



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA CIVIL**

TEMA

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS TUBERÍAS SCH 40 EN
REDES DE DISTRIBUCIÓN DOMICILIARIAS DE AGUA POTABLE EN
COMPARACIÓN CON LOS MÉTODOS CONVENCIONALES**

TUTOR

MSc. PABLO MARIO PAREDES RAMOS

AUTORES

BRIONES MONTIEL MERCEDES NATALY

CONTRERAS MAYA HUGO BYRON

GUAYAQUIL

2025

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: Análisis Técnico-Económico de las Tuberías SCH 40 en Redes de Distribución Domiciliarias de Agua Potable en Comparación con los Métodos Convencionales.	
AUTOR/ES: Briones Montiel Mercedes Nataly Contreras Maya Hugo Byron	TUTOR: MSc. Pablo Mario Paredes Ramos
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Ingeniero/a Civil.
FACULTAD: Facultad de Ingeniería Industria y Construcción	CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2025	N. DE PÁGS: 103
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción	
PALABRAS CLAVE: Materiales de construcción, Abastecimiento de agua, Gestión de recursos hídricos, Costes de construcción, Evaluación comparativa.	
RESUMEN: El diseño eficiente de redes de distribución domiciliaria de agua potable es fundamental para garantizar el acceso seguro y continuo al recurso hídrico en zonas urbanas y periurbanas del Ecuador. En este contexto, la selección de los materiales de instalación, especialmente las tuberías, tiene un impacto directo en el desempeño técnico del sistema y en los costos de ejecución y mantenimiento de la obra. Actualmente, las tuberías SCH 80 son ampliamente utilizadas debido a su resistencia mecánica y durabilidad. Sin embargo, este tipo de tubería implica una inversión considerable, lo que puede afectar la viabilidad económica de proyectos de menor escala o de carácter social. Frente a esta realidad, surge la necesidad de explorar alternativas más económicas que mantengan estándares técnicos aceptables. Una de estas opciones es el uso de tuberías SCH 40, las cuales tienen un menor espesor y peso, lo que podría representar ventajas en términos de costos y facilidad de instalación. Este trabajo de titulación tiene como finalidad analizar la eficiencia técnico-económica del uso de tuberías SCH 40 en redes de agua potable a nivel domiciliario, comparándolas con las tuberías convencionales SCH 80. Para ello, se propone un enfoque práctico basado en pruebas técnicas y económicas sobre un modelo piloto, con el objetivo de sustentar con evidencia la viabilidad de su aplicación en proyectos de infraestructura hidráulica.	
N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:

DIRECCIÓN URL (Web):		
ADJUNTO PDF:	SI ☒	NO ☐
CONTACTO CON AUTOR/ES: Briones Montiel Mercedes Nataly Contreras Maya Hugo Byron	Teléfono: +593 96 966 5688 +593 98 506 2393	E-mail: mbrionesm@ulvr.edu.ec hcontrerasm@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	PhD. Ing. Calero Amores Marcial Sebastián Decano de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción Teléfono: (04)2596500 Ext. 241 E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec Mgtr. Jorge Enrique Torres Rodríguez Director de Carrera Teléfono: (04)2596500 Ext 242 E-mail etorresr@ulvr.edu.ec	

CERTIFICADO DE SIMILITUD



Firma:

MSc. PABLO MARIO PAREDES RAMOS

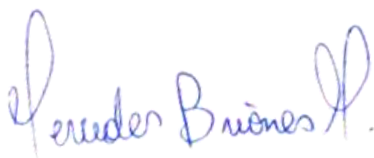
C.I. 0911828150

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados Mercedes Nataly Briones Montiel y Hugo Byron Contreras Maya, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, Análisis Técnico-Económico de las Tuberías SCH 40 en Redes de Distribución Domiciliarias de Agua Potable en Comparación con los Métodos Convencionales, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

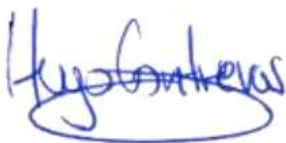
Autores



Firma:

MERCEDES NATALY BRIONES MONTIEL

C.I.0941732778



Firma:

HUGO BYRON CONTRERAS MAYA

C.I.0925364127

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS TUBERÍAS SCH 40 EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DOMICILIARIAS DE AGUA POTABLE EN COMPARACIÓN CON LOS MÉTODOS CONVENCIONALES, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: Análisis Técnico-Económico de las Tuberías SCH 40 en Redes de Distribución Domiciliarias de Agua Potable en Comparación con los Métodos Convencionales, presentado por los estudiantes MERCEDES NATALY BRIONES MONTIEL y HUGO BYRON CONTRERAS MAYA, como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:



MSc. PABLO MARIO PAREDES RAMOS

C.I. 0911828150

AGRADECIMIENTO

Agradezco, en primer lugar, a Dios por darme la fortaleza, la salud y la claridad para llegar hasta este momento tan importante en mi vida. Sin su guía, nada de esto habría sido posible.

A mi compañero de tesis, Hugo Contreras, por su dedicación, responsabilidad y compromiso a lo largo de este proceso. Fue un verdadero apoyo contar con alguien tan entregado y con quien pude compartir esta etapa tan exigente. Su trabajo fue fundamental para alcanzar este logro.

Al Máster Pablo Paredes, por su acompañamiento, por orientarnos con paciencia y por brindarnos su tiempo y conocimiento en cada etapa de este proyecto. Gracias por guiarnos con profesionalismo y humanidad.

A mi esposo, Jonathan Vera, por ser mi apoyo en todo sentido. Gracias por sostenerme emocionalmente en los momentos más duros, por estar a mi lado en silencio o en palabra, y por brindarme también el soporte económico que me permitió concentrarme en alcanzar esta meta. Sin ti, este camino habría sido mucho más difícil.

Y a mi familia, por su presencia sincera, por cada gesto de apoyo en momentos difíciles y por creer en mí a su manera.

Este logro es también de ustedes. Con todo mi corazón, gracias.

Mercedes Nataly Briones Montiel

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su guía constante en cada etapa de este camino.

A mi familia, por su amor incondicional, apoyo y confianza.

A mi tutor de tesis, por su acompañamiento técnico y compromiso con mi formación. A mi compañera de tesis, por el esfuerzo compartido y valioso trabajo en equipo durante todo el proceso.

Y a quienes, de una u otra forma, aportaron para que hoy este proyecto sea una realidad.

Hugo Byron Contreras Maya

DEDICATORIA

A la niña que una vez fui, la que sentía una mezcla de miedo y curiosidad cada vez que veía las grandes maquinarias de construcción. Aunque no las entendía del todo, algo en su interior sabía que ese mundo tenía un lugar para ella. Hoy, desde el área comercial, sigo conectada con ese universo que alguna vez me intimidó, pero también me inspiró a soñar.

A mi padre, César Briones, por su ejemplo de trabajo incansable y responsabilidad. Aunque no fue un hombre expresivo, su forma de ser me enseñó la importancia del esfuerzo silencioso y del compromiso. Este logro también le pertenece, porque mucho de lo que soy, lo aprendí de él.

A mi madre, Teodora Montiel, por ser esa voz constante que me alentó a seguir, con ternura y convicción, cuando yo misma flaqueaba. Su fe en mí fue clave para llegar hasta aquí.

A mi esposo, Jonathan Vera, por ser ese soporte en cada etapa de este proceso. Su compañía, su fuerza emocional y su respaldo incondicional hicieron posible este camino.

A mi hermana, Liliana Briones, que siempre vio en mí lo que a veces yo no lograba ver. Su confianza en mis capacidades y su presencia en los momentos más difíciles me recordaron lo que soy capaz de lograr.

Este trabajo no es solo un esfuerzo académico. Es una construcción hecha de amor, memoria, fe y acompañamiento. Por eso, les pertenece.

Mercedes Nataly Briones Montiel

DEDICATORIA

A Dios, por sostenerme incluso cuando sentí que no podía más.

A Sara, mi compañera de vida, por tu amor, paciencia y aliento constante.

Y a mis hijas en camino, porque ya me hacen más fuerte.

A mi padre, por creer en mí desde el inicio.

Hugo Byron Contreras Maya

RESUMEN

El diseño eficiente de redes de distribución domiciliaria de agua potable es fundamental para garantizar el acceso seguro y continuo al recurso hídrico en zonas urbanas y periurbanas del Ecuador. En este contexto, la selección de los materiales de instalación, especialmente las tuberías, tiene un impacto directo en el desempeño técnico del sistema y en los costos de ejecución y mantenimiento de la obra.

Actualmente, las tuberías SCH 80 son ampliamente utilizadas debido a su resistencia mecánica y durabilidad. Sin embargo, este tipo de tubería implica una inversión considerable, lo que puede afectar la viabilidad económica de proyectos de menor escala o de carácter social. Frente a esta realidad, surge la necesidad de explorar alternativas más económicas que mantengan estándares técnicos aceptables. Una de estas opciones es el uso de tuberías SCH 40, las cuales tienen un menor espesor y peso, lo que podría representar ventajas en términos de costos y facilidad de instalación.

Este trabajo de titulación tiene como finalidad analizar la eficiencia técnico-económica del uso de tuberías SCH 40 en redes de agua potable a nivel domiciliario, comparándolas con las tuberías convencionales SCH 80. Para ello, se propone un enfoque práctico basado en pruebas técnicas y económicas sobre un modelo piloto, con el objetivo de sustentar con evidencia la viabilidad de su aplicación en proyectos de infraestructura hidráulica.

Palabras claves: Materiales de construcción, Abastecimiento de agua, Gestión de recursos hídricos, Costes de construcción, Evaluación comparativa.

ABSTRACT

The efficient design of home distribution networks for drinking water is essential to guarantee safe and continuous access to water resources in urban and peri-urban areas of Ecuador. In this context, the selection of installation materials, especially pipes, has a direct impact on the technical performance of the system and on the execution and maintenance costs of the work.

Currently, SCH 80 pipes are widely used due to their mechanical strength and durability. However, this type of pipeline involves a considerable investment, which can affect the economic viability of smaller-scale or social projects. Faced with this reality, the need arises to explore more economical alternatives that maintain acceptable technical standards. One of these options is the use of SCH 40 pipes, which have a lower thickness and weight, which could represent advantages in terms of costs and ease of installation.

The purpose of this degree work is to analyze the technical-economic efficiency of the use of SCH 40 pipes in drinking water networks at the household level, comparing them with conventional SCH 80 pipes. To this end, a practical approach is proposed based on technical and economic tests on a pilot model, with the aim of supporting with evidence the viability of its application in hydraulic infrastructure projects.

Keywords: Construction materials, Water supply, Water resource management
Construction cost, Comparative assessment.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
PORTADA.....	i
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	ii
CERTIFICADO DE SIMILITUD.....	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES.....	v
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA	ix
DEDICATORIA	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
ENFOQUE DE LA PROPUESTA.....	2
1.1 Tema.	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Formulación del problema.....	3
1.4 Objetivo general.	4
1.5 Objetivos específicos.	4
1.6 Idea a defender (investigaciones cualitativas o mixtas) / hipótesis (investigaciones cuantitativas).	5
1.7 Línea de investigación institucional / facultad.	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO REFERENCIAL	6
2.1 Marco teórico.	6
2.1.1 Fundamentos de redes de agua potable.....	7
2.1.2 Variables técnicas hidráulicas: presión, caudal y fugas.	8
2.1.2.1 Presión.....	8
2.1.2.1.1 Fundamento físico e histórico.	8
2.1.2.1.2 Avances en medición de presión.	10
2.1.2.1.3 Aplicaciones históricas.	10

2.1.2.2 Caudal.	11
2.1.2.2.1 Fundamento físico e histórico.	11
2.1.2.2.2 Instrumentos para medición de caudal.	12
2.1.2.2.3 Aplicaciones históricas clave.	13
2.1.2.3 Fugas en redes de distribución: evolución, causas y diagnóstico.	14
2.1.2.3.1 Fundamento histórico y evolución técnica.	14
2.1.2.3.2 Principales causas técnicas de fugas y métodos de detección.	15
2.1.3 Sistemas de red de agua potable.	17
2.1.3.1 Fundamentos teóricos y técnicos.	17
2.1.3.1.1 Continuidad hidráulica y sectorización.	17
2.1.3.1.2 Redundancia operativa y resiliencia.	18
2.1.3.1.3 Compatibilidad de materiales y suelos.	18
2.1.3.1.4 Elementos básicos de una red de agua potable.	18
2.1.3.2 Contexto local.	20
2.1.4 Materiales hidráulicos en instalaciones domiciliarias.	21
2.1.4.1 Análisis comparativo de materiales alternativos en redes domiciliarias de agua potable.	23
2.1.4.2 Características técnicas de las tuberías SCH40 y SHC80.	25
2.1.4.3 Base científica del uso de tuberías SCH 40.	27
2.1.4.4 Consideraciones adicionales.	29
2.1.5 Evaluación económica del uso de tuberías SCH 40.	29
2.1.5.1 Costo de adquisición.	30
2.1.5.2 Costos de transporte y manipulación.	31
2.1.5.3 Costos de instalación.	31
2.1.5.4 Costos de operación y mantenimiento.	32
2.1.6 El enfoque técnico-económico como herramienta de decisión en proyectos de agua potable.	32
2.1.7 Justificación del enfoque experimental en estudios hidráulicos.	34
2.1.8 Marco normativo.	35
2.1.8.1 Normativa nacional (Ecuador) Normas INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización).	36
2.1.8.2 Normativa internacional de referencia.	36
2.1.8.3 Consideraciones clave.	37

2.1.8.4	Parámetros relevantes por norma (resumen técnico).	39
2.1.8.5	Calidad del agua en redes de distribución domiciliaria.	40
2.2	Marco Legal.	42
CAPÍTULO III.....		44
MARCO METODOLÓGICO.....		44
3.1	Enfoque de la investigación: (cuantitativo, cualitativo o mixto).....	44
3.2	Alcance de la investigación: (exploratorio, descriptivo o correlacional).....	45
3.3	Técnica e instrumentos para obtener los datos.....	46
3.4	Población y muestra.....	47
CAPÍTULO IV		49
PROPUESTA O INFORME.....		49
4.1	Descripción general de la propuesta.....	49
4.1.2	Objetivo de la propuesta.	49
4.1.3	Etapas del plan de trabajo.	50
4.1.3.1	Etapas del plan de trabajo.	50
4.1.3.2	Etapas del plan de trabajo.	50
4.1.3.3	Etapas del plan de trabajo.	51
4.1.3.4	Etapas del plan de trabajo.	51
4.1.3.4.1	Etapas del plan de trabajo.	51
4.1.3.4.2	Etapas del plan de trabajo.	51
4.1.3.4.3	Etapas del plan de trabajo.	52
4.1.3.4.4	Etapas del plan de trabajo.	52
4.1.3.5	Etapas del plan de trabajo.	52
4.1.3.6	Etapas del plan de trabajo.	52
4.1.3.7	Etapas del plan de trabajo.	53
4.1.4	Cronograma de implementación.	53
4.1.5	Resultados esperados.	55
4.1.5.1	Resultados esperados.	55
4.1.5.2	Resultados esperados.	56
4.1.5.3	Resultados esperados.	56
4.1.5.4	Resultados esperados.	56
4.1.5.5	Resultados esperados.	57
4.1.6	Especificaciones técnicas del sistema piloto.....	58

4.1.7	Diseño base simplificado del sistema.	59
4.1.8	Descripción del sitio de instalación.	60
4.1.9	Lista estimada de materiales.....	61
4.1.10	Presentación y análisis de resultados.	62
4.1.10.1	Análisis de presión.	62
4.1.10.2	Análisis de caudal.	64
4.1.10.3	Análisis de fugas y deformaciones.	66
4.1.10.4	Análisis de calidad del agua.	67
4.1.10.5	Análisis técnico-económico.	69
4.1.10.5.1	Análisis de Precios Unitarios (APU).....	69
4.1.10.5.2	Costos del ciclo de vida (LCC).....	72
4.1.10.5.3	Análisis de eficiencia técnica vs costo.	73
4.1.10.5.4	Relación costo-beneficio.....	75
4.1.10.5.5	Índice de Desempeño Técnico-Económico (IDTE) y proyección de impacto urbano.	76
4.2	Propuesta.....	77
4.2.1	Justificación técnica de la propuesta.....	77
4.2.2	Ámbitos de aplicación sugeridos.....	78
4.2.3	Estrategia para implementación técnica.	78
CONCLUSIONES		80
RECOMENDACIONES.....		81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		83

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Pág.
Tabla 1. Clasificación de las redes de distribución de agua potable.	8
Tabla 2. Tipos de fugas de agua.	15
Tabla 3. Elementos básicos de una red domiciliaria de agua potable.	19
Tabla 4. Propiedades de los tipos de tuberías.	23
Tabla 5. Propiedades y características de varios tipos de tuberías.	24
Tabla 6. Diferencias técnicas principales entre SCH 40 y SCH 80.	26
Tabla 7. Comparación de características entre PVC SCH 40 y PVC SCH 80.	27
Tabla 8. Costos referenciales de tubería PVC SCH 40 y PVC SCH 80.	30
Tabla 9. Análisis costo-beneficio para SCH 40 y SCH 80.	33
Tabla 10. Normas técnicas INEN y ASTM.	38
Tabla 11. Comparativa de parámetros clave de calidad de agua potable.	42
Tabla 12. Técnica e instrumentos para obtener los datos.	47
Tabla 13. Cronograma de implementación.	54
Tabla 14. Tuberías por sistemas.	59
Tabla 15. Lista de materiales 1.	61
Tabla 16. Lista de materiales 2.	62
Tabla 17. Lista de materiales 3.	62
Tabla 18. Resultados de la prueba de presión.	64
Tabla 19. Caudales obtenidos.	65
Tabla 20. Lista de chequeo para inspección visual del sistema piloto.	67
Tabla 21. Resultados obtenidos de la calidad de agua.	68
Tabla 22. APU detallado del sistema SCH 40.	70
Tabla 23. APU detallado del sistema SCH 80.	71
Tabla 24. Costo del ciclo de vida.	73
Tabla 25. Matriz de evaluación técnico-económica ponderada.	74
Tabla 26. Relación costo / beneficio.	76
Tabla 27. Índice de desempeño técnico.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1. Tipos de fugas en redes de tuberías de agua potable.....	17
Figura 2. Esquema básico de una red domiciliaria de agua potable.	20
Figura 3. Comparación técnica de tuberías para redes domiciliarias.	25
Figura 4. Comparación de desempeño entre SCH 40 y SCH 80.....	34
Figura 5. Enfoque experimental en estudios hidráulicos.	35
Figura 6. Enfoque Mixto.....	45
Figura 7. Cronograma de implementación del proyecto piloto.....	55
Figura 8. Diseño base simplificado del sistema.	60
Figura 9. Comparación de eficiencia técnico-económica ponderada.	75

INTRODUCCIÓN

Garantizar el acceso al agua potable en los hogares depende no solo de la cobertura de los sistemas, sino también de la elección de materiales que permitan construir redes confiables y sostenibles. En el país, uno de los principales retos es encontrar soluciones que combinen buen desempeño técnico con costos accesibles, especialmente en proyectos de vivienda social o en sectores donde los recursos son limitados.

