	0
		1 a 3 fugas	1
		3 a 5 fugas	2
		5 a más fugas	3

Tabla obtenida en entrevista a Ing. Karina Leyva Delgado

Cargo de Jefe de Equipo de Operación y Mantenimiento de Redes Surquillo

Criterio	Peso General	Tipos	Puntaje
Material	35%	PEAD	0
		PVC	3
		FoFo	8
		AC	10
Antigüedad	25%	< 10 años	0
		10 años <= x < 20 años	2
		20 años <= x < 30 años	4
		30 años <= x < 40 años	6
		40 años <= x < 50 años	8
		>= 50 años	10
Número de roturas en la tubería	20%	0 roturas	0
		1 rotura	2
		2 roturas	4
		3 roturas	6
		4 roturas	8
		5 a más roturas	10
Número de roturas de conexiones	10%	0 roturas	0
		1 a 2 roturas	1
		3 a 5 roturas	2
		6 a 8 roturas	3
		9 a 10 roturas	4
Número de fugas no visibles	10%	0 fugas	0
		1 a 3 fugas	2
		3 a 5 fugas	4
		5 a más fugas	6

Tabla obtenida en entrevista a Ing. Álvaro Cárdenas Canales

Cargo de Especialista de Operación y Mantenimiento de Redes Surquillo

Criterio	Peso General	Tipos	Puntaje
Material	35%	PEAD	0
		PVC	3
		FoFo	8
		AC	10
Antigüedad	25%	< 10 años	0
		10 años <= x < 20 años	2
		20 años <= x < 30 años	4
		30 años <= x < 40 años	6
		40 años <= x < 50 años	8
		>= 50 años	10
Número de roturas en la tubería	20%	0 roturas	0
		1 rotura	2
		2 roturas	4
		3 roturas	6
		4 roturas	8
		5 a más roturas	10
Número de roturas de conexiones	10%	0 roturas	0
		1 a 2 roturas	1
		3 a 5 roturas	2
		6 a 8 roturas	3
		9 a 10 roturas	4
Número de fugas no visibles	10%	0 fugas	0
		1 a 3 fugas	2
		3 a 5 fugas	4
		5 a más fugas	6