

**Diseño de Alcantarillado por Vacío en el Barrio Villa Fátima, Distrito de Riohacha,
La Guajira: Una alternativa Eficiente y Sostenible Frente al Alcantarillado Convencional.**

Estudiante

Oscar Eduardo Hernández Parra

Tutor

Ing. Luisa Fernanda Yustres

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de Estudios a Distancia

Ingeniería Civil

2026

Índice

Índice de Figuras.....	4
Índice de tablas	6
Resumen.....	8
Palabras clave.....	9
Abstract	9
Keywords	10
Planteamiento del problema.....	10
Justificación	20
Objetivo General	22
Objetivos específicos	22
Antecedentes	23
Panorama internacional.....	24
Santa Pola, España	24
Lubelski, Polonia	28
Iquitos, Perú	30
Caleta Tortel, Chile	31
Santos, Brasil	35
Valdivia, Chile	37
Panorama nacional	39

Municipio de Turbo, departamento de Antioquia	39
Marco conceptual	40
Alcantarillado por vacío	40
Eficiencia y sostenibilidad	41
Nivel freático	41
Saneamiento básico	41
Topografía y viabilidad técnica	42
Teoría y funcionamiento de un sistema de alcantarillado por vacío	42
Principio de funcionamiento	42
Componentes principales	43
Comparativa de un sistema por vacío frente a un alcantarillado convencional	50
Marco geográfico	51
Ubicación y delimitación territorial	51
Características físicas y ambientales	52
Metodología	53
1. Diseño de alcantarillado convencional	53
2. Diseño de alcantarillado por vacío para el barrio Villa Fátima	55
Proyección de población	55
Caudal de aguas residuales (<i>QD</i>)	55
Caudal de aguas residuales industriales (<i>QI</i>)	56

Caudal de aguas residuales institucionales (<i>QIN</i>).....	56
Caudal de aguas residuales Comerciales (<i>QC</i>)	57
Caudal medio diario.....	57
Factor de mayoración.....	58
Caudal máximo horario.....	58
Cámaras colectoras	58
Dimensionamiento del tanque de vacío	59
Diseño de redes	59
Diseño de bombas de vacío.....	62
Resultados	65
Conclusiones	72
Bibliografía	74
ANEXO 1.....	79

Índice de Figuras

Figura 1. Infografía de los planes para el barrio Villa Fátima según POT	12
Figura 2. Localización Barrio Villa Fátima	15
Figura 3. Inundaciones en el barrio Villa Fátima.	17
Figura 4. Inundaciones recurrentes en el barrio Villa Fátima.....	18
Figura 5. Casos de estudio de alcantarillado por vacío al rededor del mundo	23

Figura 6. Localización de Santa Pola, España	24
Figura 7. Detalle en planta de la red de alcantarillado por vacío de Santa Pola.....	24
Figura 8 característica y logros	26
Figura 9. Elementos principales del alcantarillado por vacío	27
Figura 10. Localización de la región de Lubelski, Polonia	29
Figura 11. Localización de Iquitos, Perú	31
Figura 12. Localización Caleta Tortel, Chile.....	32
Figura 13. Tubería de vacío instalada debajo de pasarelas de madera.	33
Figura 14. Tuberías y cámaras de vacío instaladas sobre la superficie	34
Figura 15 Problemas vs Implementadas	34
Figura 16. Localización Santos, Brasil	35
Figura 17. Pozo recolector y válvula de vacío	44
Figura 18. Conexión de la cámara de vacío a la red principal.....	45
Figura 19. Detalle en planta de una red de vacío.....	46
Figura 20. Detalle en perfil de red de vacío.....	46
Figura 21. Detalle de estación de vacío	47
Figura 22. Válvula de vacío y sistema de control.....	47
Figura 23. Esquema general sistema de alcantarillado por vacío	49
Figura 24. Comparativa entre el alcantarillado por vacío y el alcantarillado convencional	50
Figura 25. <i>Barrio Villa Fátima, Riohacha, La Guajira</i>	51
Figura 26. Estructura de la metodología de la investigación	53
Figura 27. <i>Sector hotelero Villa Fátima</i>	56