Las tuberías de PVC SCH 80 han sido durante años la opción más utilizada por su resistencia, pero su precio representa una barrera para obras de menor escala. En este contexto, surge la alternativa de emplear tuberías SCH 40 que, al ser más livianas y económicas, podrían facilitar tanto la instalación como el mantenimiento, siempre que cumplan con las exigencias hidráulicas del servicio.

Este trabajo de titulación se centra en comparar ambas opciones a través de un sistema piloto que permitió realizar pruebas técnicas de presión, caudal, fugas y calidad del agua, junto con un análisis de los costos de instalación y operación.

El objetivo es aportar información clara y práctica que sirva de guía para ingenieros, constructores y autoridades al momento de decidir qué material utilizar en redes domiciliarias de agua potable, contribuyendo a un uso más eficiente de los recursos y a mejorar la calidad del servicio para las comunidades.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema.

Análisis técnico-económico de las tuberías SCH 40 en redes de distribución domiciliarias de agua potable en comparación con los métodos convencionales.

1.2 Planteamiento del problema.

En el ámbito de las redes de distribución domiciliaria de agua potable, las tuberías SCH 40 han sido reconocidas por su durabilidad y resistencia frente a condiciones de presión y corrosión. Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos económicos y técnicos, especialmente en zonas donde los costos de instalación y mantenimiento se convierten en factores determinantes para su adopción.

Estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) indican que el 30% de las redes de agua en países en desarrollo presentan fallas por el uso de materiales de baja calidad, generando pérdidas significativas de agua potable y elevados costos de reparación. En Ecuador, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), más del 25% de los sistemas de distribución de agua muestran problemas de eficiencia debido al envejecimiento de las tuberías y la elección inadecuada de materiales, lo que afecta directamente la calidad del servicio y el acceso al agua en zonas urbanas y rurales.

El problema central radica en evaluar si las tuberías SCH 40 representan una alternativa económicamente viable frente a otros materiales, como el PVC o las tuberías galvanizadas, en contextos donde los recursos son limitados y la sostenibilidad de las redes es una prioridad.

El estudio se centra en redes de distribución domiciliaria en sectores de ingresos medios y bajos en Ecuador, durante el período comprendido entre

2020 y 2025, un contexto en el que las autoridades locales han priorizado la mejora del acceso al agua potable.

Este análisis busca responder preguntas clave: ¿Cómo se comparan los costos de instalación y mantenimiento de las tuberías SCH 40 con otras alternativas? ¿Cuáles son los beneficios económicos y técnicos que estas tuberías ofrecen en redes domiciliarias? Y, finalmente, ¿cómo podría su uso contribuir a la sostenibilidad y eficiencia del sistema?

La importancia de esta investigación radica en proporcionar evidencia empírica que permita a las autoridades y empresas constructoras tomar decisiones informadas sobre los materiales utilizados en las redes de distribución, optimizando recursos y garantizando un servicio de calidad a las comunidades.

1.3 Formulación del problema.

En el diseño y construcción de redes de distribución domiciliaria de agua potable, la selección de materiales representa un factor crucial para garantizar la eficiencia operativa y la sostenibilidad a largo plazo. Las tuberías SCH 40, conocidas por su resistencia y durabilidad, surgen como una alternativa viable frente a otros materiales como el PVC o las tuberías galvanizadas. Sin embargo, persiste una insuficiencia de análisis que relacione su desempeño técnico con los costos económicos asociados a su implementación en el contexto ecuatoriano.

Esta falta de evidencia concreta dificulta la toma de decisiones por parte de las autoridades y empresas encargadas de la gestión de redes de agua, especialmente en zonas donde los recursos económicos son limitados. ¿Es el uso de las tuberías SCH 40 económicamente eficiente en comparación con otras opciones disponibles? ¿Cómo influye esta elección en los costos de mantenimiento y reparación, y qué impacto tiene sobre la sostenibilidad de las redes a largo plazo?

La ausencia de estudios que exploren estas relaciones genera incertidumbre sobre su viabilidad económica y técnica, planteando la necesidad de realizar

una investigación que aporte claridad y fundamentos para decisiones informadas en proyectos de infraestructura hidráulica.

1.4 Objetivo general.

Analizar la eficiencia técnica-económica de las tuberías SCH 40 en redes de distribución domiciliaria de agua potable, determinando su viabilidad en términos de costos de instalación, mantenimiento y sostenibilidad, para proporcionar fundamentos que respalden su implementación en proyectos de infraestructura hidráulica.

1.5 Objetivos específicos.

- Revisar el sustento teórico y el estado del arte relacionado con las características técnicas y económicas de las tuberías SCH 40, comparándolas con otros materiales utilizados en redes domiciliarias de agua potable, especialmente SCH 80.
- Diagnosticar la situación actual de las redes de distribución domiciliaria de agua potable en Ecuador, identificando los materiales comúnmente utilizados, sus costos y problemas de eficiencia.
- Diseñar un modelo piloto de red domiciliaria que permita evaluar comparativamente el comportamiento hidráulico de tuberías SCH 40 y SCH 80, a través de pruebas de presión, caudal y fugas.
- Analizar los resultados técnicos y económicos obtenidos de las pruebas experimentales, determinando la viabilidad de implementar tuberías SCH 40 como alternativa eficiente y sostenible en proyectos de agua potable.

1.6 Idea a defender (investigaciones cualitativas o mixtas) / hipótesis (investigaciones cuantitativas).

Este estudio parte de la hipótesis de que las tuberías SCH 40 constituyen una alternativa viable desde el punto de vista técnico-económico para su aplicación en redes de distribución domiciliaria de agua potable. En el aspecto técnico, se plantea que estas tuberías pueden cumplir con los requerimientos mínimos de presión y caudal necesarios para garantizar un funcionamiento eficiente del sistema, sin comprometer la seguridad ni la continuidad del servicio. Desde el enfoque económico, se sostiene que el uso de tuberías SCH 40 representa una reducción significativa en los costos de adquisición, transporte e instalación en comparación con las tuberías SCH 80, lo cual podría traducirse en una optimización de los recursos en proyectos de infraestructura hidráulica de pequeña y mediana escala.

1.7 Línea de investigación institucional / facultad.

Línea de investigación institucional de la facultad de arquitectura, industria y construcción.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco teórico.

La durabilidad y la resistencia de los materiales han sido aspectos clave en el diseño de redes de distribución de agua potable desde hace décadas (Torres, 2020). Tradicionalmente, se han utilizado materiales como el PVC y el acero galvanizado debido a su disponibilidad, bajo costo y facilidad de instalación. No obstante, estudios recientes han demostrado que, en condiciones de alta presión o en entornos corrosivos, estos materiales tienden a presentar fallas técnicas que conllevan mayores costos operativos por intervenciones frecuentes Ramírez (2020; Fernández (2021).

A nivel internacional, la tubería PVC SCH 40 ha demostrado ser una alternativa eficiente frente a materiales más robustos como el SCH 80. La American Water Works Association (2022) reportó que en redes urbanas donde se implementó SCH 40, los costos de mantenimiento se redujeron en promedio un 25 %. En zonas sísmicas como Japón, se observó una disminución del 40 % en reparaciones tras su uso Japan Water Works Association (2021) mientras que, en Alemania la modernización con SCH 40 mejoró la eficiencia hídrica en un 30 % y redujo los costos operativos en un 15 % (European Water Management Journal, 2021).

Un estudio técnico-económico de la Water Research Foundation (2020) reveló que el PVC SCH 40 puede alcanzar una vida útil de hasta 100 años. Su análisis de costo del ciclo de vida (Life Cycle Cost Analysis) concluyó que esta opción es más rentable frente al hierro dúctil, gracias a su menor inversión inicial, instalación más sencilla y escasa demanda de mantenimiento. Análisis complementarios realizados bajo normas ISO en Alemania refuerzan esta conclusión al considerar también el impacto ambiental y la eficiencia energética (JMEagle, 2020).

En América Latina, diversos estudios también respaldan el uso del SCH 40. Investigaciones en Chile, Paredes (2020); Perú, Ramírez (2020); Sánchez (2023) reportan reducciones significativas en fugas y en los costos anuales de mantenimiento. En México, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2023) destacó que su mayor durabilidad y menor frecuencia de intervenciones correctivas hacen de esta tubería una opción estratégica para zonas urbanas con suelos agresivos y presupuestos limitados.

En Ecuador, existen indicios de mejoras operativas tras la instalación de SCH 40 en ciudades como Guayaquil, Quito y Cuenca, (Vargas, 2021; Contreras, 2022). Sin embargo, aún no se han desarrollado estudios comparativos sólidos que respalden su uso generalizado frente al SCH 80. Este vacío es particularmente relevante ante el crecimiento urbano acelerado del país, que demanda soluciones hidráulicas más eficientes, sostenibles y asequibles. En este contexto, el presente trabajo busca aportar evidencia técnica local mediante la evaluación comparativa del comportamiento y la viabilidad técnico-económica de las tuberías SCH 40 en redes domiciliarias de agua potable.

2.1.1 Fundamentos de redes de agua potable.

Las redes de distribución de agua potable están conformadas por tuberías, accesorios e instalaciones hidráulicas cuya función principal es conducir el agua desde los sistemas de almacenamiento o captación hasta los usuarios finales. En el caso específico de las redes domiciliarias, su objetivo es garantizar el suministro continuo, seguro y de calidad a viviendas, conjuntos habitacionales o edificaciones, cumpliendo con los parámetros establecidos por la normativa técnica y sanitaria vigente (CEN, 2011; AWWA, 2017).

Estas redes pueden clasificarse según su función hidráulica y su alcance dentro del sistema general. Esta clasificación es clave para el diseño, operación y mantenimiento, ya que permite establecer los diámetros apropiados, niveles de presión, caudal y materiales adecuados para cada tramo del sistema. La Tabla 1 presenta esta estructura general, diferenciando redes primarias, secundarias y terciarias o domiciliarias, cada una con características técnicas particulares.

Tabla 1. Clasificación de las redes de distribución de agua potable.

Tipo de red	Función Principal	Características Principales
Red primaria	Transportar grandes volúmenes desde fuentes o tanques	Tuberías de gran diámetro (≥ 200 mm) alta presión y caudal
Red secundaria	Distribuir agua en zonas o sectores específicos	Tuberías de diámetro medio (100–200 mm) conecta con la primaria
Red Terciaria o domiciliaria	Llevar agua a cada vivienda o punto de consumo	Tuberías pequeñas (≤ 63 mm) presión y caudal regulados

Fuente: CEN (2011); AWWA (2017)

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

2.1.2 Variables técnicas hidráulicas: presión, caudal y fugas.

En el presente estudio se consideran tres variables técnicas clave para la evaluación del desempeño hidráulico de las tuberías SCH 40 y SCH 80: presión, caudal y fugas. Estas variables son fundamentales para caracterizar el comportamiento del sistema piloto, ya que permiten cuantificar la capacidad de conducción, la eficiencia del sistema y su integridad estructural. Su análisis conjunto constituye una herramienta técnica esencial para validar el funcionamiento y la viabilidad de las soluciones propuestas en contextos reales de abastecimiento de agua.

2.1.2.1 Presión.

2.1.2.1.1 Fundamento físico e histórico. La presión es una de las variables fundamentales en la hidráulica, ya que describe la fuerza que un fluido ejerce sobre una superficie por unidad de área. Su estudio se remonta a la antigüedad, con aportes de pensadores como Arquímedes de

Siracusa (287–212 a.C.), quien sentó las bases de la hidrostática a través de sus principios de flotación e inmersión.

Sin embargo, el concepto moderno de presión fue formalizado en el siglo XVII por Blaise Pascal, quien formuló el principio que lleva su nombre. La presión ejercida sobre un fluido en reposo se transmite íntegramente en todas las direcciones, este enunciado permitió comprender el comportamiento interno de los fluidos y fue clave para el desarrollo de tecnologías como válvulas, bombas y redes de distribución de agua.

Posteriormente, en el siglo XVIII, Bernoulli (1700–1782) avanzó en el análisis de fluidos en movimiento con su obra *Hydrodynamica*, allí introdujo el principio que establece una relación inversa entre presión y velocidad en los fluidos, base del comportamiento de redes presurizadas y sistemas hidráulicos actuales.

En términos técnicos, la presión P se expresa como:

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

Donde:

ρ : densidad del fluido (kg/m^3)

g : aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2) h : altura de la columna de fluido (m)

Esta fórmula permite calcular la presión generada por una columna de agua en reposo y es esencial en el diseño de redes hidráulicas gravitacionales o presurizadas. La presión puede medirse en diferentes unidades, entre las más comunes están:

- Pascal (Pa): Unidad del Sistema Internacional, donde $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$.
- Bar: Equivalente a 100,000 Pa.
- PSI (pounds per square inch): Unidad habitual en redes domiciliarias; $1 \text{ psi} \approx 6895 \text{ Pa}$.

Comprender el comportamiento de la presión es crucial para simular escenarios reales, optimizar diseños y asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas de conducción de agua según, AWWA (2017), este principio es fundamental en el diseño de redes gravitacionales y en la simulación de presiones internas en tuberías cerradas.

2.1.2.1.2 Avances en medición de presión. La evolución de los instrumentos para medir presión hidráulica ha sido clave en el desarrollo de redes más seguras y eficientes. Inicialmente, se empleaban manómetros de tubo en U, cuyo principio de funcionamiento se basaba en la diferencia de altura entre dos columnas de líquido —usualmente mercurio o agua— contenidas en un tubo en forma de “U”. Aunque rudimentarios, estos dispositivos ofrecían una forma efectiva de estimar presiones en sistemas hidráulicos estáticos.

Con el tiempo, surgieron los manómetros de resorte, entre ellos los conocidos manómetros de Bourdon, que transforman la presión en desplazamiento mecánico. Este tipo de instrumento se convirtió en un estándar dentro de las instalaciones hidráulicas, por su fiabilidad, bajo costo y facilidad de lectura.

En las últimas décadas, la incorporación de nuevas tecnologías ha dado paso a dispositivos digitales, sensores piezoeléctricos y sistemas de telemetría capaces de registrar presiones en tiempo real con alta precisión. Estos equipos pueden operar en condiciones extremas de temperatura, vibración o altitud, siendo ampliamente utilizados en plantas de tratamiento, sistemas de bombeo y redes urbanas modernas (AWWA, 2017).

La integración de estos instrumentos ha mejorado significativamente el monitoreo y control de los sistemas hidráulicos, permitiendo detectar irregularidades, prevenir fallas y optimizar el funcionamiento general de las redes presurizadas.

2.1.2.1.3 Aplicaciones históricas. A lo largo de la historia, las aplicaciones de la presión hidráulica han evolucionado desde soluciones ingeniosas hasta complejos sistemas modernos. Un ejemplo temprano es el de los acueductos romanos, que utilizaban gradientes de altura para generar presión de forma natural

mediante la fuerza de la gravedad. Estas estructuras fueron esenciales para abastecer de agua a ciudades, termas y fuentes públicas, logrando mantener caudales constantes sin necesidad de bombeo mecánico.

En el Medio Oriente, las civilizaciones persas desarrollaron los qanats, sistemas subterráneos que permitían conducir agua desde acuíferos hasta zonas de cultivo o asentamientos humanos. Estos canales no solo regulaban el caudal, sino que también controlaban la presión mediante diferencias de nivel cuidadosamente calculadas, lo que los convierte en un antecedente funcional de las redes gravitacionales modernas.

Ya en el siglo XIX, con la expansión urbana en Europa y América, surgió la necesidad de diseñar redes hidráulicas presurizadas para abastecer a poblaciones crecientes. Este proceso impulsó el desarrollo de materiales más resistentes, válvulas de control y las primeras normas técnicas para soportar esfuerzos internos derivados de la presión en redes cerradas. Así, la presión dejó de ser solo un fenómeno físico para convertirse en un parámetro de diseño clave en la ingeniería hidráulica contemporánea (Mays, 2007; AWWA, 2017).

2.1.2.2 Caudal.

2.1.2.2.1 Fundamento físico e histórico. El caudal, también conocido como flujo volumétrico, es una de las variables fundamentales en la hidráulica y en el diseño de redes de distribución de agua potable. Representa el volumen de fluido que atraviesa una sección transversal del conducto por unidad de tiempo, y se expresa comúnmente en litros por segundo (L/s), metros cúbicos por hora (m³/h) o galones por minuto (gpm).

Aunque su estudio formal comenzó a consolidarse en el siglo XVIII, el concepto de caudal ha sido aplicado desde tiempos antiguos. Las civilizaciones egipcia, romana y mesopotámica diseñaron canales, acueductos y acequias que requerían un manejo práctico del caudal para garantizar el abastecimiento constante de agua a ciudades, campos y baños públicos.

Durante el siglo XVIII, Daniel Bernoulli propuso que el caudal depende de la relación entre la presión y la velocidad de un fluido, una base del análisis energético moderno. Posteriormente, Henri Pitot (1732) diseñó el tubo que lleva su nombre, utilizado hasta la actualidad para medir la velocidad de flujo en canales y conductos cerrados (Mays, 2007).

El caudal volumétrico se calcula con la expresión:

$$Q = A \cdot V$$

Donde:

Q: caudal volumétrico (m³/s)

A: área de la sección transversal del conducto (m²)

V: velocidad media del flujo (m/s).

Esta ecuación es válida para condiciones de flujo uniforme en tuberías de sección constante. En redes domiciliarias, permite estimar si el flujo satisface la demanda simultánea de consumo en una vivienda o sector.

Para flujos en sistemas presurizados, también se emplea la ecuación de continuidad:

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

Este principio es útil para analizar cómo varía la velocidad del flujo al modificar el diámetro de la tubería, siendo clave para el diseño hidráulico y la selección adecuada de materiales (AWWA, 2017).

2.1.2.2.2 Instrumentos para medición de caudal. La medición del caudal ha evolucionado significativamente a lo largo del tiempo, desarrollando instrumentos adaptados a distintos tipos de flujo y contextos de aplicación. En canales abiertos, el caudal se determina mediante dispositivos como vertederos, aforos o estructuras tipo weir, que permiten calcular el volumen a partir de la altura del agua y fórmulas empíricas específicas.

En conductos cerrados, donde no se dispone de superficie libre, se utilizan instrumentos más complejos como los tubos de Venturi, que miden la presión diferencial generada por la constricción del flujo. Otros dispositivos empleados son los rotámetros, los medidores electromagnéticos, ultrasónicos y turbinas, todos diseñados para registrar el paso de fluido con distintos grados de precisión, dependiendo del tipo de sistema y fluido en movimiento (AWWA, 2017).

En el ámbito residencial, las empresas operadoras de agua potable suelen instalar medidores mecánicos o electrónicos que contabilizan el volumen total consumido por cada usuario. Estos dispositivos permiten llevar un control individualizado del uso del recurso y constituyen una herramienta clave para la facturación y detección de pérdidas no visibles.

Actualmente, los caudalímetros electrónicos han ganado popularidad debido a su capacidad de registrar el comportamiento del flujo en tiempo real. Estos equipos pueden detectar variaciones mínimas, transmitir datos de manera remota y facilitar la toma de decisiones para la gestión eficiente del recurso hídrico.

2.1.2.2.3 Aplicaciones históricas clave. A lo largo de la historia, las civilizaciones han desarrollado distintas estrategias para controlar el caudal en función de sus necesidades agrícolas, urbanas e industriales. En el Antiguo Egipto, por ejemplo, se implementaron sistemas de riego que dependían de las crecidas estacionales del río Nilo. Estos sistemas utilizaban compuertas manuales y canales contruidos con pendientes cuidadosamente calculadas para regular el flujo del agua hacia las zonas agrícolas.

En la Roma Antigua, el diseño de acueductos constituyó uno de los avances más significativos en materia hidráulica. A través del uso empírico de la pendiente y el dimensionamiento de las secciones transversales, los ingenieros romanos lograron mantener un flujo continuo y estable de agua hacia las ciudades, sin necesidad de bombeo, lo que marcó un precedente en el diseño de redes gravitacionales.

Con la llegada de la Revolución Industrial, se introdujeron nuevas tecnologías que transformaron la gestión del caudal. El desarrollo de bombas de desplazamiento

positivo y bombas centrífugas permitió el transporte de agua en redes cerradas y bajo presión, lo que facilitó el abastecimiento en áreas urbanas en crecimiento. Estos avances también impulsaron la necesidad de mejorar la medición y control del flujo, sentando las bases para la instrumentación moderna utilizada en la ingeniería hidráulica actual (Mays, 2007).

2.1.2.3 Fugas en redes de distribución: evolución, causas y diagnóstico.

2.1.2.3.1 Fundamento histórico y evolución técnica. Las fugas en redes de distribución de agua potable representan un problema persistente desde la antigüedad. En el Imperio Romano, por ejemplo, los acueductos eran sometidos a inspecciones periódicas para detectar grietas o filtraciones en estructuras de piedra y arcilla (Hodge, 1992). Con el paso del tiempo y la introducción de materiales metálicos como el hierro fundido o el cobre, aparecieron nuevas formas de pérdida no visibles a simple vista, lo que motivó el desarrollo de técnicas más sofisticadas de detección.

Durante el siglo XX, la urbanización acelerada y la expansión de redes enterradas incrementaron la complejidad del diagnóstico de fugas, convirtiéndolo en una prioridad técnica, económica y ambiental para los sistemas de abastecimiento. En este contexto, la International Water Association (IWA) formalizó en el año 2000 la distinción entre pérdidas aparentes (asociadas a errores de medición o conexiones ilegales) y pérdidas reales (derivadas de fugas físicas), promoviendo el uso de metodologías estandarizadas para su detección, cuantificación y control.

Una fuga hidráulica se define como cualquier pérdida involuntaria de agua que ocurre en algún punto del sistema, ya sea en la conducción, almacenamiento o distribución. Esta puede manifestarse de forma visible (goteo, rupturas) o invisible, como sucede con fugas subterráneas o microfisuras en las uniones de las tuberías. En la Tabla 2, se muestra una clasificación general de las fugas con base en su manifestación y frecuencia de ocurrencia.

Tabla 2. Tipos de fugas de agua.

Tipo de fuga	Características principales
Visibles	Se presentan en superficie. Detectables a simple vista (goteo, charcos, rupturas).
No visibles	Se producen bajo tierra o dentro de estructuras. Requieren instrumentación especializada.
Intermitentes	Asociadas a presiones variables o expansión térmica.
Permanentes	Mantienen un flujo constante de pérdida.

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

2.1.2.3.2 Principales causas técnicas de fugas y métodos de detección. Las fugas en redes de agua potable pueden tener múltiples causas técnicas asociadas a deficiencias en el diseño, instalación o envejecimiento de los materiales. Entre las más comunes se encuentran las presiones excesivas —ya sean sostenidas o transitorias como en los golpes de ariete—, así como uniones mal selladas, instalaciones defectuosas o el uso de materiales incompatibles con las características del suelo. También son frecuentes los casos de corrosión interna o externa, especialmente en redes metálicas antiguas, y la fatiga del material debido a ciclos hidráulicos repetitivos (Banco Mundial, 2016).

La magnitud de las pérdidas puede expresarse en litros por segundo (L/s) o como porcentaje del volumen total distribuido. En algunos sistemas con escaso mantenimiento, la tasa de fugas puede superar el 30 %, lo que representa un grave impacto económico y operativo para los prestadores del servicio.

La evolución tecnológica ha permitido el desarrollo de métodos cada vez más precisos para la detección de fugas. Entre las técnicas tradicionales, se encuentran la inspección visual directa, el monitoreo de presiones y caudales anormales, y la comparación de volúmenes de entrada y salida en sectores controlados. Estas estrategias, aunque básicas, siguen siendo útiles en redes pequeñas o de fácil acceso.

En contraste, los métodos modernos incorporan tecnologías avanzadas como los correladores acústicos, geófonos electrónicos, cámaras termográficas, sistemas de sensores integrados (IoT) y pruebas de estanqueidad basadas en registros de presión. Estos procedimientos permiten localizar fugas no visibles de forma no invasiva, con alta precisión y sin necesidad de excavar grandes sectores.

En redes domiciliarias o sistemas piloto como el que se analiza en esta investigación, también pueden aplicarse métodos directos como la evaluación de presión estática o la observación de variaciones de caudal constante durante intervalos de monitoreo, lo que permite identificar pérdidas mínimas con un margen de error aceptable.

Más allá del aspecto técnico, las fugas representan también un riesgo sanitario, ya que, ante condiciones de presión negativa en la red, pueden favorecer la intrusión de contaminantes. Por ello, en regiones con limitaciones hídricas o presupuestarias, la reducción de pérdidas se ha convertido en una estrategia clave para mejorar la eficiencia sin necesidad de expandir la infraestructura existente (Banco Mundial, 2016).

Figura 1. Tipos de fugas en redes de tuberías de agua potable.



Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

2.1.3 Sistemas de red de agua potable.

2.1.3.1 Fundamentos teóricos y técnicos. Los sistemas de distribución de agua potable han experimentado una evolución significativa desde sus orígenes en la antigüedad hasta convertirse en complejas redes hidráulicas urbanas. Civilizaciones como la romana, griega y persa desarrollaron formas organizadas de transporte y suministro de agua mediante acueductos, canales abiertos y tuberías fabricadas con barro cocido o plomo, adaptadas a las condiciones tecnológicas de cada época.

Con la llegada de la Revolución Industrial, la incorporación de materiales como el hierro fundido, y más adelante, de plásticos técnicos como el PVC (cloruro de polivinilo) y el HDPE (polietileno de alta densidad), transformó radicalmente la eficiencia, durabilidad y confiabilidad de estas redes Mays (2000); Gupta (2011). En la actualidad, el diseño de los sistemas de agua potable debe garantizar no solo la continuidad del servicio y una presión adecuada en toda la red, sino también el cumplimiento de estándares de calidad del agua y criterios de sostenibilidad ambiental, tanto en contextos urbanos como rurales.

2.1.3.1.1 Continuidad hidráulica y sectorización. Un sistema de distribución eficiente debe garantizar la continuidad del flujo hidráulico sin interrupciones, incluso ante situaciones de mantenimiento o fallas puntuales. Para ello, se implementa la sectorización hidráulica, que consiste en dividir la red en subzonas o sectores operativos independientes. Esta estrategia permite optimizar la

gestión de presiones, aislar eventos de fuga o reparación, y facilitar el control operativo sin comprometer el abastecimiento global del sistema (Farley & Trow, 2003).

2.1.3.1.2 Redundancia operativa y resiliencia. La redundancia operativa es un principio fundamental en el diseño de redes resilientes. Se recomienda la configuración de sistemas en malla o “looped systems”, donde cada nodo o punto de consumo puede ser alimentado por más de una ruta hidráulica. A diferencia de los sistemas ramificados o de “punto muerto” (dead ends), las redes malladas permiten mantener el suministro incluso cuando una sección del sistema queda fuera de operación. Esta característica incrementa la resiliencia ante emergencias, fallas mecánicas o actividades de mantenimiento programado (Walski et al., 2003).

2.1.3.1.3 Compatibilidad de materiales y suelos. La durabilidad de una red de agua potable no depende únicamente del tipo de tubería empleada, sino también de su compatibilidad con el entorno geotécnico. Condiciones como la acidez del suelo, la humedad, el grado de compactación o la presencia de agentes corrosivos inciden directamente sobre la vida útil del sistema. Por ello, la selección de materiales debe considerar no solo aspectos técnicos y económicos, sino también factores geológicos locales y ambientales (Castro, 2017).

2.1.3.1.4 Elementos básicos de una red de agua potable. Los elementos que componen una red domiciliaria de agua potable son fundamentales para garantizar su correcto funcionamiento hidráulico, así como su sostenibilidad a largo plazo. Cada componente tiene una función técnica específica dentro del sistema, y su selección, instalación y mantenimiento adecuados son claves para evitar pérdidas, optimizar presiones y reducir costos de operación.

Entre los aspectos técnicos más relevantes se encuentra la compatibilidad entre tuberías, válvulas y conexiones, tanto en términos de presión nominal (PN) como en resistencia química, tipo de unión (cementado, roscado o junta mecánica), y diámetros. La correcta combinación de estos factores asegura la continuidad hidráulica y evita fallas prematuras del sistema.

En este contexto, el uso de tuberías SCH 40 representa una alternativa técnicamente viable para redes domiciliarias, ya que ofrecen buena resistencia mecánica y facilidad de instalación. No obstante, su aplicación debe ajustarse a los límites de presión definidos en el diseño hidráulico, y considerar que las uniones sean seguras y estancas para evitar microfugas o pérdidas no visibles que comprometan la eficiencia del sistema.

La Tabla 3 resume los principales elementos de una red de distribución domiciliaria y sus respectivas funciones técnicas, de acuerdo con los lineamientos establecidos por la norma NTE INEN 1108 (2014).

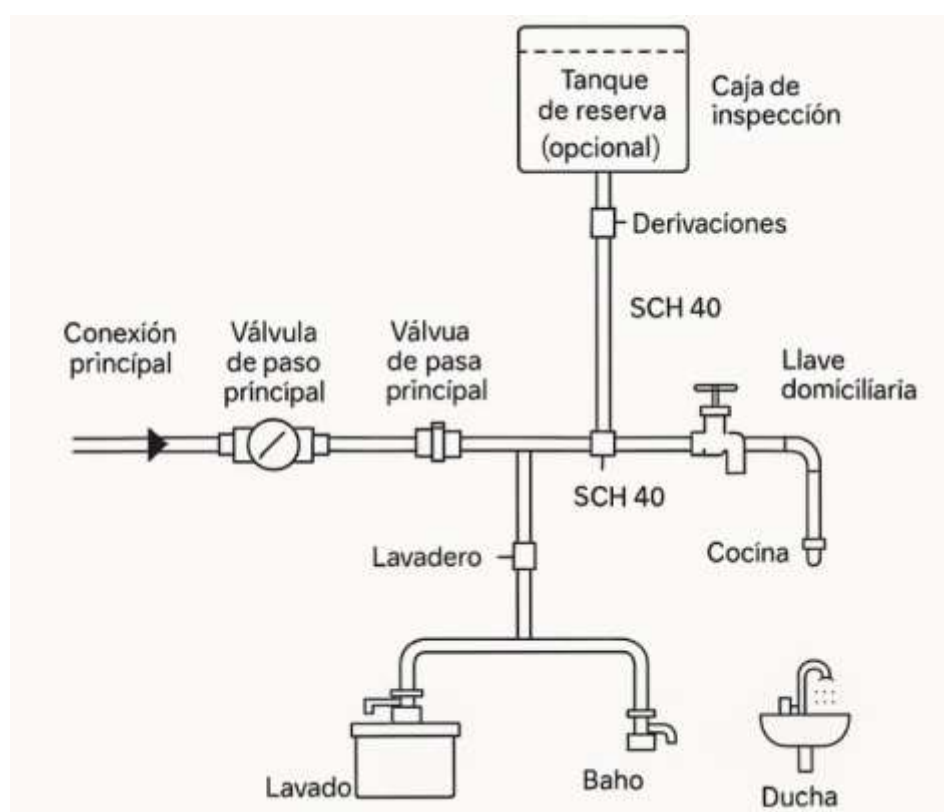
Tabla 3. Elementos básicos de una red domiciliaria de agua potable.

Elemento	Función técnica
Tuberías	Conducen el agua desde la acometida hasta los puntos de consumo. Deben soportar presión interna y agentes físicos/químicos.
Válvulas	Permiten cortar, regular o seccionar el flujo en distintas partes de la red para mantenimiento o emergencia.
Conexiones y accesorios	Facilitan derivaciones, cambios de dirección y uniones entre distintos tramos de tubería o diámetros.
Medidores de agua	Controlan y registran el volumen de agua consumida por cada usuario. Clave para la facturación y el control de pérdidas.
Llaves domiciliarias	Actúan como punto final de entrega del agua al usuario. Su calidad influye en la presión efectiva.
Cajas de registro	Protegen dispositivos como medidores o válvulas de daños físicos y permiten el acceso para mantenimiento.
Tanques de reserva (opcional)	Aseguran abastecimiento en zonas con cortes frecuentes o baja presión, manteniendo presión mediante gravedad.

Fuente: NTE INEN 1108 (2014)

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

Figura 2. Esquema básico de una red domiciliar de agua potable.



Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

2.1.3.2 Contexto local. En Ecuador, particularmente en ciudades en expansión como Guayaquil, Quito y Cuenca, los sistemas de distribución de agua potable enfrentan serios desafíos relacionados con la eficiencia operativa, las pérdidas no contabilizadas y la obsolescencia de materiales instalados desde hace décadas Contreras (2021); Vargas (2022). Estos problemas no solo afectan la calidad del servicio, sino que también incrementan los costos de mantenimiento y dificultan la planificación de nuevas expansiones.

Según estudios del Banco de Desarrollo del Ecuador (BDE, 2020) y del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022), una proporción significativa de las redes supera los 30 años de antigüedad, lo cual compromete el rendimiento hidráulico, incrementa la probabilidad de fugas y reduce la capacidad de control en tiempo real.

En este escenario, la evaluación técnico-económica de materiales alternativos como las tuberías SCH 40 representa una oportunidad concreta para renovar

redes de distribución domiciliaria con mayor eficiencia y menores costos. Esta alternativa se ajusta a las necesidades actuales del país, permitiendo la modernización gradual de los sistemas sin requerir inversiones excesivas, y favoreciendo un enfoque de sostenibilidad, especialmente en zonas urbanas periféricas y sectores rurales en desarrollo.

2.1.4 Materiales hidráulicos en instalaciones domiciliarias.

La selección de materiales para redes domiciliarias de agua potable constituye un aspecto decisivo tanto en la etapa de diseño como en la de ejecución de sistemas hidráulicos. Esta decisión influye directamente en la eficiencia operativa, la vida útil del sistema, el nivel de mantenimiento requerido y la viabilidad económica del proyecto a mediano y largo plazo.

Entre los materiales más empleados en instalaciones domésticas se destacan el PVC (policloruro de vinilo), CPVC (cloruro de polivinilo clorado), PEAD (polietileno de alta densidad), PEX (polietileno reticulado), acero galvanizado y cobre. Cada uno presenta características específicas que deben ser consideradas en función de la presión de trabajo, calidad del agua, condiciones geotécnicas y normativas vigentes.

El PVC, especialmente en sus variantes SCH 40 y SCH 80, es ampliamente utilizado debido a su bajo costo, resistencia química y facilidad de instalación. El tipo SCH 40, al tener un menor espesor de pared, es más liviano y económico, lo que representa ventajas en transporte y manipulación. En cambio, el SCH 80, con paredes más gruesas, soporta presiones más altas, pero su instalación resulta menos ágil y más costosa.

En el contexto ecuatoriano, y particularmente en ciudades como Guayaquil, Quito y Cuenca, el PVC SCH 40 ha ganado protagonismo como material de preferencia en redes internas domiciliarias. Su alta disponibilidad en el mercado, buen desempeño bajo presiones típicas (entre 20 y 45 psi) y facilidad de ensamblaje lo convierten en una opción ideal para viviendas unifamiliares y proyectos de vivienda social.

Por otro lado, el uso del acero galvanizado ha disminuido considerablemente debido a su susceptibilidad a la corrosión, especialmente en ambientes salinos o con suelos agresivos. El cobre, si bien ofrece excelente durabilidad, es económicamente inviable para obras de gran escala. Materiales como el PEAD y el PEX muestran una tendencia creciente en el mercado, aunque su uso sigue limitado por los costos de implementación y requisitos técnicos específicos.

La elección del tipo de tubería no debe centrarse únicamente en la resistencia mecánica, sino considerar también la compatibilidad con accesorios existentes, la durabilidad frente a condiciones locales (temperatura, humedad, exposición solar o enterramiento) y la facilidad de mantenimiento futuro. La correcta combinación de estos factores permite optimizar recursos sin comprometer la funcionalidad ni la seguridad hidráulica del sistema.

La Tabla 4 presenta una comparación técnica de los materiales más utilizados en el país, basada en propiedades clave como presión admisible, resistencia a la corrosión, vida útil, facilidad de instalación y su uso común en Ecuador.

Tabla 4. Propiedades de los tipos de tuberías.

Material	Presión máxima admisible (psi)	Resistencia a la corrosión	Vida útil estimada (años)	Facilidad de instalación	Costo relativo	Uso común en Ecuador
PVC SCH 40	120–160 (según diámetro)	Alta	30–50	Alta	Bajo	Muy común
PVC SCH 80	200–280 (según diámetro)	Alta	40–60	Media	Medio	Moderado
CPVC	100–150 (alta temperatura)	Alta	50–70	Media	Medio–alto	Uso puntual
PEAD	150–200	Muy alta	50–75	Alta	Medio	En crecimiento
PEX	100–160	Muy alta	40–60	Alta	Alto	Limitado
Acero galv.	150–300	Baja (se corroe fácilmente)	20–40	Baja	Alto	Obsoleto
Cobre	250–300	Alta	60–100	Media	Muy alto	Uso exclusivo

Fuente: Fernández (2021); AWWA (2022)

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

2.1.4.1 Análisis comparativo de materiales alternativos en redes domiciliarias de agua potable. En el diseño de redes de distribución domiciliar de agua potable, la elección del material de las tuberías representa un componente estratégico clave para garantizar la durabilidad estructural, el desempeño hidráulico y la viabilidad económica del sistema. Aunque el presente estudio se enfoca en el análisis comparativo entre las tuberías PVC SCH 40 y SCH 80, resulta indispensable contextualizar esta elección frente a otras alternativas disponibles en el mercado nacional e internacional.