Figura 28. Comparativa presupuestal ítem de movimiento de tierras 71

Figura 29. Comparativa presupuestal ítem de tuberías..... 71

Índice de tablas

Tabla 1. Datos más relevantes del proyecto de alcantarillado convencional en Villa Fátima.	54
Tabla 2. <i>Resultados de diseño alcantarillado por vacío</i>	61
Tabla 3. Presupuesto general del sistema por vacío para el barrio Villa Fátima	64
Tabla 4. Síntesis de resultados técnicos del diseño propuesto	65
Tabla 5. Análisis comparativo ambiental entre los dos tipos de sistemas	67
Tabla 6. Análisis comparativo técnico entre los dos sistemas	69

Agradecimientos

Agradezco a Dios por la fortaleza y constancia durante el desarrollo de este trabajo.

A mi familia, por su apoyo permanente y confianza a lo largo de mi formación profesional.

A mi directora de tesis, por la orientación técnica y académica brindada durante el proceso.

A los docentes del programa de Ingeniería Civil, por los conocimientos transmitidos.

Finalmente, a todas las personas e instituciones que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la realización de esta tesis.

Resumen

El presente trabajo desarrolla el diseño de un sistema de alcantarillado por vacío para el barrio Villa Fátima, ubicado en el distrito de Riohacha, La Guajira, como alternativa técnica frente al sistema de alcantarillado convencional. La propuesta surge ante las limitaciones topográficas, geotécnicas y de disponibilidad de agua que dificultan la implementación de sistemas tradicionales por gravedad en zonas costeras.

La metodología empleada incluye la estimación de la población de diseño, la proyección de caudales residuales, el dimensionamiento hidráulico de la red de tuberías, la definición de estaciones de vacío y la selección de componentes principales del sistema. Asimismo, se realiza un análisis comparativo entre el sistema propuesto y el alcantarillado convencional, considerando criterios técnicos, económicos y ambientales.

Como resultado, se obtiene un diseño preliminar del sistema de recolección por vacío, incluyendo la configuración de la red, los diámetros de tuberías, la ubicación de la estación central y los parámetros operativos del sistema. Los resultados evidencian que el alcantarillado por vacío representa una alternativa viable en zonas con condiciones adversas, al reducir excavaciones, minimizar infiltraciones y optimizar el uso del recurso hídrico.

Se concluye que la implementación de sistemas de alcantarillado por vacío en el barrio Villa Fátima puede mejorar las condiciones sanitarias y ambientales, constituyéndose como una solución eficiente y sostenible para comunidades con limitaciones similares en la región.

Palabras clave

Alcantarillado por vacío; saneamiento básico; diseño hidráulico; aguas residuales; sostenibilidad.

Abstract

This study develops the design of a vacuum sewer system for the Villa Fátima neighborhood, located in the district of Riohacha, La Guajira, as a technical alternative to the conventional sewerage system. The proposal arises from the topographic, geotechnical, and water availability limitations that hinder the implementation of traditional gravity sewer systems in coastal areas.

The methodology includes the estimation of the design population, the projection of wastewater flows, the hydraulic sizing of the pipeline network, the definition of vacuum stations, and the selection of the main system components. Likewise, a comparative analysis is carried out between the proposed system and the conventional sewerage system, considering technical, economic, and environmental criteria.

As a result, a preliminary design of the vacuum collection system is obtained, including the network configuration, pipe diameters, location of the central station, and operational parameters of the system. The results show that vacuum sewerage represents a viable alternative in areas with adverse conditions, reducing excavation works, minimizing infiltration, and optimizing water resource use.

It is concluded that the implementation of vacuum sewer systems in the Villa Fátima neighborhood can improve sanitary and environmental conditions, constituting an efficient and sustainable solution for communities with similar limitations in the region.

Keywords

Vacuum sewerage; basic sanitation; hydraulic design; wastewater; sustainability.