Para este fin, se presenta un análisis técnico que compara propiedades fundamentales como la presión admisible, la resistencia a la corrosión, la vida útil estimada, la facilidad de instalación y el costo relativo, aspectos esenciales para evaluar el desempeño integral de cada material en instalaciones domiciliarias.

La Tabla 5 sintetiza esta información con base en especificaciones de fabricantes y lineamientos normativos, especialmente los establecidos por la American Water Works Association (AWWA). Esta comparación sirve como referencia para destacar las ventajas técnicas del PVC SCH 40 frente a otras opciones disponibles, particularmente en escenarios donde se requiere eficiencia hidráulica con limitaciones presupuestarias, sin sacrificar funcionalidad ni seguridad operativa.

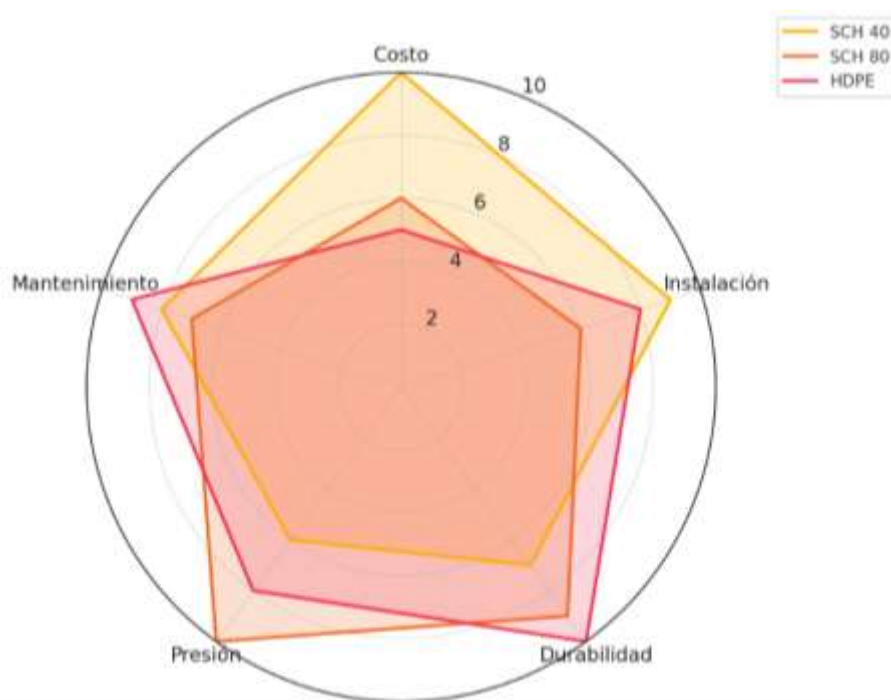
Tabla 5. Propiedades y características de varios tipos de tuberías.

Material	Presión admisible (psi)	Resistencia a corrosión	Vida útil (años)	Facilidad de instalación	Costo relativo
PVC SCH 40	120 – 160	Alta	25 – 40	Alta	Bajo
PVC SCH 80	200 – 280	Alta	30 – 50	Media	Medio
HDPE	100 – 160	Muy alta	50 – 100	Alta	Alto
PEX	80 – 100	Alta	40 – 60	Muy alta	Alto
Cobre	125 – 200	Media	50 – 70	Baja	Muy alto
Hierro galvan.	150 – 200	Baja	20 – 40	Baja	Medio

Fuente: Normativa AWWA (2022)

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

Figura 3. Comparación técnica de tuberías para redes domiciliarias.



Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

2.1.4.2 Características técnicas de las tuberías SCH40 y SHC80. Las tuberías de policloruro de vinilo (PVC) se clasifican, entre otros criterios, mediante el estándar Schedule (SCH), el cual define el espesor de la pared en relación con el diámetro nominal del tubo. Esta clasificación, establecida por normas internacionales como la ASTM D1785, permite identificar las capacidades de presión y resistencia de cada tipo, siendo el SCH 40 y el SCH 80 los más utilizados en aplicaciones hidráulicas residenciales e industriales.

La principal diferencia entre ambos radica en el espesor de pared: a igual diámetro, el SCH 40 presenta una pared más delgada que el SCH 80, lo que implica una menor capacidad de soporte de presión interna, pero también una reducción significativa en peso y costo. Estas características hacen del SCH 40 una opción eficiente para redes domiciliarias que operan bajo presiones moderadas —típicamente entre 20 y 60 psi—, mientras que el SCH 80 se destina a sistemas con mayores exigencias de presión o entornos más agresivos.

Comprender esta diferencia es fundamental para tomar decisiones acertadas en el diseño de redes hidráulicas, especialmente cuando se busca optimizar la relación entre desempeño técnico y costo de inversión.

Tabla 6. Diferencias técnicas principales entre SCH 40 y SCH 80.

Característica	PVC SCH 40	PVC SCH 80
Espesor de pared	Menor	Mayor
Diámetro interno	Mayor (menos espesor = más paso)	Menor (por mayor espesor de pared)
Presión nominal (PN)	Hasta 120–160 psi (según diámetro)	Hasta 200–280 psi (según diámetro)
Peso por metro	Más liviano	Más pesado
Coste por metro	Más económico	Más costoso
Flexibilidad	Mayor (más fácil de cortar y unir)	Menor
Vida útil	30–50 años	40–60 años
Color habitual	Blanco	Gris oscuro
Norma técnica aplicable	ASTM D1785 / ISO 1452	ASTM D1785 / ISO 1452
Usos comunes	Redes domiciliarias internas, drenajes	Redes industriales, presión alta

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

En instalaciones de agua potable a nivel domiciliario, especialmente en viviendas de una o dos plantas, el sistema rara vez está expuesto a presiones superiores a 60 psi. Esto convierte al PVC SCH 40 en una alternativa técnicamente suficiente, siempre que se cumplan las condiciones mínimas de diseño y no existan sobrepresiones o golpes de ariete sin control.

En Ecuador, estudios técnicos y experiencias prácticas en proyectos de vivienda social o urbanizaciones han demostrado que el SCH 40 responde bien bajo presiones moderadas, además de facilitar su instalación en espacios

reducidos. Su mayor diámetro interno también favorece el caudal, lo cual es beneficioso cuando se desea mantener el flujo con diámetros pequeños.

Por otro lado, el SCH 80 resulta más adecuado para sistemas sometidos a presiones mayores, como plantas de bombeo, industrias, líneas de impulsión o redes verticales en edificios de varios pisos, donde se requiere un mayor margen de seguridad estructural.

Tabla 7. Comparación de características entre PVC SCH 40 y PVC SCH 80.

Característica	PVC SCH 40	PVC SCH 80	Implicación práctica
Espesor de pared	Menor	Mayor	Mayor peso en SCH 80, menor en SCH 40
Diámetro interno	Mayor	Menor	Mejor caudal en SCH 40
Presión nominal (PN)	Hasta 160 psi (según diámetro)	Hasta 280 psi (según diámetro)	SCH 80 recomendado para presión alta
Pérdida de carga	Menor	Mayor	SCH 40 más eficiente hidráulicamente
Facilidad de instalación	Alta	Media	SCH 40 es más ligero y fácil de cortar
Costo por metro lineal	Más bajo (~20-30% menos)	Más alto	SCH 40 reduce presupuesto de obra
Aplicaciones recomendadas	Viviendas unifamiliares, redes cortas	Edificios de altura, líneas de bombeo	Elegir según contexto y presión esperada

Fuente: Normativas INEN (2014); AWWA (2017) y OMS (2017)

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

2.1.4.3 Base científica del uso de tuberías SCH 40. Diversos estudios técnicos han demostrado que las tuberías de PVC SCH 40, al operar dentro de sus rangos de presión establecidos, ofrecen un rendimiento hidráulico y estructural

comparable al de opciones más robustas como el SCH 80, especialmente en redes domiciliarias de baja y media presión.

- Un análisis de ciclo de vida (LCCA) desarrollado por la Water Research Foundation (2020) en sistemas urbanos reveló que las tuberías SCH 40 mantienen un desempeño estable hasta los 60 psi, reduciendo el costo total del sistema en aproximadamente un 30 % frente a alternativas de mayor calibre.
- En Japón, ensayos realizados por la JWWA (2021) evidenciaron que el PVC SCH 40, gracias a su flexibilidad, mostró hasta un 40 % menos de fallas en zonas sísmicas en comparación con materiales metálicos rígidos, como el hierro dúctil.
- De acuerdo con estudios publicados en el European Water Management Journal (2021), el SCH 40 cumple satisfactoriamente con los ensayos de presión sostenida y resistencia mecánica establecidos por la norma ISO 1452, siendo implementado exitosamente en redes urbanas secundarias y terciarias con caudales constantes.
- En América Latina, investigaciones del IMTA (2023) y del Instituto de Investigaciones Sanitarias de Chile (2020) confirmaron el buen comportamiento del SCH 40 en pruebas de presión hidrostática y tracción longitudinal, siempre que se utilicen accesorios compatibles y se respeten los rangos de servicio (hasta 160 psi, según el diámetro).
- En Ecuador, fichas técnicas de fabricantes nacionales acreditados bajo normas INEN y ASTM indican que las tuberías SCH 40 son sometidas a pruebas de presión hidrostática de 150– 200 psi, superando ampliamente los requerimientos operativos típicos de redes domiciliarias (entre 20 y 50 psi).

Esta base científica respalda que el uso del SCH 40, en condiciones de diseño adecuadas, representa una alternativa técnicamente segura y económicamente favorable para proyectos de infraestructura hidráulica domiciliaria.

2.1.4.4 Consideraciones adicionales. Existen ciertas consideraciones prácticas que deben ser tomadas en cuenta al utilizar tuberías PVC, tanto SCH 40 como SCH 80. Ninguna de estas es recomendable para instalaciones expuestas de forma directa a la radiación solar sin una protección adecuada, ya que la radiación ultravioleta (UV) puede degradar progresivamente la estructura del material, afectando su resistencia mecánica y vida útil. Asimismo, la correcta cementación de uniones, el uso de accesorios compatibles según norma y la protección física en zonas enterradas son elementos fundamentales para garantizar la integridad del sistema a lo largo del tiempo.

De igual manera, la aplicación de pruebas hidrostáticas antes de la puesta en operación permite validar que el sistema cumpla con los rangos de seguridad establecidos, y detectar posibles fallas en las uniones o componentes. Estas prácticas se consideran esenciales dentro de protocolos técnicos recomendados tanto por normativas internacionales (ASTM, AWWA) como por regulaciones nacionales (INEN).

Estas observaciones técnicas respaldan la importancia de acompañar cualquier implementación de tuberías con ensayos de verificación previos, como los que serán aplicados en el sistema piloto del presente estudio.

2.1.5 Evaluación económica del uso de tuberías SCH 40.

La viabilidad económica de un material hidráulico no debe evaluarse exclusivamente a partir de su precio unitario, sino mediante un enfoque integral que considere tanto los costos directos (adquisición, transporte, instalación) como los costos indirectos asociados al mantenimiento, reemplazos y vida útil del sistema. Esta perspectiva cobra especial relevancia en redes de distribución domiciliaria, donde los presupuestos suelen ser limitados y cada decisión técnica tiene un impacto directo en la eficiencia del proyecto.

En este sentido, las tuberías PVC SCH 40 representan una alternativa que requiere ser evaluada no solo por su bajo costo inicial, sino también por su desempeño operativo, durabilidad esperada y compatibilidad con las condiciones constructivas locales. La presente investigación incorpora este análisis económico con un enfoque técnico-comparativo, con el fin de fundamentar su posible implementación en sistemas de agua potable a nivel urbano y rural.

Para lograr una evaluación más precisa y contextualizada del uso de tuberías SCH 40, se considerarán herramientas como el Análisis de Precios Unitarios (APU), que permite desglosar los costos directos involucrados en la ejecución del sistema. De forma complementaria, se aplicará una perspectiva de Costo del Ciclo de Vida (LCC) para estimar los gastos acumulados durante la operación del sistema, así como una matriz de costo-beneficio técnico, que relacione el desempeño hidráulico de las tuberías con su impacto económico. Estas metodologías servirán de soporte para sustentar las conclusiones del estudio desde un enfoque técnico-económico integral.

2.1.5.1 Costo de adquisición. Las tuberías SCH 40 presentan un precio por metro lineal entre un 20% y 30% menor que las SCH 80, debido a su menor espesor de pared, menor cantidad de material por unidad y menor peso. Por ejemplo:

Tabla 8. Costos referenciales de tubería PVC SCH 40 y PVC SCH 80.

Diámetro nominal	Precio promedio		Diferencia aproximada
	SCH 40	SCH 80	
½"	\$1,30	\$1,70	30% más en SCH 80
¾"	\$1,60	\$2,10	31% más
1"	\$2,10	\$2,90	38% más

Fuente: Normativas Paredes (2020); Vargas (2021) y AWWA (2022)

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

Esto representa un ahorro sustancial en tramos largos o redes domiciliarias completas, especialmente en proyectos masivos o de vivienda social.

2.1.5.2 Costos de transporte y manipulación. El peso reducido de las tuberías PVC SCH 40 representa una ventaja logística significativa en comparación con materiales más pesados o de mayor espesor, como el SCH 80 o el hierro galvanizado. Esta característica permite disminuir el costo por unidad transportada, ya que se pueden movilizar mayores longitudes por viaje, optimizando la operación en proyectos con limitaciones presupuestarias.

Además, al ser más livianas y flexibles, las tuberías SCH 40:

- Requieren menor cantidad de personal para su manipulación en obra.
- Disminuyen la necesidad de herramientas especializadas para cortes o uniones.
- Reducen el tiempo total de instalación hasta en un 15 %, según reportes de contratistas que han trabajado en urbanizaciones del litoral ecuatoriano.

Estas condiciones no solo reducen los costos indirectos del proyecto, sino que también favorecen una implementación más ágil en zonas de difícil acceso o con restricciones logísticas.

2.1.5.3 Costos de instalación. El proceso de instalación también representa un aspecto donde las tuberías SCH 40 ofrecen ventajas económicas tangibles frente a otras alternativas más robustas. Su menor espesor de pared permite:

- Realizar uniones de forma más rápida, ya que el cementado requiere menor resistencia que en tuberías SCH 80.
- Efectuar cortes fácilmente con herramientas manuales convencionales.
- Disminuir el esfuerzo físico del personal, reduciendo el desgaste y el riesgo de fatiga en jornadas prolongadas.

Esta facilidad de instalación se traduce en menos horas-hombre requeridas, impactando directamente en los costos de mano de obra. Por ejemplo, la instalación de 100 metros de tubería SCH 80 puede requerir hasta tres jornales, mientras que con SCH 40 es posible completarla con solo dos, generando un ahorro directo del 30 % en esta partida, sin comprometer la calidad de ejecución.

2.1.5.4 Costos de operación y mantenimiento. En redes domiciliarias bien diseñadas y protegidas, las tuberías SCH 40 pueden ofrecer un rendimiento hidráulico y estructural comparable al del SCH 80, siempre que operen dentro de los márgenes de presión recomendados. Dado que ambas tuberías están fabricadas en PVC, comparten una alta resistencia a la corrosión y al ataque químico, lo cual contribuye a su durabilidad. Además:

- Las tuberías SCH 40 no presentan una mayor frecuencia de fallas cuando se utilizan en condiciones de presión estándar.
- No requieren recubrimientos protectores adicionales, lo que simplifica la instalación en ambientes húmedos o agresivos.
- Su superficie interna lisa favorece el flujo constante y reduce la formación de incrustaciones, facilitando las labores de mantenimiento preventivo.

En conjunto, estos factores sugieren que los costos operativos y de mantenimiento del SCH 40 pueden ser similares o incluso menores en comparación con tuberías más robustas, especialmente en sistemas donde se requiera realizar intervenciones o reemplazos con frecuencia moderada. La facilidad de manipulación y el bajo costo de sus componentes también representan una ventaja adicional en escenarios de reparación o expansión del sistema.

2.1.6 El enfoque técnico-económico como herramienta de decisión en proyectos de agua potable.

El desarrollo de proyectos de ingeniería civil, especialmente aquellos enfocados en servicios básicos como el abastecimiento de agua potable, requiere

cada vez más un enfoque integrado que combine rendimiento técnico con sustentabilidad económica. Este enfoque técnico-económico permite tomar decisiones más racionales, fundamentadas en evidencia medible, y no solo en aspectos normativos o constructivos tradicionales.

Para lograr esto, los profesionales utilizan herramientas como:

- Análisis de ciclo de vida (LCCA): evalúa los costos totales de un sistema a lo largo del tiempo (instalación, operación, mantenimiento y reemplazo).
- Análisis costo-beneficio (ACB): compara el valor económico de los beneficios frente a los costos de inversión.
- Matrices de decisión multicriterio: permiten ponderar distintas variables técnicas (presión, instalación, durabilidad) y económicas (precio, mantenimiento) para seleccionar el material óptimo.

Tabla 9. Análisis costo-beneficio para SCH 40 y SCH 80.

Criterio	Peso (%)	SCH 40	SCH 80
Costo de adquisición	30%	10	6
Facilidad de instalación	20%	9	6
Durabilidad	25%	7	9
Presión soportada	25%	6	10
Puntaje total (0–10)	100%	8.0	7.6

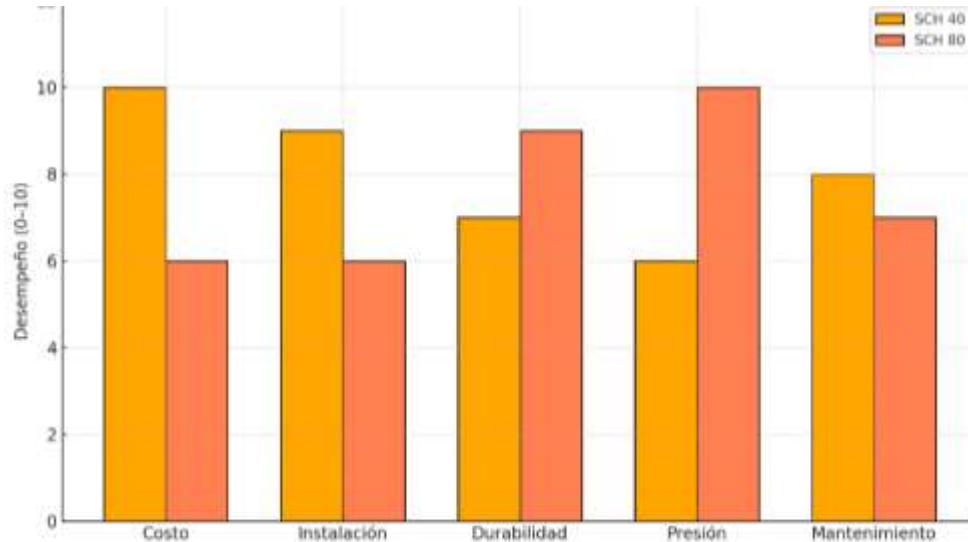
Nota: Ponderaciones adaptadas al contexto ecuatoriano

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

Este tipo de herramientas justifica de manera objetiva decisiones como la selección del PVC SCH 40 en determinadas redes domiciliarias, donde el

presupuesto es limitado, la presión es moderada (<60 psi) y se prioriza la eficiencia de recursos.

Figura 4. Comparación de desempeño entre SCH 40 y SCH 80.



Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

2.1.7 Justificación del enfoque experimental en estudios hidráulicos.

Los estudios hidráulicos en campo presentan múltiples desafíos: acceso a redes reales, interferencias operativas, y variabilidad en los datos. Por ello, es una práctica aceptada en la investigación científica y técnica construir sistemas piloto o bancos de prueba que permitan replicar, bajo condiciones controladas, el comportamiento de componentes clave como tuberías, válvulas y medidores.

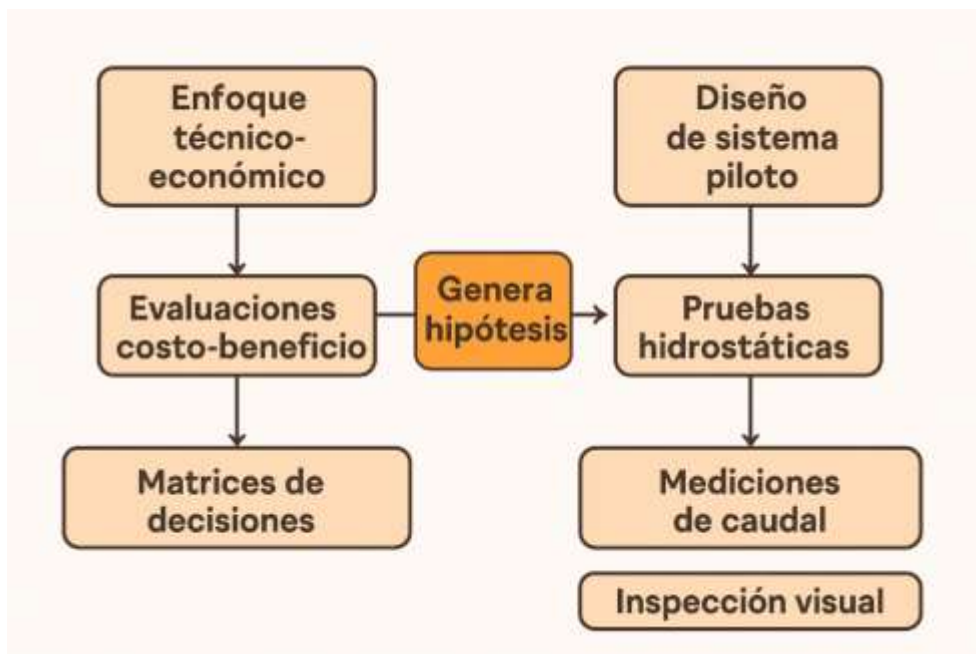
El enfoque experimental usado en este proyecto se fundamenta en principios de la ingeniería aplicada, en los que se privilegia la observación directa, la medición instrumental y la repetición de ensayos para obtener resultados válidos. En particular, las pruebas hidrostáticas, de caudal y visuales sobre el sistema piloto permiten:

- Comprobar el rendimiento bajo presión de cada tubería.
- Medir caudales reales sin alteraciones externas.

- Detectar defectos de fábrica o errores de instalación.
- Comparar directamente los costos de montaje.

Además, este tipo de simulaciones son recomendadas por normas como la INEN 489 y la ASTM D1785, que establecen que todo sistema debe someterse a pruebas antes de ser habilitado. El sistema piloto actúa, así como un laboratorio en campo, que genera evidencia práctica para la validación de hipótesis.

Figura 5. Enfoque experimental en estudios hidráulicos.



Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

2.1.8 Marco normativo.

El diseño, instalación y operación de los sistemas de distribución de agua potable en Ecuador están regulados por un conjunto de normativas técnicas nacionales e internacionales, cuyo cumplimiento es fundamental para garantizar la calidad, seguridad y durabilidad de las infraestructuras hidráulicas. En el caso específico de redes domiciliarias, estas disposiciones normativas permiten estandarizar los criterios de selección de materiales, resistencia estructural de

las tuberías y presiones mínimas de operación, asegurando su compatibilidad con el entorno técnico y geográfico del país.

Estas normativas constituyen el marco de referencia para evaluar la viabilidad de implementar soluciones como el uso de tuberías PVC SCH 40 en redes urbanas y rurales.

2.1.8.1 Normativa nacional (Ecuador) Normas INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización). INEN 489 (Tuberías de PVC rígido para presión): Establece especificaciones para tuberías de PVC utilizadas en conducción de agua potable a presión, incluyendo métodos de prueba de presión hidrostática y resistencia a impactos.

INEN 905 (Requisitos para instalaciones hidrosanitarias): Define las condiciones para redes internas de agua potable, incluyendo pendientes, diámetros mínimos y requisitos de presión.

INEN 2953 (Accesorios de PVC para agua potable a presión): Regula los accesorios compatibles con tuberías de PVC para asegurar la continuidad del sistema.

Estas normas, de cumplimiento obligatorio en proyectos formales, reconocen la viabilidad del PVC rígido en diversas configuraciones siempre que se respeten los parámetros de diseño hidráulico.

2.1.8.2 Normativa internacional de referencia. ASTM D1785 (EE.UU.): Norma que regula tuberías de PVC de pared recta (Schedule 40, 80 y 120) para sistemas de presión, incluyendo propiedades dimensionales, resistencia a presión y métodos de ensayo.

ASTM D2466 / D2467: Aplicables a conexiones y accesorios de PVC para uso con tuberías SCH 40 y SCH 80, respectivamente.

ISO 1452 (Internacional): Norma para sistemas plásticos de tuberías de presión en PVC-U, utilizada como base para homologaciones y compras públicas en países de América Latina.

AWWA C900: Guía de la American Water Works Association para tuberías plásticas utilizadas en distribución de agua potable, especialmente en redes principales y domiciliarias.

Estas normas garantizan que tanto el SCH 40 como el SCH 80 pueden ser utilizados en redes hidráulicas si se respeta el rango de presión de diseño. La mayoría de los fabricantes certificados en Ecuador producen tuberías de PVC bajo cumplimiento de INEN y ASTM, lo cual asegura su compatibilidad con especificaciones locales e internacionales.

2.1.8.3 Consideraciones clave. El uso de tuberías PVC SCH 40 en redes domiciliarias no está prohibido por las normativas ecuatorianas, pero su aplicación debe justificarse técnicamente mediante cálculos hidráulicos, ensayos de presión y una evaluación del entorno específico de instalación. Diversas entidades públicas y privadas que supervisan obras sanitarias, como los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs), el MIDUVI y contratistas de vivienda social, aceptan el uso de SCH 40 en redes internas siempre que se garantice su calidad mediante fichas técnicas del fabricante y certificaciones de cumplimiento normativo. La conformidad con normas como ASTM D1785 e INEN 1108 será esencial para que la propuesta desarrollada en el sistema piloto sea reconocida como válida, replicable y técnicamente sustentada.

Tabla 10. Normas técnicas INEN y ASTM.

Norma / Código	Aplicación principal	Parámetros clave que regula
INEN 489 (ECU)	Tuberías de PVC rígido para presión	Diámetro, espesor mínimo, presión de trabajo, prueba hidrostática, impacto
INEN 905 (ECU)	Instalaciones hidrosanitarias domiciliarias	Diámetros mínimos por tipo de instalación, presión mínima (15 psi), pendiente
INEN 2953 (ECU)	Accesorios de PVC para redes de presión	Compatibilidad dimensional, presión de trabajo, métodos de unión
ASTM D1785 (EE.UU.)	Tuberías PVC SCH 40, SCH 80 y SCH 120	Dimensiones nominales, presión de diseño, espesor de pared, ensayo de tracción
ASTM D2466/D2467	Conexiones para PVC SCH 40 / SCH 80	Diámetros estándar, materiales, presión nominal según clase
ISO 1452 (INT)	Sistemas de tuberías plásticas (PVC-U) para presión	Resistencia a tracción, rigidez anular, presión de prueba, durabilidad
AWWA C900 (EE.UU.)	Redes principales y distribución domiciliaria	Diámetro y presión nominal, pruebas hidrostáticas, materiales aprobados

Fuente: Normativas INEN y ASTM (s.f)

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

2.1.8.4 Parámetros relevantes por norma (resumen técnico). Las normativas nacionales e internacionales aplicables al diseño y uso de tuberías en redes domiciliarias de agua potable establecen criterios técnicos estrictos que aseguran la seguridad hidráulica del sistema. A continuación, se destacan los parámetros más relevantes para este estudio:

- INEN 489: Establece que las tuberías deben soportar presiones mínimas entre 10 y 16 bar (equivalente a 145–232 psi), según su diámetro y clase. Además, deben pasar una prueba de presión hidrostática interna sostenida durante al menos una hora, sin presentar fugas ni deformaciones. También exige resistencia al impacto, evaluada mediante un ensayo de caída libre.
- ASTM D1785: Clasifica las tuberías en tres tipos: SCH 40, SCH 80 y SCH 120, según su espesor de pared. Define presiones máximas de trabajo entre 120 psi (para SCH 40) y 280 psi (para SCH 80), además de una resistencia mínima a la tracción de 27.6 MPa (4,000 psi).
- ISO 1452: Requiere que las tuberías resistan presión interna durante 1.000 horas continuas (ensayo acelerado), con una rigidez anular mínima de 315 N/m², según la clase de aplicación. También establece parámetros de resistencia al envejecimiento térmico y a la exposición prolongada al agua clorada.
- AWWA C900: Recomendando el uso de PVC clase 150 o 200 para redes principales y domiciliarias, con pruebas de presión equivalentes al doble de la presión nominal durante al menos 2 horas. Además, exige que el material cumpla con la norma NSF- 61, que certifica su seguridad para contacto con agua potable.

Estos estándares son fundamentales para validar técnicamente el uso de materiales como el PVC SCH 40 en sistemas domiciliarios, siempre que su instalación esté respaldada por pruebas y criterios de diseño acordes a estas exigencias normativas.

2.1.8.5 Calidad del agua en redes de distribución domiciliaria.

La calidad del agua potable constituye un factor esencial en los sistemas de distribución domiciliaria, tanto por su implicación sanitaria como por su impacto técnico. Su control garantiza no solo la salubridad del recurso, sino también la verificación del desempeño de los materiales empleados en su conducción. Desde épocas remotas, civilizaciones como la romana o la egipcia desarrollaron técnicas de canalización y sedimentación, buscando minimizar riesgos asociados al consumo de agua contaminada.

Actualmente, entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) han definido estándares internacionales para el monitoreo de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua. En Ecuador, la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2014 recoge estos criterios, siendo de aplicación obligatoria para obras públicas y redes domiciliarias, tanto nuevas como en proceso de mantenimiento.

Entre los parámetros fundamentales que permiten evaluar la calidad del agua se destacan el pH, la turbidez, el cloro residual libre, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales y la presencia de coliformes. Estos indicadores permiten detectar alteraciones en el agua durante su trayecto desde el punto de origen hasta el usuario final. Por ejemplo, una disminución del cloro, un ligero cambio en el pH o un incremento en la turbidez pueden estar relacionados con reacciones químicas o condiciones internas de las tuberías.

Numerosos estudios han revelado que el material de las tuberías puede tener influencia sobre la calidad del agua. En ciertos casos, tuberías plásticas de baja calidad o sin certificación pueden liberar compuestos orgánicos, alterar la composición química del agua o interactuar con los desinfectantes residuales. Además, superficies internas irregulares o deterioradas pueden favorecer la acumulación de sedimentos o biofilm, afectando la turbidez o provocando procesos de degradación (Farley & Trow, 2003; AWWA, 2021).

En el caso particular del PVC SCH 40 y SCH 80, si bien ambos materiales cumplen con la norma ASTM D1785, presentan diferencias estructurales que

podrían incidir en su desempeño frente a la calidad del agua. Las variaciones en el espesor de pared, la resistencia al cloro o la rugosidad superficial podrían influir en la estabilidad del recurso durante su paso por la red.

Por esta razón, el presente estudio incluyó la evaluación comparativa de la calidad del agua en un sistema piloto, antes y después del paso por las tuberías. Este tipo de ensayo permite identificar si existe alguna alteración atribuible al material, validando su desempeño más allá de los criterios estructurales. Además, el uso de herramientas portátiles de bajo costo como kits colorimétricos, tiras reactivas o medidores digitales permitió obtener lecturas confiables de pH, cloro y turbidez en campo, lo que facilita la replicabilidad del análisis en otros contextos.

Asegurar que las tuberías no alteren significativamente la composición del agua tiene implicaciones directas sobre el cumplimiento normativo, la vida útil del sistema y la percepción del usuario. Incluso una mínima reducción en el cloro residual puede representar un riesgo sanitario si no se monitorea adecuadamente.

En el caso de Ecuador, donde existen redes envejecidas o sistemas diseñados sin criterios técnicos actualizados, este tipo de evaluaciones representa una herramienta esencial para sustentar decisiones sobre cambios de material o mejoras estructurales. Reportes de entidades locales han documentado problemas de calidad del agua en ciudades como Guayaquil y Quito relacionados con redes deterioradas Vargas (2021), lo que refuerza la necesidad de considerar el impacto sanitario al momento de evaluar nuevas soluciones técnicas.

Por lo tanto, este proyecto incluyó un análisis empírico de la calidad del agua en tres puntos específicos: ingreso al sistema y salidas en cada tipo de tubería. Esta estrategia aporta evidencia directa sobre la neutralidad química de cada material y su adecuación para uso domiciliario bajo condiciones reales de presión, caudal y temperatura.

Tabla 11. Comparativa de parámetros clave de calidad de agua potable.

Parámetro	Unidad	Rango recomendado (INEN 1108:2014)	Método de medición sugerido
pH	Unidades pH	6.5 – 8.5	Potenciómetro / tiras reactivas
Turbidez	NTU	≤ 5 NTU	Turbidímetro portátil
Cloro residual libre	mg/L	0.2 – 1.5	Kit colorimétrico tipo DPD
Conductividad	μS/cm	≤ 1000	Conductímetro digital
Coliformes totales	NMP/100 mL	0 (ausencia)	Kit de cultivo rápido o análisis de laboratorio

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

2.2 Marco Legal.

El presente trabajo se sustenta en el siguiente marco jurídico vigente en Ecuador, estructurado de forma jerárquica, que regula y orienta la planificación, diseño y ejecución de obras hidráulicas y sanitarias en redes domiciliarias:

Constitución de la República del Ecuador (2008).

Art. 14 y Art. 66, numeral 27: Reconocen el derecho de las personas a un ambiente sano y al acceso universal al agua segura para consumo humano, incentivando el uso racional, sostenible y eficiente de los recursos públicos.

Código Orgánico del Ambiente (COA, 2018).

Art. 4 y Art. 149: Establecen que los proyectos de infraestructura deben orientarse al uso de tecnologías sostenibles que minimicen el impacto ambiental, promoviendo soluciones que reduzcan el desperdicio de agua y recursos.

Ley Orgánica de Servicios Públicos (LOSEP, 2010).

Promueve la prestación eficiente de los servicios básicos, incluyendo el abastecimiento de agua potable, y exige a los GADs garantizar obras con materiales adecuados, duraderos y de bajo costo de mantenimiento.

Normas Técnicas Ecuatorianas – INEN.

- INEN 489: Regula las especificaciones técnicas de las tuberías de PVC para presión, incluyendo resistencia estructural, pruebas de presión y calidad de los materiales.
- INEN 905: Establece los requisitos técnicos mínimos para instalaciones hidrosanitarias internas en edificaciones.
- INEN 2953: Establece las condiciones para los accesorios compatibles con sistemas de tuberías para agua potable a presión.

Normativa Técnica de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs).

Cada GAD, como en el caso de EMAPAG-EP (Guayaquil), cuenta con especificaciones y manuales técnicos que regulan el diseño y aprobación de redes domiciliarias, incluyendo fichas técnicas que aceptan tuberías SCH 40 en ciertos rangos de presión.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación: (cuantitativo, cualitativo o mixto).

El presente estudio adopta un enfoque de investigación mixto, integrando componentes cuantitativos y cualitativos con el fin de obtener una visión integral del desempeño técnico y económico de las tuberías SCH 40 en redes de distribución domiciliaria de agua potable, en comparación con el estándar convencional SCH 80.

Desde la perspectiva cuantitativa, se recopilan y analizan datos técnicos y económicos obtenidos a partir de un sistema piloto diseñado a pequeña escala. Se evalúan variables como la presión, el caudal, el tiempo de instalación, presencia de fugas y el costo total de implementación, utilizando herramientas de medición estandarizadas (manómetros, medidores de caudal, fichas de control, cronómetros, presupuestos reales de mercado, entre otros).

Por otro lado, el componente cualitativo permite interpretar cómo la selección de materiales influye en la sostenibilidad y accesibilidad de los sistemas hidráulicos, especialmente en contextos urbanos periféricos o rurales donde el presupuesto y la facilidad de instalación son factores decisivos. Este enfoque incluye la revisión crítica de normativas locales, estudios de caso previos y criterios técnicos utilizados por profesionales del sector, lo cual enriquece la comprensión del impacto práctico y social de la solución propuesta.

El uso de un enfoque mixto permite no solo validar la hipótesis de eficiencia técnica-económica, sino también proponer recomendaciones contextualizadas que favorezcan decisiones sustentables en obras de infraestructura hidráulica en el Ecuador.

Figura 6. Enfoque Mixto.



Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

3.2 Alcance de la investigación: (exploratorio, descriptivo o correlacional).

El alcance de esta investigación se sitúa entre lo descriptivo y lo correlacional, ya que por un lado busca caracterizar el comportamiento técnico-económico de las tuberías SCH 40 frente a las SCH 80, y por otro, establecer relaciones entre variables técnicas (presión, caudal, fugas) y económicas (costos de instalación, mantenimiento, eficiencia operativa).

Desde un enfoque descriptivo, el proyecto documenta el desempeño de ambos tipos de tuberías mediante la implementación de un sistema piloto a pequeña escala, con mediciones controladas y registro de resultados. Se describen sus características físicas, comportamiento bajo presión, tiempos de montaje y rendimiento hidráulico observable, generando información técnica útil para el contexto ecuatoriano.

Complementariamente, el enfoque correlacional permite analizar cómo la elección del tipo de tubería incide directamente en el costo total del sistema, en la frecuencia de fallas y en la eficiencia hídrica. Se espera encontrar una

relación significativa entre el uso de SCH 40 y una mejora económica sin comprometer el rendimiento técnico, lo cual será respaldado por los datos obtenidos experimentalmente.

Este alcance es el más adecuado, ya que no solo busca observar, sino también relacionar variables técnicas y económicas, generando conclusiones aplicables para futuras decisiones en proyectos hidráulicos de viviendas y comunidades urbanas o rurales en Ecuador.

3.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos.