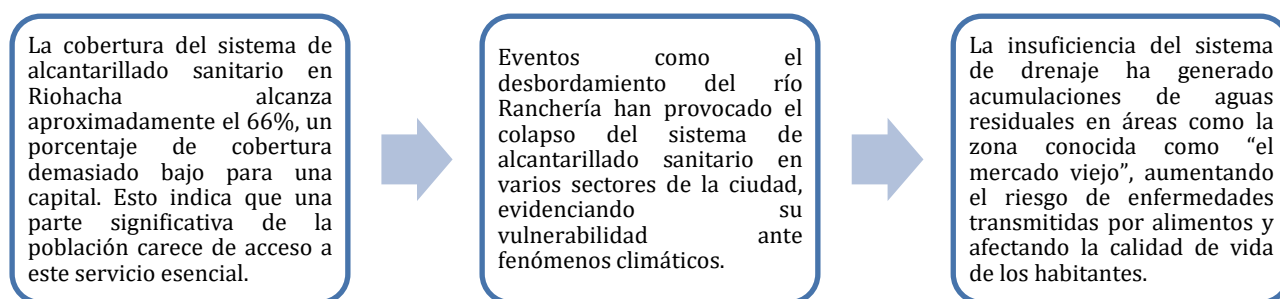
Planteamiento del problema

El barrio Villa Fátima, ubicado en el distrito de Riohacha, departamento de La Guajira, presenta una problemática asociada a la deficiencia en la recolección, conducción y disposición adecuada de las aguas residuales domésticas. A pesar de encontrarse dentro del área urbana del municipio, el sector enfrenta limitaciones en su infraestructura de saneamiento básico, situación que ha llevado a la utilización de soluciones individuales y precarias, tales como pozos sépticos rudimentarios, cámaras improvisadas o vertimientos directos al suelo. Adicionalmente, el reglamento técnico colombiano para agua potable y saneamiento básico (RAS), en su manual de buenas prácticas, título J establece que las letrinas y sistemas de pozo negro "de ninguna manera pueden ser usados como solución individual en viviendas ubicadas en suelo urbano o suburbano" Esta condición genera riesgos sanitarios, deterioro ambiental y afectaciones directas sobre la calidad de vida de los habitantes.

La ciudad de Riohacha, capital del departamento de La Guajira, ubicada en la región Caribe colombiana, enfrenta serias dificultades para la implementación de un sistema de alcantarillado sanitario convencional eficiente, principalmente debido a sus condiciones geográficas y geotécnicas. Entre los factores más relevantes que limitan la viabilidad de un sistema de alcantarillado por gravedad se encuentran el alto nivel freático y la topografía predominantemente plana, características propias de una zona costera. (Alcaldía de Riohacha, 2024)

La situación del sistema de alcantarillado en Riohacha es precaria y presenta múltiples desafíos tanto en la zona urbana como rural. Esto debido a que El sistema ha sobrepasado su periodo de diseño y la tubería (principalmente de gres y asbesto cemento) presenta un desgaste severo por vapores ácidos. Según el plan de desarrollo de Riohacha, el sistema *“cumplió su vida útil y requiere una reposición total para evitar colapsos frecuentes”*. (Alcaldía de Riohacha, 2024).

Algunos aspectos que requieren una mejora urgente en el sistema de alcantarillado son las siguientes:



Fuentes. (Mejia, 2024), (Alcaldía de Riohacha, 2025)

El plan de ordenamiento territorial del distrito de Riohacha, el cual fue aprobado en 2002 y, aunque se han realizado ajustes, aún presenta desactualizaciones en varios temas, incluyendo el manejo de infraestructuras sanitarias. (Diario del Norte, 2024), sin embargo, recalca la necesidad de establecer una planificación integral para el alcantarillado sanitario y pluvial, enfatizando la separación de aguas negras y lluvias, obligación de ampliar redes por parte de urbanizadores, protección de franjas para las infraestructuras, y proyectos prioritarios para cubrir áreas con rezago. El POT hace referencia a la necesidad de crear proyectos enfocados en el

control de inundaciones constantes que presenta algunos sectores específicos como lo barrios Villa Fátima, El dividivi y El patrón.

Figura 1. Infografía de los planes para el barrio Villa Fátima según POT



Fuente. Elaboración propia

Es importante aclarar que el sistema de alcantarillado de Riohacha carece de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), causando un grave impacto ambiental, especialmente en el ecosistema marino, ya que las aguas residuales son descargadas al mar caribe (LaGuajiraHoy.com, 2015). Por otra parte, La Empresa de Servicios Públicos de La Guajira (ESEPGUA) ha presentado los diseños definitivos para la construcción de una PTAR en Riohacha, con el objetivo de mejorar el tratamiento de aguas residuales y reducir la contaminación. (ESEPGUA S.A E.S.P, s.f.)

El nivel freático en Riohacha empieza a muy poca profundidad, encontrándose a niveles de 1m de profundidad en temporada seca. Lo que complica las excavaciones necesarias para la instalación de tuberías a pendientes adecuadas. Además, existe el riesgo de infiltración de agua subterránea en la red de alcantarillado, lo que puede ocasionar sobrecarga en el sistema, aumentando costos operativos y reduciendo su eficiencia. Sumado a esto, la topografía plana de la ciudad dificulta el flujo por gravedad de manera natural de las aguas residuales, lo que obligaría a la construcción de estaciones de bombeo en varios puntos, encareciendo la infraestructura y el mantenimiento del sistema. (Montes Amaya, Isabel, & Gomez, 2024)

Ante estas dificultades, se requiere una solución que permita la recolección y transporte eficiente de las aguas residuales sin depender de excavaciones profundas ni múltiples estaciones de bombeo. En este contexto, el sistema de alcantarillado por vacío surge como una alternativa viable, ya que permite el transporte de aguas residuales mediante diferencias de presión, con tuberías de menor diámetro y a menores profundidades de excavación, evitando así los problemas de trabajar por debajo del nivel freático. (Carbajal & Villacorta, 2016)

En muchas regiones del Caribe colombiano, como es el caso del municipio de Riohacha, La Guajira, persisten serias deficiencias en la infraestructura de saneamiento básico, especialmente en zonas urbanas en expansión o en asentamientos irregulares donde la topografía plana, el alto nivel freático y la dispersión de las viviendas dificultan la implementación de sistemas convencionales de alcantarillado por gravedad. (Alcaldia de Riohacha, 2025)

Como es de común conocimiento, los sistemas tradicionales, basados en redes que requieren pendientes naturales para el transporte de aguas residuales, demandan excavaciones profundas, costosas estaciones de bombeo y un mantenimiento constante para evitar obstrucciones o colapsos. Estas condiciones elevan significativamente los costos de inversión y

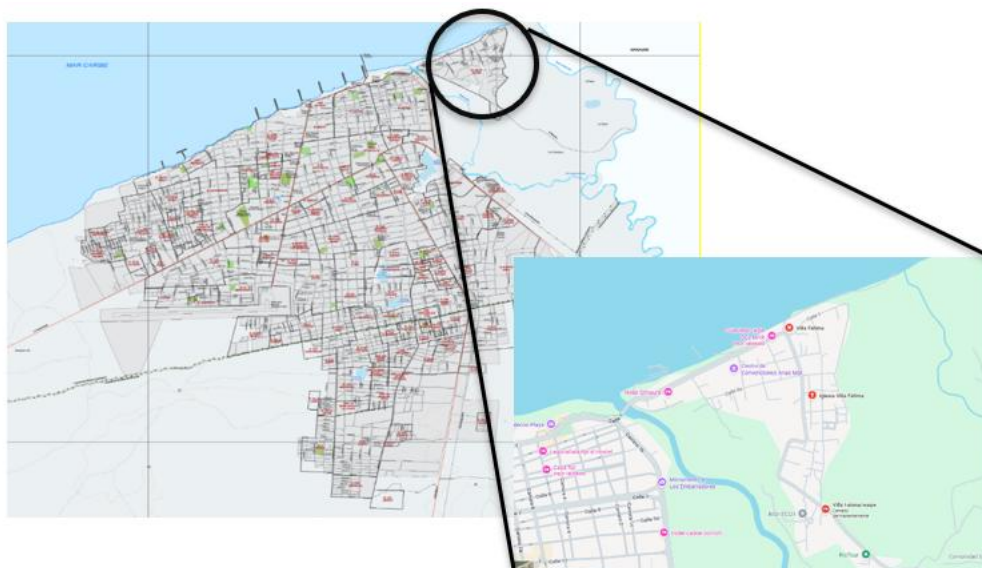
operación, además de generar un impacto ambiental considerable en zonas sensibles desde el punto de vista ecológico y social.