- 1) Ensayo experimental: Se medirá el desempeño hidráulico de ambas tuberías mediante pruebas de presión, caudal y presencia de fugas. Las mediciones serán tomadas utilizando instrumentos calibrados, conforme a las normativas INEN y ASTM aplicables.
- 2) Observación directa: Durante el montaje y operación del sistema piloto, se documentará visualmente el proceso, registrando tiempos, dificultades de instalación, facilidad de acople y detalles de comportamiento bajo carga.
- 3) Revisión documental: Se recopilarán antecedentes técnicos, normativos y económicos a través de documentos oficiales, fichas técnicas de los materiales y estudios previos nacionales e internacionales.
- 4) Análisis económico: A través de hojas de cálculo se compararán los costos de instalación, materiales, mantenimiento y durabilidad de ambos sistemas, obteniendo datos para la evaluación técnico-económica.
- 5) Inspección técnica: Se observará de manera cualitativa la aparición de posibles fugas, daños o deformaciones tras la prueba de presión, aplicando guías basadas en criterios INEN.

Tabla 12. Técnica e instrumentos para obtener los datos.

Técnica	Instrumentos
Ensayo experimental	Banco piloto de pruebas, manómetro, medidor de caudal, cronómetro, ficha técnica de montaje
Observación directa	Guía de observación, registro fotográfico, bitácora de montaje
Revisión documental	Fichas técnicas, normativa INEN/ASTM, catálogos de fabricantes, informes de obras
Análisis económico	Plantilla de costos, presupuestos comparativos, matriz de decisión multicriterio
Inspección técnica	Evaluación visual de fugas, deformaciones, integridad del sistema en prueba

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

3.4 Población y muestra.

Dado que esta investigación se enmarca, dentro de un proyecto técnico-experimental aplicado, la población y muestra no se refiere a personas u organizaciones, sino a sistemas físicos de redes de distribución domiciliaria representados en una escala controlada.

En este sentido, la población conceptual está conformada por los componentes utilizados en redes hidráulicas domiciliarias en Ecuador, particularmente en zonas urbanas de rápido crecimiento y sectores rurales donde los costos de instalación y mantenimiento son determinantes para la sostenibilidad del sistema.

La muestra corresponde a un sistema piloto a pequeña escala, construido expresamente para este estudio, que permite comparar dos ramales paralelos con igual configuración hidráulica, pero utilizando diferentes tipos de tuberías: PVC SCH 40 y PVC SCH 80. El diseño del piloto incluye tramos equivalentes de tubería, conexiones estándar, válvulas de control, manómetros y medidores de caudal, todo dimensionado según las recomendaciones técnicas de diseño domiciliario y conforme a la normativa INEN 489.

Este tipo de muestra se enmarca, dentro del muestreo experimental y por conveniencia, ya que fue diseñado para cumplir con los objetivos específicos del estudio y permitir el control total de variables, siendo representativo de las condiciones reales de instalación y operación de redes de agua potable en contextos urbanos y rurales del Ecuador.

La validez del muestreo se justifica en tanto los parámetros del piloto están directamente relacionados con los estándares reales de diseño y operación hidráulica, permitiendo una extrapolación argumentada de los resultados.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

4.1 Descripción general de la propuesta.

El presente trabajo de titulación tiene como propósito principal comparar el desempeño técnico y económico de las tuberías PVC SCH 40 y PVC convencional utilizadas en redes domiciliarias de distribución de agua potable. Para ello, se propone la ejecución de un proyecto piloto a pequeña escala, que permita observar en condiciones reales aspectos como facilidad de instalación, comportamiento hidráulico, resistencia y costos asociados a cada sistema.

La propuesta consiste en el diseño, implementación y evaluación paralela de dos sistemas domiciliarios equivalentes, utilizando para ambas tuberías de 50 mm de diámetro (valor comercial comúnmente utilizado en redes internas de agua potable). La elección de este diámetro busca mantener la uniformidad de condiciones hidráulicas y facilitar la comparación directa de variables técnicas como caudal, presión, pérdidas por fricción y desempeño estructural.

El proyecto se desarrollará durante un periodo de 10 semanas, abarcando desde la planificación inicial hasta la entrega del informe final. Este ejercicio de validación en campo proporcionará una base técnica para analizar los beneficios y limitaciones de cada tipo de tubería en entornos domiciliarios reales, sirviendo como referencia para futuras aplicaciones en proyectos hidráulicos residenciales.

4.1.2 Objetivo de la propuesta.

Implementar y evaluar un sistema piloto de distribución de agua potable a escala domiciliaria, utilizando dos tipos de tuberías (PVC SCH 40 y PVC convencional de 50 mm), con el fin de comparar su desempeño técnico y económico bajo condiciones similares de operación.

4.1.3 Etapas del plan de trabajo.

A continuación, se detallan las etapas necesarias para llevar a cabo la propuesta de implementación, desde la fase de diseño hasta la entrega del producto final:

4.1.3.1 Etapa 1: Diagnóstico y revisión teórica. Esta fase incluyó la recopilación de información técnica y normativa relevante sobre materiales para redes de agua potable, especialmente PVC SCH 40 y SCH 80. Se desarrolló un análisis del estado del arte y antecedentes internacionales y locales, así como un estudio de normativas ecuatorianas aplicables (INEN 489, INEN 1108). Esta etapa permitió definir el enfoque metodológico, el diseño del sistema piloto y los parámetros a evaluar.

4.1.3.2 Etapa 2: Diseño del sistema piloto. Para garantizar que el sistema piloto replicara condiciones reales de una red domiciliaria típica, se incorporaron los elementos técnicos fundamentales establecidos en la normativa NTE INEN 1108 (2014). Entre ellos se incluyen: tuberías principales, válvulas de corte, conexiones mecánicas, medidores de presión, accesorios de unión y puntos de entrega simulados tipo llave domiciliaria.

La correcta disposición de estos elementos permitió simular el comportamiento hidráulico de una instalación doméstica convencional, tanto en lo referente a presión como a caudal y respuesta frente a fugas. Las tuberías empleadas fueron del tipo PVC SCH 40 y PVC convencional clase C- 10, instaladas en paralelo con conexiones seguras que permitieran evaluar el desempeño técnico comparativo en condiciones estandarizadas.

Este enfoque metodológico asegura que los resultados obtenidos puedan ser extrapolados con alto nivel de confiabilidad a sistemas reales, especialmente en zonas residenciales de Guayaquil y similares entornos urbanos del Ecuador.

Adicionalmente, se instalaron dos manómetros analógicos tipo Bourdon (Winters, clase 1.6, rango 0–60 PSI) en los extremos de cada sistema

(punto de entrada y punto de salida), con el fin de monitorear la presión durante los ensayos de funcionamiento. Ambos sistemas fueron conectados a un reservorio común de 1000 L mediante válvulas independientes que permitieron operar cada red de forma alternada, garantizando igualdad de condiciones hidráulicas. En el extremo de salida, se contemplaron configuraciones diferenciadas según el tipo de prueba: descarga libre hacia un recipiente calibrado para evaluar el caudal, y tapón hermético para realizar pruebas de presión y estanqueidad.

4.1.3.3 Etapa 3: Construcción y montaje del sistema piloto. Durante esta etapa se adquirieron los materiales necesarios (tuberías, válvulas, accesorios, medidores), se ensamblaron los ramales de prueba y se implementaron los puntos de ingreso y salida de agua. Se realizaron pruebas iniciales de estanqueidad para asegurar el correcto sellado de las uniones y la funcionalidad básica del sistema. Asimismo, se calibraron los equipos de medición.

4.1.3.4 Etapa 4: Pruebas de funcionamiento y evaluación técnica. Esta fase corresponde a la ejecución de pruebas específicas diseñadas para evaluar el comportamiento técnico de ambos sistemas bajo condiciones similares. Se subdivide en las siguientes actividades:

4.1.3.4.1 Prueba de presión. Se aplicó una prueba hidrostática de presión a cada ramal del sistema, conforme a la norma INEN 489 y ASTM D1599. Se utilizó un manómetro calibrado para medir la presión interna bajo condiciones estables durante un tiempo determinado (15 minutos), verificando la resistencia estructural y la ausencia de pérdidas de presión significativa.

4.1.3.4.2 Medición de caudal. Se determinó el caudal volumétrico en cada tubería utilizando un caudalímetro portátil y aplicando la ecuación de continuidad hidráulica. Se realizaron mediciones bajo condiciones controladas, con registros de velocidad media y volumen transportado. Estas mediciones permitieron comparar la eficiencia hidráulica entre ambos materiales.

4.1.3.4.3 Inspección visual de fugas y deformaciones. Se realizó una inspección visual completa del sistema durante y después de las pruebas de presión y caudal, verificando la existencia de fugas visibles, goteos, deformaciones o desplazamientos en las uniones. Esta inspección se complementó con observaciones durante el funcionamiento continuo del sistema por un periodo de prueba.

4.1.3.4.4 Evaluación de la calidad del agua. Se tomaron muestras de agua en tres puntos estratégicos del sistema (ingreso, salida SCH 40 y salida SCH 80), antes y después de la operación. Se midieron los parámetros de pH, turbidez y cloro residual libre utilizando kits portátiles aprobados por normativa. Las muestras fueron analizadas bajo criterios de la norma INEN 1108, con el objetivo de identificar posibles alteraciones atribuibles al contacto con los materiales de conducción.

4.1.3.5 Etapa 5: Análisis de resultados y validación. Finalmente, se compararon los resultados técnicos obtenidos en cada prueba. Se realizó un análisis comparativo entre las tuberías SCH 40 y SCH 80 en términos de presión soportada, caudal entregado, integridad física y estabilidad de la calidad del agua. Esta información fue integrada en una matriz de evaluación técnico-económica, con recomendaciones basadas en criterios de costo-beneficio y desempeño integral.

4.1.3.6 Etapa 6: Redacción del informe. Con la finalidad de realizar el informe de resultados, este contara con el siguiente contenido:

- Análisis comparativo de resultados técnicos y financieros.
- Representación gráfica de datos (diagramas, cuadros, curvas).
- Elaboración de conclusiones y recomendaciones basadas en la evidencia del piloto.

4.1.3.7 Etapa 7: Revisión y presentación. Durante la etapa la mencionada se realizan la corrección técnica del informe y se prepara el documento para la defensa final y/o presentación institucional.

4.1.4 Cronograma de implementación.

El desarrollo del proyecto piloto se llevó a cabo en un periodo de ocho semanas, iniciando el 11 de junio de 2025, según la planificación detallada en la Tabla 13. Las actividades han sido distribuidas de manera secuencial y realista, considerando los recursos disponibles, la disponibilidad de materiales y el tiempo necesario para cada fase técnica.

Tabla 13. Cronograma de implementación.

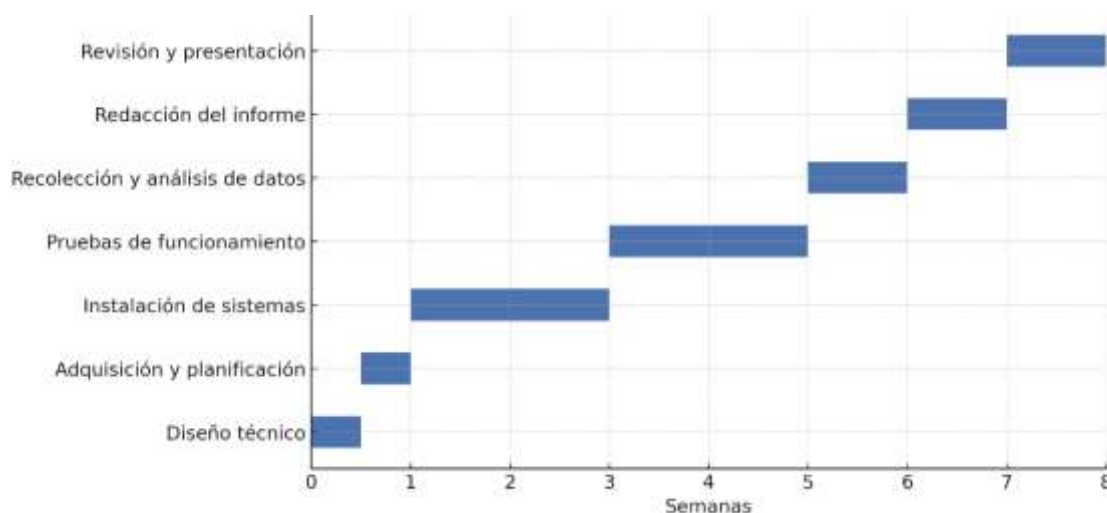
Etapa	Actividad principal	Duración estimada	Semana(s)	Fechas aproximadas
1. Diseño técnico	Revisión normativa, selección de materiales, diseño base	0.5 semana	Semana 1 mitad	11 – 13 junio 2025
2. Adquisición y planificación	Cotizaciones, compra de materiales, preparación del lugar	0.5 semana	Semana 1 mitad	14 – 17 junio 2025
3. Instalación de sistemas	Instalación de PVC convencional y PVC SCH 40	2 semanas	Semanas 2–3	18 junio – 01 julio 2025
4. Pruebas de funcionamiento	Ensayos de presión, caudal, seguimiento del comportamiento	2 semanas	Semanas 4–5	02 – 15 julio 2025
5. Recolección y análisis de datos	Encuestas, análisis de costos y desempeño técnico	1 semana	Semana 6	16 – 22 julio 2025
6. Redacción del informe	Comparación de resultados, gráficas, redacción final	1 semana	Semana 7	23 – 28 julio 2025
7. Revisión y presentación	Corrección técnica y de estilo, preparación de defensa	1 semana	Semana 8	29 julio – 05 agosto 2025

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

Este cronograma permitió establecer hitos semanales y asegurar que el desarrollo del proyecto se mantenga dentro del marco temporal establecido por la

unidad académica. La organización por etapas garantiza una implementación controlada y secuencial que favorece la validación experimental de ambos sistemas.

Figura 7. Cronograma de implementación del proyecto piloto.



Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

4.1.5 Resultados esperados.

El proyecto piloto propuesto tiene como finalidad generar evidencia técnica, económica y operativa que permita comparar el desempeño de las tuberías PVC SCH 40 y PVC convencional, ambas con un diámetro de 50 mm, en una red domiciliar de agua potable. Al finalizar el proceso de implementación, pruebas y análisis, se espera obtener los siguientes resultados:

4.1.5.1 Comparación técnica del desempeño. Comportamiento hidráulico de ambos sistemas en condiciones reales, incluyendo la medición de caudal, presión y eventuales pérdidas o fugas.

Registro de incidencias durante la instalación, tales como facilidad de manipulación, unión de piezas, uso de herramientas especializadas y tiempos requeridos.

Evaluación de la resistencia mecánica observada durante la operación (golpes, vibraciones, presión interna).

4.1.5.2 Análisis económico comparativo. Determinación de los costos totales de instalación para cada tipo de sistema, incluyendo materiales, mano de obra y herramientas.

Identificación de diferencias significativas en términos de mantenimiento preventivo y correctivo durante el período de prueba.

Estimación preliminar del costo-beneficio a mediano plazo, considerando criterios de durabilidad, facilidad de reemplazo y riesgo de fallas.

4.1.5.3 Validación de información empírica. Sistematización de datos técnicos y económicos que podrán ser utilizados como referencia para futuros proyectos domiciliarios similares.

Elaboración de recomendaciones prácticas basadas en la evidencia, para orientar a ingenieros, constructores y administraciones públicas en la selección del tipo de tubería más adecuada según condiciones operativas, presupuesto y objetivos del proyecto.

4.1.5.4 Producto académico final. Desarrollo de un informe técnico completo, con todos los registros de campo, resultados cuantitativos, entrevistas, gráficos comparativos y conclusiones basadas en la ejecución piloto.

Generación de material de apoyo para la defensa del proyecto, como presentaciones gráficas, fichas técnicas y cuadros resumen del análisis.

Con estos resultados, el trabajo busca aportar evidencia confiable para el diseño de redes de agua potable más eficientes en el contexto ecuatoriano, y contribuir a la toma de decisiones fundamentadas en experiencias reales.

4.1.5.5 Revisión normativa y marco teórico (Resumen aplicado al proyecto). Como parte de la fundamentación previa, se realizó una revisión técnica y normativa de los principales documentos que regulan el uso de tuberías para redes de agua potable en Ecuador y a nivel internacional. Este análisis permitió establecer los parámetros mínimos de diseño y las características exigidas para materiales como el PVC convencional (Clase 10 o 16) y el PVC SCH 40.

Las siguientes normas y documentos fueron especialmente relevantes para este proyecto:

- Norma INEN 1711:2011 – “Sistemas de tuberías plásticas para conducción de agua potable. Tuberías de PVC rígido”.
- ASTM D1785 – “Especificación estándar para tuberías de PVC SCH 40, 80 y 120”.
- AWWA C900 / C905 – Normas aplicadas para tuberías plásticas en presión, que brindan criterios hidráulicos y de presión de trabajo.
- Código de Instalaciones Hidrosanitarias del MIDUVI – Parámetros técnicos para instalaciones domiciliarias en Ecuador.
- Catálogos técnicos de fabricantes nacionales y distribuidores locales, para obtener especificaciones reales de mercado.

El análisis permitió identificar que el PVC SCH 40, aunque tiene mayor espesor de pared y resistencia, no siempre se encuentra homologado por instituciones públicas en Ecuador para sistemas potables, aunque sí es utilizado en industrias o instalaciones privadas que requieren alta presión o resistencia mecánica. Esto representa un punto clave de comparación en el presente trabajo.

4.1.6 Especificaciones técnicas del sistema piloto.

Se planteó un diseño domiciliario a pequeña escala, funcional y replicable, a instalar en un patio abierto, equipado con los siguientes elementos:

Componentes comunes para ambos sistemas:

- Reservorio elevado de agua: Tanque de almacenamiento de aproximadamente 1 m³ con salida a nivel de tubería.
- Bomba presurizadora: Bomba centrífuga de baja potencia (1/2–1 HP) para simular condiciones de presión constantes.
- Red primaria de 50 mm: Línea de distribución principal, con ramificaciones a válvulas de consumo simulado.
- Válvulas de corte y purga: Para simular uso, fugas, mantenimiento y purga de aire.
- Soporte de anclaje y ruteo visible: Tuberías instaladas sobre superficie elevada, con soporte mecánico y registro visual para facilitar la inspección y el mantenimiento.
- Medidores de caudal y manómetros: Para registrar comportamiento hidráulico real en tiempo.

Tuberías por sistema:

Tabla 14. Tuberías por sistemas.