En este contexto, se han identificado múltiples sectores en Riohacha donde, a pesar de contar con cobertura parcial de agua potable, no existen redes adecuadas de recolección de aguas residuales, lo que ha dado lugar al uso de pozos sépticos artesanales, vertimientos directos al suelo o al uso de fosas que comprometen la salud pública, contaminan los cuerpos de agua cercanos y deterioran la calidad de vida de sus habitantes. (Alcaldía de Riohacha, 2024)

El barrio Villa Fátima, ubicado en el área urbana del municipio de Riohacha, departamento de La Guajira, (ver figura 1), representa uno de los tantos sectores que, a pesar de estar en zona urbana consolidada, no cuenta con un sistema formal de recolección de aguas residuales. Esta carencia de infraestructura de saneamiento básico ha generado múltiples afectaciones a la calidad de vida de sus habitantes, exacerbando condiciones de insalubridad, contaminación ambiental y riesgo sanitario.

Adicionalmente, Se identifica a Villa Fátima como una zona con amenaza muy alta de inundación debido al aumento proyectado del nivel del mar (ANM). Esta situación afecta áreas con alto potencial de desarrollo turístico (Alcaldía de Riohacha, 2024).

Figura 2. Localización Barrio Villa Fátima



Fuente. (Google, 2021)

En la actualidad, los residentes de Villa Fátima recurren a soluciones individuales precarias, como pozos sépticos rudimentarios, cámaras de inspección improvisadas, y en algunos casos, vertimientos directos al suelo o a canales naturales, lo cual constituye una práctica ambientalmente insostenible y contraria a los principios de salud pública. Esta situación se agrava durante la temporada de lluvias, cuando las aguas residuales se mezclan con las aguas lluvias, provocando reboses, malos olores, proliferación de vectores y enfermedades de origen hídrico, como infecciones gastrointestinales y dermatológicas, tal y como lo menciona el informe del ministerio de vivienda ciudad y territorio en su programa de agua potable y saneamiento para La Guajira:

De acuerdo con el Plan de Desarrollo de Riohacha-2016 la salud pública se ve afectada por la dificultad de acceso a los servicios públicos, donde el agua no es apta para el consumo humano, las redes acueducto y alcantarillado son insuficientes para atender la población y la disposición de las basuras a cielo abierto genera contaminación del aire y

de los cuerpos de agua superficiales o subterráneas, trayendo consigo infecciones respiratorias, hepatitis, enfermedades diarreicas, entre otras. (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2019, p. 138)

La ausencia de una red de alcantarillado adecuada no solo afecta la salud de la comunidad, sino que también limita el desarrollo urbanístico del sector y reduce el valor del suelo y las viviendas. Además, las soluciones convencionales que podrían aplicarse en otras zonas urbanas de la ciudad resultan poco viables en Villa Fátima debido así como gran parte de Riohacha debido a su topografía plana, lo cual ha hecho a esta zona muy susceptible a inundaciones en la temporada invernal (Universidad de la Guajira, 2024). Estas condiciones encarecen y dificultan la implementación de un sistema de alcantarillado convencional por gravedad.

Además de la ausencia de un sistema de alcantarillado sanitario, el barrio Villa Fátima enfrenta de manera recurrente una problemática crítica durante la temporada de lluvias: las inundaciones. Cada año, entre los meses de abril y noviembre, las precipitaciones generan acumulaciones de agua en calles y viviendas, debido a la falta de drenaje pluvial, el colapso de canales improvisados y la impermeabilidad del suelo urbano.

Figura 3. *Inundaciones en el barrio Villa Fátima.*



Fuente. (Jhonny perez montiel, 2024)

Estas inundaciones no solo interrumpen la movilidad de los residentes, sino que también generan mezclas peligrosas entre aguas lluvias y aguas residuales, provenientes de sistemas sépticos colapsados o rebosados. Esta situación representa un grave riesgo sanitario para la comunidad, incrementando la exposición a vectores como mosquitos, los cuales contribuyen al aumento de enfermedades como el dengue. (Benitez Diaz, 2017).

Según el Instituto Nacional de Salud, Riohacha registró 435 casos de dengue durante 2025, con una incidencia de 207,6 casos por cada 100.000 habitantes, evidenciando condiciones favorables para la proliferación del vector. (Instituto Nacional de Salud, 2025)

Adicionalmente, reporte nacional del Instituto Nacional de Salud indica que La Guajira fue uno de los departamentos con mayor incremento porcentual de casos de dengue en Colombia durante 2025. (Asociacion Colombiana de Informatica, Sistemas y Tecnologias a Fines, 2025)

A lo anterior se suma la inexistencia de un sistema integral de gestión del agua en el sector, lo cual limita la capacidad institucional para responder de forma oportuna a las emergencias. En este sentido, las inundaciones recurrentes han dejado de ser eventos excepcionales para convertirse en una problemática estructural, que requiere ser abordada con soluciones técnicas sostenibles y coherentes con las condiciones del entorno. (Tuu Putchika la palabra, 2023).

Figura 4. *Inundaciones recurrentes en el barrio Villa Fátima*



Fuente. (Tuu Putchika la palabra, 2023)

Ante este panorama, surge la necesidad de evaluar y proponer tecnologías alternativas de saneamiento, que sean viables técnica, económica y ambientalmente. El sistema de alcantarillado por vacío, ya implementado exitosamente en otros países con condiciones similares (tal y como se analizarán en la sección de antecedentes), representa una solución potencialmente adecuada, al permitir la instalación de redes a poca profundidad, con alta estanqueidad, bajo impacto ambiental y adaptabilidad a topografías desfavorables.

No obstante, en Colombia y particularmente en La Guajira, existe un desconocimiento generalizado sobre este tipo de tecnología, y aún no se ha desarrollado un análisis técnico riguroso que permita considerarla como una alternativa real dentro de los planes maestros de saneamiento. Por ello, se hace necesario formular propuestas técnicas como las que se comenzaron a realizar en algunas zonas costeras del país como el caso del municipio de Turbo en el departamento de Antioquia, en el cual, la empresa EPM ha iniciado a contemplar este tipo de sistema de alcantarillado para solucionar los problemas de saneamiento básico en estas regiones. (Aguas Regionales EPM, 2021)

Ante esta problemática presente en esta región del país, y su posible solución, surge la siguiente pregunta: ¿es más viable desde un punto de vista técnico, económico y ambiental la implementación de un sistema de alcantarillado por vacío frente un sistema convencional?

Para poder corroborar que el sistema por vacío sea la mejor opción en cuanto a su, se presentara inicialmente un diseño para un sistema de alcantarillado convencional, en el cual podamos realizar la comparativa frente a un diseño de alcantarillado por vacío que se diseñara bajo los parámetros normativos internacionales que rigen estos sistemas. Finalmente determinaremos las diferencias en tiempos, costo y garantía del servicio.

Justificación

La presente investigación se justifica desde tres dimensiones fundamentales: técnica, económica y ambiental, además de su aporte académico al sector de saneamiento en Colombia. Esta evaluación se realiza considerando las características geográficas y geotécnicas del territorio, los costos asociados a la instalación y operación de la infraestructura, y los potenciales beneficios ambientales derivados de su aplicación en un contexto urbano costero.