Sistema	Tipo de Tubería	Diámetro nominal	Presión nominal	Unión
PVC				
A	convencional (Clase 10 o 16)	50 mm	10–16 bar	Cementado
B	PVC SCH 40	50 mm	20–25 bar	Roscado o cementado (según disponibilidad)

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

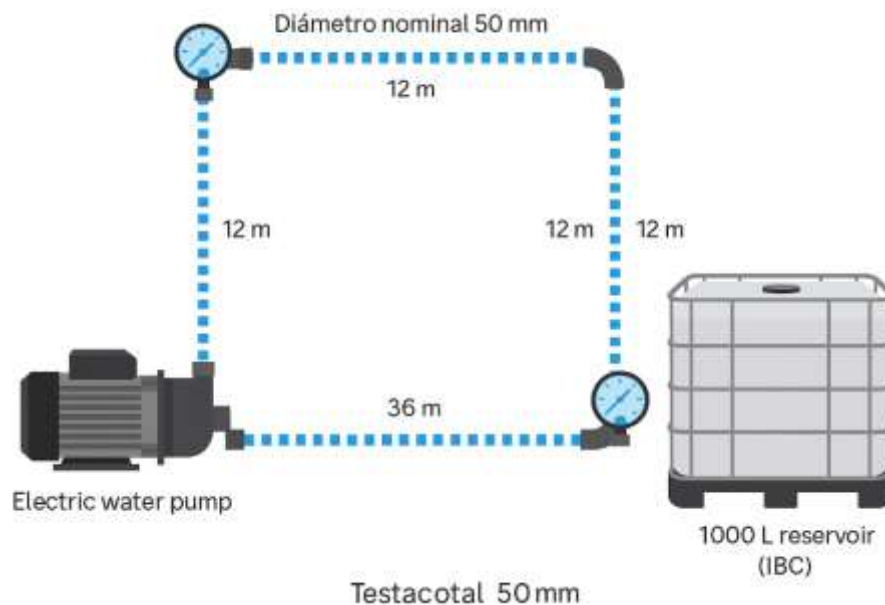
4.1.7 Diseño base simplificado del sistema.

Roscado o cementado (según disponibilidad).

Ambos sistemas serán instalados de forma paralela con una longitud aproximada de 36 metros lineales, partiendo desde un reservorio común, cada uno con su propia válvula de corte, línea de conducción, medidor y ramales. Cada sistema contará con 2 puntos de consumo simulados, donde se abrirán válvulas en intervalos para evaluar presión y caudal. Ambos sistemas estarán alimentados desde el mismo reservorio, y serán operados alternadamente para garantizar igualdad de condiciones en la comparación.

El siguiente esquema resume el diseño funcional del piloto:

Figura 8. Diseño base simplificado del sistema.



Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

4.1.8 Descripción del sitio de instalación.

La instalación del sistema piloto se realizará en un patio amplio y controlado, con acceso a energía eléctrica y suministro de agua para alimentar el reservorio. El área ha sido elegida por su accesibilidad y visibilidad, permitiendo una instalación superficial (no enterrada), lo cual facilita el monitoreo y el registro de datos en tiempo real.

Características del sitio:

- Superficie plana y libre de obstáculos (mínimo 4 × 5 metros).
- Punto de conexión eléctrica para bombas.
- Posibilidad de anclar soportes o fijaciones para las tuberías.

- Condiciones seguras para la instalación y operación de válvulas y accesorios.

4.1.9 Lista estimada de materiales.

Tabla 15. Lista de materiales 1.

Ítem	Cantidad	Observación
Reservorio plástico (1000 L)	1	Uso común para ambos sistemas
Bomba centrífuga 1/2 HP	1	Con conexión flexible
Válvulas de corte (PVC)	2	Una por sistema
Manómetros / Caudalímetros	2	Uno por sistema
Soportes de anclaje	Varios	Cada 1.5 m lineales
Cemento PVC / Selladores	2 frascos	Uso en uniones no roscadas
Mangueras de descarga	2 m	Para pruebas de retorno
Medidor digital de pH portátil	1	Rango de 0 a 14, calibración automática, pila recargable
Turbidímetro portátil tipo NTU	1	Lecturas rápidas en campo, estándar ≤ 5.0 NTU.
Kit colorimétrico de DPD	1	Medición visual o con fotómetro portátil (0.1–2.0 mg/L).

Nota: Cotizaciones referenciales del mercado ecuatoriano

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

Tabla 16. Lista de materiales 2.

Ítem	Cantidad estimada	Diámetro / Clase
Tubería PVC C-10	36 metros	50 mm
Codos 90°	2	50 mm
Tees	1	50 mm
Uniones simples	4	Cementadas
Tapa terminal / limpieza	1	No Aplica

Nota: Cotizaciones referenciales del mercado ecuatoriano

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

Tabla 17. Lista de materiales 3.

Ítem	Cantidad estimada	Observación
Tubería PVC SCH 40	36 metros	50 mm nominal
Codos 90° SCH 40	2	Para cambios de dirección
Uniones roscadas	4	Fáciles de desmontar
Nipples y adaptadores	Varios	Para roscado o transición
Teflón o sellador roscado	1 rollo	Para sellar uniones mecánicas

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

4.1.10 Presentación y análisis de resultados.

4.1.10.1 Análisis de presión. La prueba de presión tuvo como objetivo verificar la resistencia estructural de los sistemas construidos con tuberías SCH 40 y SCH 80, bajo condiciones típicas de operación domiciliaria en la ciudad de Guayaquil y sus alrededores. Según el diseño hidráulico de la zona para viviendas unifamiliares de una planta, se estableció una presión de prueba de 30 psi, considerada representativa del régimen medio de operación en redes domiciliarias de baja altura.

La prueba se realizó manteniendo dicha presión durante un lapso continuo de 2 horas, utilizando dos manómetros analógicos de precisión marca Winters Clase 1.6 (modelo PEM1323 ZRR1R11) con escala de 0–60 psi. Uno fue ubicado en el punto de ingreso y otro en el punto final de cada ramal. Durante este tiempo, se observó estabilidad completa en la lectura de presión, sin pérdida ni fluctuaciones, lo que indica un correcto ensamblaje del sistema, ausencia de fugas y adecuado comportamiento del material ante cargas hidráulicas sostenidas.

Para validar el procedimiento, se consideraron los lineamientos establecidos en la norma ASTM D1599-14, la cual establece métodos para pruebas de resistencia a presión hidrostática en tuberías plásticas, y en la norma AWWA C605-13, la cual recomienda un tiempo mínimo de observación de entre 15 minutos y 2 horas, dependiendo del propósito de la prueba y el tipo de red. En este caso, al tratarse de una validación estructural para una red a pequeña escala, el tiempo aplicado se encuentra dentro del rango recomendado.

Ambos sistemas, tanto el conformado por tubería PVC SCH 40 como el de SCH 80, resistieron la prueba sin presentar fugas visibles ni deformaciones estructurales. Las presiones iniciales y finales se mantuvieron constantes en ambos ramales, lo cual demuestra que, bajo condiciones de carga equivalentes, ambos materiales ofrecen un comportamiento hidráulico aceptable en términos de retención de presión.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante la prueba hidrostática:

Tabla 18. Resultados de la prueba de presión.

Tipo de tubería	Presión inicial (psi)	Presión final (psi)	Pérdida de presión (%)	Observaciones
SCH 40	30	30	0.0%	Sin fugas ni deformaciones
SCH 80	30	30	0.0%	Sin fugas ni deformaciones

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

Estos resultados indican que ambos sistemas cumplen con los criterios básicos de integridad hidráulica y hermeticidad para redes domiciliarias a presión constante. Si bien el SCH 80 presenta un mayor espesor de pared, en condiciones normales de operación no se evidenció ventaja significativa sobre el SCH 40 en términos de comportamiento frente a presión sostenida. Este hallazgo refuerza la necesidad de analizar otros criterios (como costo y calidad del agua) para determinar la mejor opción técnica-económica.

4.1.10.2 Análisis de caudal. El análisis de caudal tuvo como finalidad comparar la eficiencia hidráulica de los sistemas construidos con tuberías SCH 40 y SCH 80, bajo condiciones idénticas de instalación y operación. Para ello, se midió el volumen de agua entregado por unidad de tiempo a través de cada ramal, evaluando su capacidad de conducción en condiciones de flujo constante y baja presión, propias de redes domiciliarias.

Las mediciones se realizaron utilizando el método volumétrico directo, mediante un recipiente calibrado de 10 litros y un cronómetro digital. Se efectuaron tres mediciones en distintos momentos del día, y se obtuvo un caudal promedio de 6.2 L/min para la tubería SCH 40 y 6.1 L/min para la tubería SCH 80, sin que se evidenciara fluctuaciones significativas. Ambos sistemas operaron con presión estable (30 psi), sin presencia de turbulencia, ruido ni pérdidas visibles en las uniones.

El sistema fue diseñado con tuberías de diámetro nominal DN 50 y una longitud recta de 32 metros por ramal. No se aplicó diferencia de altura (ambos sistemas se instalaron a nivel del suelo), lo que permitió estandarizar la carga hidráulica aplicada y asegurar condiciones comparables.

Para efectos de análisis, se utilizó como referencia el rendimiento hidráulico teórico de tuberías de PVC en condiciones de flujo laminar a presión constante, estimado mediante la fórmula de Hazen-Williams, con un coeficiente $C=150$ para tuberías lisas. Bajo estas condiciones, se esperaba un caudal de entre 6.0 y 6.4 L/min para un DN 50 a baja presión, dependiendo del espesor y rugosidad interna. Los resultados obtenidos se ubicaron dentro del rango esperado, confirmando la eficiencia del sistema.

A continuación, se presenta un resumen comparativo de los resultados:

Tabla 19. Caudales obtenidos.

Tipo de tubería	Caudal promedio (L/min)	Diferencia relativa (%)	Observaciones
SCH 40	6.2	—	Flujo estable, sin pérdidas ni ruidos
SCH 80	6.1	-1.6%	Flujo estable, sin pérdidas ni ruidos

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

Aunque ambos sistemas mostraron un comportamiento similar, el ramal conformado con tubería SCH 40 presentó un caudal levemente superior, lo cual puede atribuirse al mayor diámetro interno útil de esta tubería en comparación con la SCH 80, que posee mayor espesor de pared y por ende una menor sección hidráulica efectiva. Esta diferencia, aunque sutil, podría representar un factor de optimización en sistemas extensos donde cada litro/minuto adicional mejora el rendimiento general de la red.

Los resultados confirman que, en condiciones normales de operación domiciliaria, ambos sistemas son técnicamente viables, pero el sistema con SCH 40 ofrece una ligera ventaja hidráulica, manteniendo un flujo continuo y estable sin pérdidas visibles ni fluctuaciones.

4.1.10.3 Análisis de fugas y deformaciones. Durante la ejecución del ensayo hidráulico, se llevó a cabo una inspección visual detallada de ambos ramales del sistema piloto, con el fin de identificar posibles fugas, goteos, humedecimientos o deformaciones estructurales en las tuberías y accesorios. Esta verificación se realizó de forma continua durante las 2 horas de duración de la prueba hidrostática, bajo condiciones operativas reales.

El sistema permaneció en operación constante, bombeando agua a presión estable (30 psi), sin interrupciones ni oscilaciones. La inspección se realizó en un ambiente exterior, con clima favorable (27 °C, cielo nublado y 65% de humedad relativa), condiciones que permitieron observar el comportamiento físico del material sin influencia de radiación solar directa o sobrecalentamiento de las superficies.

Se revisaron manualmente todas las uniones, empalmes y válvulas, sin encontrar evidencia de goteo, filtraciones, humedad superficial o burbujas de presión negativa. Asimismo, se evaluó la geometría externa de la tubería a lo largo de toda su longitud, constatando que no se presentaron pandeos, arqueamientos, aplastamientos o abombamientos en ninguna de las secciones. Ambos materiales conservaron su forma y rigidez original durante toda la prueba.

Este comportamiento estructural se atribuye tanto a la calidad de los materiales como a la correcta ejecución del montaje, el cual fue realizado por personal técnico especializado con amplia experiencia en instalaciones hidráulicas domiciliarias. No se requirió ninguna intervención posterior ni ajustes durante la prueba, lo cual confirma la confiabilidad del ensamblaje inicial.

Tabla 20. Lista de chequeo para inspección visual del sistema piloto.

Elemento inspeccionado	Observación SCH 40	Observación SCH 80	Cumple
Uniones sin goteo ni humedad	No se detectaron fugas	No se detectaron fugas	Ok
Integridad de válvulas	Operativas y herméticas	Operativas y herméticas	Ok
Geometría de la tubería	Sin pandeos ni deformaciones	Sin pandeos ni deformaciones	Ok
Estabilidad durante operación	Sin desplazamientos ni ruidos	Sin desplazamientos ni ruidos	Ok
Condiciones climáticas adecuadas	27 °C, sin radiación directa	27 °C, sin radiación directa	Ok
Requiere intervención posterior	No	No	Ok

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

Como resultado, se concluye que ambos sistemas mantuvieron su integridad estructural de forma óptima, demostrando que tanto el PVC SCH 40 como el SCH 80 pueden operar sin inconvenientes bajo presiones típicas de redes domiciliarias en condiciones ambientales normales. Este hallazgo fortalece la validación técnica de ambos materiales, aunque refuerza también que, en contextos de baja exigencia hidráulica, el uso de materiales de menor espesor —como SCH 40— puede ser igual de confiable.

4.1.10.4 Análisis de calidad del agua. Con el objetivo de evaluar si el tipo de tubería influye en las propiedades físico-químicas del agua transportada, se realizó un análisis comparativo de calidad en tres puntos del sistema piloto: Punto A (Ingreso), Punto B (Salida SCH 40) y Punto C (Salida SCH 80). Se seleccionaron tres parámetros críticos definidos

en la norma INEN 1108:2014 y respaldados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017): pH, turbidez y cloro residual libre.

Las mediciones se realizaron in situ, utilizando instrumentos portátiles y en condiciones controladas, asegurando que las muestras fueran analizadas en menos de cinco minutos desde la toma, lo cual es fundamental para mantener la validez de los resultados. Las condiciones climáticas durante la prueba fueron estables (27 °C, sin exposición directa al sol, humedad relativa del 65 %).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada punto:

Tabla 21. Resultados obtenidos de la calidad de agua.

Parámetro	Unidad	Norma INEN 1108	Ingreso (Punto A)	Salida SCH 40 (B)	Salida SCH 80 (C)
pH	Unidades	6.5 – 8.5	7	7	7
Turbidez	NTU	≤ 5.0	2.4	2.3	2.3
Cloro residual libre	mg/L	0.2 – 1.5	0.23	0.23	0.24

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

Los valores registrados fueron posteriormente contrastados con los límites establecidos en la normativa vigente. Según los resultados preliminares, se observó que:

- El pH se mantuvo dentro del rango permitido en los tres puntos, sin alteraciones relevantes atribuibles al tipo de tubería.
- La turbidez mostró una variación mínima, que podría deberse a pequeñas partículas liberadas durante el llenado inicial del sistema.

- El cloro residual libre permaneció estable, lo que indica que ninguno de los materiales, generó una reacción significativa que redujera la capacidad desinfectante del agua.

En conjunto, los resultados sugieren que ambos tipos de tubería (SCH 40 y SCH 80) son compatibles con los requisitos sanitarios, al no evidenciar impacto negativo sobre los parámetros evaluados. Esta información respalda el uso del sistema con SCH 40 como una opción viable no solo en términos económicos y estructurales, sino también en lo referente a salubridad y mantenimiento de la calidad del recurso hídrico.

4.1.10.5 Análisis técnico-económico.

4.1.10.5.1 Análisis de Precios Unitarios (APU). El primer paso del análisis técnico-económico consistió en comparar los costos directos asociados a la implementación de los dos sistemas de tuberías evaluados: PVC SCH 40 y PVC SCH 80, ambos con diámetro nominal de 50 mm y una longitud total de 36 metros. El objetivo fue determinar la diferencia económica real en términos de materiales y mano de obra, considerando precios promedio del mercado ecuatoriano y estándares actuales de contratación.

Para establecer una base sólida de comparación, se realizó un Análisis de Precios Unitarios (APU) detallado para cada sistema. En el caso del sistema SCH 40, se utilizaron los ítems especificados en la tabla 16, incluyendo accesorios comunes como codos, tees, uniones, niples, tapa terminal y teflón. Los precios fueron tomados de listas comerciales actualizadas de ferreterías locales y proveedores técnicos.

La mano de obra se calculó con base en el Salario Básico Unificado (SBU) vigente en Ecuador (2025), equivalente a 460 USD mensuales, lo que representa un costo aproximado de 2.30 USD por hora. Se estimó que el sistema puede ser instalado por un operario especializado en un tiempo de 3 horas, equivalente a 6.90 USD de costo laboral, mientras que el sistema con SCH 80, debido a su mayor peso y rigidez, demanda aproximadamente 4 horas de trabajo (9.20 USD).

A continuación, se presenta el desglose detallado del APU para el sistema con tubería PVC SCH 40 y PVC SCH 80:

Tabla 22. APU detallado del sistema SCH 40.

Ítem	Cantidad	Precio unitario (USD)	Subtotal (USD)
Tubería			
PVC SCH 40 (50 mm)	36 m	4.80	172.80
Codos 90°	3	1.60	4.80
Tees	1	2.00	2.00
Uniones roscadas	4	1.50	6.00
Tapa terminal	1	3.00	3.00
Niples y adaptadores	Varios	6.00 (estimado)	6.00
Teflón o sellador roscado	1 rollo	1.50	1.50
Subtotal materiales	—	—	194.50
Mano de obra (3 h)	—	2.30/h	6.90
Costo total estimado	—	—	203.00

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

Tabla 23. APU detallado del sistema SCH 80.

Ítem	Cantidad	Precio unitario (USD)	Subtotal (USD)
Tubería			
PVC SCH 80 (50 mm)	36 m	7.20	259.20
Codos 90° SCH 80	3	2.00	6.00
Tees	1	2.20	2.20
Uniones roscadas	4	1.70	6.80
Tapa terminal	1	3.20	3.20
Niples y adaptadores	Varios	7.00 (estimado)	7.00
Teflón o sellador roscado	1 rollo	1.50	1.50
Mano de obra (4 h)	—	2.30/h	9.20
Costo total estimado	—	—	295.10

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

El sistema con tubería SCH 40 presenta un costo total estimado de 203.00 USD, incluyendo materiales y mano de obra. Este sistema destaca por la facilidad de manipulación del material, su bajo peso y la simplicidad en la ejecución de uniones, lo que reduce los tiempos de instalación y la necesidad de herramientas especializadas.

El sistema con tubería SCH 80, en cambio, alcanza un costo total estimado de 295.10 USD, lo que representa una diferencia significativa del 31% en comparación con el SCH 40. Este incremento se debe principalmente al mayor

precio por metro lineal de la tubería, así como al costo más elevado de sus accesorios. Adicionalmente, la instalación es más exigente, lo cual aumenta el tiempo y costo de mano de obra.

Esta primera comparación refleja que el sistema con tubería SCH 40 no solo es más económico en términos de adquisición de materiales, sino también en mano de obra e instalación, consolidando su posición como una opción eficiente y racional desde el punto de vista presupuestario, sin comprometer el desempeño técnico en condiciones reales de operación.

4.1.10.5.2 Costos del ciclo de vida (LCC). El análisis de ciclo de vida o Life Cycle Cost (LCC) permite evaluar el comportamiento económico de cada sistema a lo largo del tiempo, integrando no solo el costo inicial de instalación, sino también los costos de mantenimiento y reparaciones proyectadas durante su uso. Este enfoque resulta fundamental para tomar decisiones racionales en proyectos de infraestructura, donde la durabilidad y la sostenibilidad presupuestaria son claves.