Desde el punto de vista técnico, las condiciones físicas del distrito de Riohacha, especialmente su topografía plana y nivel freático alto, generan restricciones importantes para el diseño y operación eficiente de sistemas de alcantarillado convencional por gravedad. (Montes Amaya, Isabel, & Gomez, 2024). Estas condiciones incrementan la profundidad de excavación, los costos asociados a entibados, el riesgo de infiltración de aguas subterráneas y la necesidad de estaciones de bombeo intermedias. Evaluar un sistema alternativo que opere bajo principios de presión negativa permite determinar si es posible optimizar el diseño hidráulico y reducir dichas limitaciones constructivas.

Estudios como el realizado por (Bhadra & Moss, 2011) , el cual lleva como título “Vacuum Sewers – A Viable Alternative for Wastewater Collection and Transport

in Coastal Areas” muestran como evidencia que los sistemas por gravedad suelen ser la primera opción, pero en zonas costeras enfrentan obstáculos críticos que el vacío logra superar, tales como los terrenos planos ya que el sistema de vacío no depende de la pendiente natural, utilizando presión diferencial para mover los residuos. Así mismo, permite la instalación de tuberías en zanjas estrechas y poco profundas evitando costosas excavaciones y drenajes de zanjas, lo que puede reducir los costos de inversión hasta en un 50%. (Bhadra & Moss, 2011)

En el ámbito económico, el proyecto que se viene ejecutando actualmente mediante el proceso contractual LP-010-2022 evidencia una inversión significativa en excavaciones, tuberías de gran diámetro y obras complementarias. La comparación con un sistema por vacío permite cuantificar posibles reducciones en costos de excavación, disminución de diámetros, reducción de interferencias con redes existentes y simplificación del esquema de bombeo. Esta evaluación resulta relevante para municipios con restricciones presupuestales y necesidades urgentes de ampliación de cobertura en saneamiento básico.

Desde la perspectiva ambiental, la hermeticidad de los sistemas por vacío reduce los riesgos de infiltración y exfiltración, minimizando la contaminación del subsuelo y cuerpos de agua costeros. En una ciudad como Riohacha, ubicada en un entorno marino sensible y con acuíferos poco profundos, este aspecto adquiere especial relevancia para la protección de recursos hídricos.

Adicionalmente, esta investigación tiene un valor académico y estratégico, dado que en Colombia no existen experiencias ejecutadas de alcantarillado por vacío ni estudios comparativos aplicados a contextos urbanos específicos. El presente trabajo constituye un referente técnico preliminar que puede servir como base para futuras evaluaciones normativas, actualización de planes maestros de alcantarillado y diversificación tecnológica en el país.

En consecuencia, el estudio no solo propone una alternativa de diseño para el barrio Villa Fátima, sino que aporta insumos técnicos que pueden ampliar el marco de análisis del saneamiento básico en territorios con limitaciones geotécnicas similares.

Objetivo General

Diseñar y evaluar un sistema de alcantarillado por vacío como alternativa técnica, ambiental y económicamente viable frente a un sistema de alcantarillado sanitario convencional, aplicado al barrio Villa Fátima, distrito de Riohacha, departamento de La Guajira.

Objetivos específicos

1. Diseñar un sistema piloto de alcantarillado por vacío para el barrio Villa Fátima, ubicado en el área urbana del distrito de Riohacha, departamento de La Guajira, considerando las condiciones topográficas, geotécnicas y urbanísticas del sector.
2. Comparar técnica, económica y ambientalmente el sistema de alcantarillado por vacío y el sistema de alcantarillado convencional, mediante la evaluación de costos de inversión y operación, requerimientos de infraestructura y potenciales impactos ambientales asociados a su implementación.
3. Analizar la viabilidad de adaptación del sistema de alcantarillado por vacío al contexto colombiano, considerando aspectos normativos, técnicos y operativos que puedan influir en su implementación

Antecedentes

Los antecedentes que se presentan a continuación tienen como propósito evidenciar la adaptabilidad del sistema de alcantarillado por vacío en contextos urbanos con condiciones geográficas, topográficas y ambientales adversas. Asimismo, se analizan las problemáticas específicas que fueron solucionadas mediante la implementación de esta tecnología, con el fin de establecer paralelos técnicos con las condiciones existentes en Colombia y, particularmente, en el distrito de Riohacha. De esta manera, los casos estudiados permiten evaluar el sistema de alcantarillado por vacío como una alternativa viable frente a los sistemas convencionales por gravedad. Así mismo, se pretende evidenciar que este sistema se ha implementado en más de 20 países (*Alcantarillado Por Vacío | Sewervac*, n.d.), de los cuales se mencionaran algunos casos de estudio distribuidos por el mundo, tal y como se apreciara en la figura 4.