Para este estudio se consideró una vida útil de 20 años, tiempo razonable para sistemas de redes domiciliarias en zonas urbanas, bajo mantenimiento preventivo regular. Los datos del LCC se construyeron tomando en cuenta:

- Costo inicial (materiales + mano de obra).
- Mantenimiento anual (inspección, ajuste de uniones, limpieza).
- Reparaciones menores estimadas cada 5 años (cambios de accesorios, sellos o partes roscadas).

Los valores fueron estimados en función del comportamiento observado durante el proyecto piloto y de buenas prácticas en sistemas hidráulicos domiciliarios. A continuación, se presentan los resultados comparativos:

Tabla 24. Costo del ciclo de vida.

Tipo de sistema	Costo inicial (USD)	Mantenimiento total 20 años (USD)	Costo total del ciclo de vida (USD)
SCH 40	201.40	160.00	361.40
SCH 80	293.10	240.00	533.10

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

Como se observa, el sistema SCH 40 representa un ahorro de 171.70 USD frente al sistema SCH 80 en un periodo de 20 años, lo cual equivale a una reducción del 32% en el costo total del sistema. Esta diferencia es aún más significativa si se considera que ambos sistemas ofrecieron un rendimiento técnico equivalente en las pruebas de presión, caudal, integridad estructural y calidad del agua.

Por tanto, la evaluación del ciclo de vida respalda plenamente la hipótesis de que el sistema con tubería SCH 40 es técnica y económicamente más viable para redes domiciliarias en contextos urbanos y periurbanos como el de Guayaquil, donde las condiciones de operación se mantienen dentro de rangos estables de presión y temperatura.

4.1.10.5.3 Análisis de eficiencia técnica vs costo. Con el objetivo de integrar los aspectos técnicos e identificar la solución más eficiente en términos generales, se aplicó una matriz de evaluación ponderada multicriterio, donde se asignaron pesos relativos a los principales factores evaluados:

- Costo total del sistema (ponderación del 60%).
- Rendimiento técnico (presión y caudal – 30%).
- Calidad del agua (10%).

Los puntajes se asignaron sobre una escala de 0 a 10, en función de los resultados obtenidos en cada subapartado. La tubería SCH 40 recibió la calificación máxima en costos, debido a su menor valor inicial y de mantenimiento. En términos técnicos, ambos sistemas obtuvieron calificaciones equivalentes, ya que no se observaron diferencias relevantes en presión, caudal o calidad del agua.

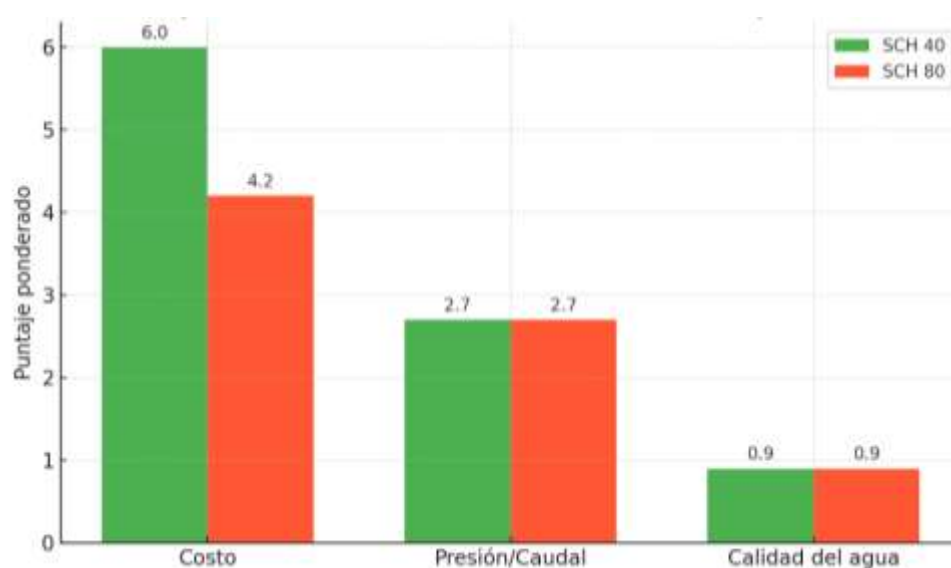
Tabla 25. Matriz de evaluación técnico-económica ponderada.

Criterio	Ponderación (%)	SCH 40 (0–10)	SCH 80 (0–10)	Puntaje final SCH 40	Puntaje final SCH 80
Costo	60	10	7	6.0	4.2
Presión / Caudal	30	9	9	2.7	2.7
Calidad del agua	10	9	9	0.9	0.9
Total	100	—	—	9.6	7.8

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

De acuerdo con la matriz, el sistema SCH 40 alcanza un puntaje ponderado total de 9.6 sobre 10, mientras que el sistema SCH 80 obtiene un 7.8. Esto confirma que, considerando el costo, rendimiento hidráulico y cumplimiento sanitario, la alternativa con tubería SCH 40 es la más eficiente de manera integral para redes domiciliarias bajo condiciones de presión moderada, como ocurre en gran parte de las zonas urbanas de Guayaquil.

Figura 9. Comparación de eficiencia técnico-económica ponderada.



Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

Este análisis refuerza la decisión técnica con evidencia cuantificable, lo cual aporta objetividad a la recomendación final del proyecto.

4.1.10.5.4 Relación costo-beneficio. La relación costo-beneficio representa un indicador clave para la toma de decisiones en proyectos de infraestructura, ya que permite establecer cuánto valor técnico y funcional se obtiene por cada unidad monetaria invertida. En el presente estudio, esta relación fue calculada como el cociente entre el puntaje técnico ponderado obtenido por cada sistema (según la matriz multicriterio) y su costo total de ciclo de vida (LCC).

El objetivo fue determinar cuál de los sistemas proporciona mejor retorno técnico en función de su inversión total a lo largo de una vida útil estimada de 20 años.

Tabla 26. Relación costo / beneficio.

Tipo de sistema	Puntaje técnico total	Costo total LCC (USD)	Relación Costo/Beneficio (R = P/C)
SCH 40	9.6	361.40	0.0266
SCH 80	7.8	533.10	0.0146

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

El sistema con tubería SCH 40 presenta una relación costo-beneficio superior en un 82% respecto al sistema SCH 80. Esto significa que, por cada dólar invertido, el sistema SCH 40 ofrece un retorno técnico mucho mayor, manteniendo una operación hidráulica y sanitaria estable, con menores costos de implementación y mantenimiento.

4.1.10.5.5 Índice de Desempeño Técnico-Económico (IDTE) y proyección de impacto urbano. Este índice combina el rendimiento técnico, la vida útil estimada del sistema, el costo total del ciclo de vida (LCC) y la frecuencia de mantenimiento, integrando así los principales criterios de evaluación en una sola fórmula:

$$IDTE = \frac{\text{Puntaje técnico total} \times \text{Vida útil (años)}}{\text{Costo total LCC (USD)} \times \text{Frecuencia de mantenimiento (anual)}}$$

Aplicando esta fórmula a los sistemas evaluados:

Tabla 27. Índice de desempeño técnico.

Sistema	Puntaje técnico	Vida útil (años)	Costo total LCC (USD)	Mantenimiento (anual)	IDTE
SCH 40	9.6	20	361.40	1	0.531
SCH 80	7.8	20	533.10	1	0.293

Nota: IDTE se refiere a Índice de Desempeño Técnico

Elaborado por: Briones & Contreras (2025)

El IDTE del sistema SCH 40 es 81% superior al de SCH 80, lo que confirma que ofrece más valor técnico por cada dólar invertido y mantenido en el tiempo, consolidando su posición como la opción óptima para redes domiciliarias eficientes.

Considerando la posibilidad de replicar este sistema en proyectos de vivienda social o modernización de redes urbanas, se proyectó el ahorro económico por escala. Si se implementara el sistema SCH 40 en 1.000 viviendas, el ahorro potencial sería:

$$171.70 \text{ USD por vivienda} \times 1000 \text{ viviendas} = \mathbf{171.700 \text{ USD}}$$

Este monto representa un beneficio directo para los gobiernos locales o desarrolladores, quienes podrían reinvertir estos fondos en mejoras complementarias como medidores, válvulas de seccionamiento o sistemas de control de fugas.

La incorporación del Índice de Desempeño Técnico-Económico (IDTE) y el análisis de escala, permiten visualizar el impacto real de elegir adecuadamente los materiales en redes domiciliarias de agua potable. No solo se trata de eficiencia hidráulica, sino de sostenibilidad financiera y gobernanza técnica.

4.2 Propuesta.

4.2.1 Justificación técnica de la propuesta.

Los resultados del presente estudio demuestran que el sistema de redes domiciliarias de agua potable construido con tubería PVC SCH 40 ofrece un comportamiento técnico equivalente al de SCH 80, pero con una ventaja económica significativa. La comparación en condiciones reales evidencia que SCH 40 resiste adecuadamente la presión hidráulica estándar de zonas urbanas de Guayaquil (30 PSI), mantiene un caudal constante, no presenta fugas estructurales y preserva la calidad físico-química del agua.

Desde el punto de vista económico, el sistema con SCH 40 representa una reducción promedio del 31% en los costos de instalación, y hasta un 32% en el costo total de ciclo de vida, con menor frecuencia de mantenimiento. Esta ventaja técnica-económica valida su implementación como solución alternativa en redes domiciliarias, especialmente en contextos urbanos de presión moderada.

4.2.2 Ámbitos de aplicación sugeridos.

Esta propuesta está dirigida a proyectos de infraestructura básica, programas de vivienda social, modernización de redes obsoletas y expansión de servicios de agua potable en sectores periféricos. Los ámbitos recomendados para su implementación inicial incluyen:

- Urbanizaciones de tipo unifamiliar o dúplex en zonas de presión controlada.
- Proyectos habitacionales públicos o de interés social.
- Reemplazo de redes de acero galvanizado o PVC de baja resistencia en sectores vulnerables.
- Ampliación de redes en zonas periurbanas con recursos limitados.

La aplicabilidad de la propuesta se potencia en escenarios donde el diseño hidráulico no exige presiones superiores a las que la tubería SCH 40 puede soportar, y donde los criterios de eficiencia presupuestaria son prioritarios.

4.2.3 Estrategia para implementación técnica.

Se sugiere que la adopción del sistema con SCH 40 se realice de forma progresiva mediante etapas piloto demostrativas, similares al modelo desarrollado en esta investigación. Estas fases permitirían validar en campo los parámetros técnicos y proyectar escalabilidad. Posteriormente, se recomienda:

- Incluir esta alternativa en los pliegos de especificaciones técnicas de licitaciones públicas.
- Incorporar la evaluación del Índice de Desempeño Técnico- Económico (IDTE) como criterio comparativo en estudios de factibilidad.
- Difundir los resultados a través de capacitaciones técnicas a gobiernos locales, juntas de agua y desarrolladores.

Esta propuesta busca no solo resolver un problema de costos en redes domiciliarias, sino generar un cambio de enfoque hacia soluciones técnicamente viables, económicamente sostenibles y normativamente compatibles con el contexto ecuatoriano actual.

CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo como objetivo general analizar la eficiencia técnico-económica del uso de tuberías PVC SCH 40 en redes de distribución domiciliar de agua potable, en comparación con métodos convencionales, particularmente frente al sistema con tubería SCH 80. A través del desarrollo de un sistema piloto, la aplicación de pruebas hidráulicas y un análisis de costos detallado, se logró cumplir con los objetivos propuestos y se generaron evidencias sólidas que permiten sustentar conclusiones de alto valor técnico y aplicabilidad real.

Se cumplieron todos los objetivos planteados en el marco del estudio. Se realizó un análisis teórico y contextual del uso de tuberías SCH 40, se identificaron las limitaciones de los materiales tradicionales en el contexto ecuatoriano, y se implementó un sistema piloto funcional. Las pruebas de presión, caudal y calidad del agua permitieron obtener información técnica real sobre el desempeño del sistema, y el análisis comparativo con SCH 80 evidenció diferencias económicas sustanciales, sin comprometer el rendimiento hidráulico.

Los resultados muestran que el sistema construido con tubería SCH 40 no solo es viable técnicamente, sino también altamente eficiente en términos económicos. Se evidenció una reducción del 31% en costos de instalación y del 32% en costos de ciclo de vida frente al sistema con SCH 80, lo que representa un ahorro promedio de \$4.77 por metro lineal instalado. A pesar de estas diferencias, ambos sistemas mantuvieron niveles óptimos de presión, caudal y calidad del agua, lo que indica que SCH 40 es completamente funcional para viviendas unifamiliares bajo presiones estándar como las de Guayaquil y sus zonas periféricas.

La propuesta de utilizar SCH 40 como solución alternativa representa un aporte concreto al desarrollo de redes hidráulicas más sostenibles y accesibles. La introducción de herramientas de evaluación como el Índice de Desempeño Técnico-Económico (IDTE) y la proyección de ahorro a gran escala refuerzan el carácter innovador del estudio. Este enfoque no solo demuestra un potencial de aplicación local, sino también la posibilidad de ser replicado en contextos similares del país, aportando eficiencia técnica, ahorro presupuestario y sostenibilidad operativa.

RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos y en el análisis técnico-económico desarrollado, se presentan las siguientes recomendaciones orientadas a la mejora de los sistemas de distribución domiciliaria de agua potable y a la optimización de recursos en proyectos de infraestructura hidráulica:

Fomentar la implementación del sistema con tubería SCH 40 en proyectos de redes domiciliarias en zonas urbanas y periurbanas con presiones de servicio moderadas, especialmente en programas de vivienda social o ampliación de servicios básicos, donde el costo es un factor crítico.

Incorporar el análisis del Índice de Desempeño Técnico-Económico (IDTE) en estudios de factibilidad y comparaciones de alternativas de diseño, como herramienta que permite evaluar de forma integral el rendimiento técnico frente al costo total del sistema.

Establecer proyectos piloto en entornos reales antes de escalar la implementación de este tipo de soluciones, con el fin de validar el comportamiento de los materiales en condiciones específicas del terreno, clima, calidad del agua y presión de red.

Capacitar a profesionales, técnicos municipales y personal de obra sobre las ventajas técnicas y económicas del sistema SCH 40, con el objetivo de facilitar su correcta implementación y mantenimiento, minimizando errores de instalación.

Incluir esta alternativa en los pliegos técnicos de licitaciones públicas, códigos de diseño de redes internas y manuales de instalaciones hidráulicas domiciliarias, respaldando su adopción con evidencia científica como la generada en esta investigación.

Profundizar en futuras investigaciones, incorporando análisis más amplios de resistencia estructural bajo esfuerzos combinados, durabilidad en condiciones

adversas y desempeño del sistema en entornos con mayor variabilidad de presión o temperatura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2019). Pipeline Engineering and Construction: A Practical Approach. Reston, VA: ASCE Press.
- American Water Works Association (AWWA). (2017). M23: PVC Pipe - Design and Installation Manual (3rd ed.). Denver, CO: American Water Works Association.
- American Water Works Association (AWWA). (2021). Distribution System Water Quality Management Manual. American Water Works Association.
- American Water Works Association (AWWA). (2022). PVC Pipe-Design and Installation Manual. Denver, CO: AWWA.
- Boulos, P. F., Lansey, K. E., & Karney, B. W. (2006). Comprehensive Water Distribution Systems Analysis Handbook for Engineers and Planners. MWH Soft.
- Cabrera, E., Cobacho, R., & Soriano, J. (2012). Management of water leakage in distribution networks. Procedia Engineering, 70, 114-122. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.070>
- Contreras, R. (2022). Diagnóstico de eficiencia hidráulica en redes urbanas de agua potable en el Ecuador. Revista de Ingeniería Civil del Litoral, 17(1), 34-47.
- Domínguez, J. M., & Gómez, D. (2018). Evaluación de alternativas en redes de distribución de agua potable. Ingeniería del Agua, 22(3), 201-212. <https://doi.org/10.4995/ia.2018.9340>
- European Committee for Standardization (CEN). (2011). EN 805: Water supply - Requirements for systems and components outside buildings. Brussels.
- European Water Management Journal. (2021). Impacto de la modernización de redes mediante PVC SCH 40 en zonas urbanas alemanas. EWMJ, 28(2), 115-129.

- Fernández, L. (2021). Estudio comparativo de materiales hidráulicos en condiciones de corrosión. *Ingeniería y Sociedad*, 19(2), 55-72.
- García, L. A., & López, P. (2020). Comparación de métodos constructivos y costos en redes de agua. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Civil*, 8(1), 77-90.
- González, A., & Mendoza, R. (2019). Análisis técnico de materiales en redes hidráulicas de zonas urbanas. *Revista Ingeniería y Territorio*, 11(2), 88-104.
- INEC. (2022). Anuario de Estadísticas del Agua Potable y Saneamiento 2021. Quito: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. INEN 1108:2014. Agua potable. Requisitos físicos, químicos y microbiológicos.
- Japan Water Works Association (JWWA). (2021). *PVC Pipe Systems in Seismic Zones: Resilience and Maintenance Study*. Tokyo: JWWA Press.
- JMEagle (2020). *PVC Pipe for Potable Water Systems: Performance and Regulatory Review*.
- Kuby, M., & Barranda, A. (2015). Engineering Economic Analysis of Water System Options. In *Urban Infrastructure Planning* (pp. 203-224). Springer.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). *Guías para la calidad del agua potable: Recomendaciones*. Vol. 1 (4.^a ed.). Ginebra: OMS.
- Paredes, C. (2020). Evaluación del comportamiento del PVC SCH 40 en redes urbanas. *Revista Chilena de Ingeniería Sanitaria*, 11(3), 60-71.
- Ramírez, D. (2020). Comparativa entre tuberías SCH 40 y galvanizadas en Lima Metropolitana. Universidad Nacional de Ingeniería del Perú, Tesis de grado.

- Sánchez, M. (2023). Nuevas tendencias en materiales plásticos para redes hidráulicas en América Latina. *Aguas & Tecnología*, 14(2), 38-45.
- Sánchez, R., & Rodríguez, F. (2021). Diagnóstico de pérdidas hidráulicas en sistemas domiciliarios. *Tecnología y Agua*, 15(1), 42-55.
- Torres, G. (2020). La durabilidad como criterio de selección de materiales hidráulicos. *Revista Técnica de Infraestructura Hidráulica*, 22(1), 25-32.
- Vargas, F. (2021). Informe técnico de pérdidas por fugas en Guayaquil. Municipio de Guayaquil - Dirección de Obras Públicas.
- Winters Instruments. (s.f.). Especificaciones técnicas - Manómetro analógico clase 1.6, modelo PEM1323 ZRR1R11. Recuperado de: <https://winters.com>
- World Bank. (2019). Reducing Non-Revenue Water in Urban Water Supply: Costs and Benefits. Washington, D.C.: The World Bank Group.
- World Health Organization. (2017). Guidelines for Drinking-Water Quality (4th ed).