Figura 5. Casos de estudio de alcantarillado por vacío al rededor del mundo



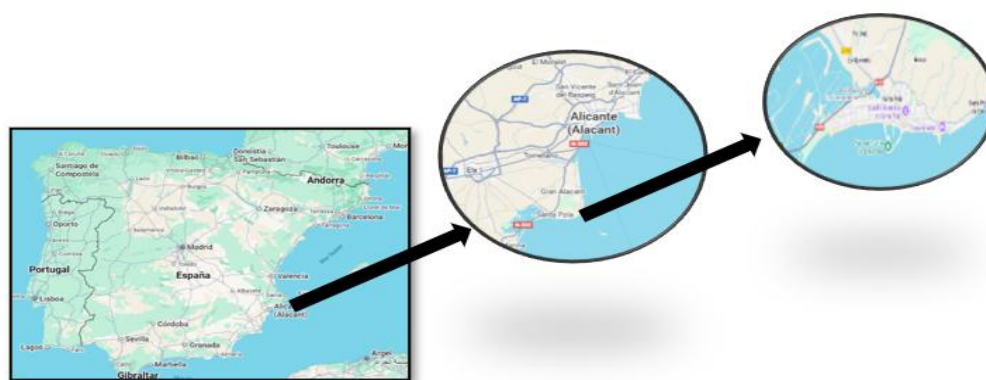
Fuente. Elaboración Propia

Panorama internacional

Santa Pola, España

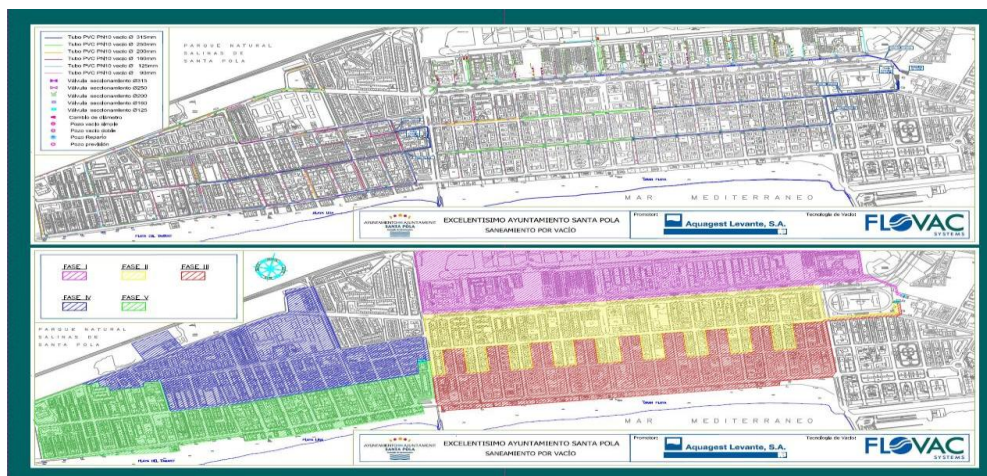
En el municipio de Santa Pola, ubicado en la provincia de Alicante, España. (Flovac, 2021) implementó un sistema de alcantarillado sanitario por vacío en la zona residencial de Gran Alacant, como respuesta a las limitaciones técnicas y económicas asociadas a los sistemas convencionales de recolección de aguas residuales.

Figura 6. Localización de Santa Pola, España



Fuente. (Google, 2021)

Figura 7. Detalle en planta de la red de alcantarillado por vacío de Santa Pola



Fuente. (FLOVAC, 2014)

Objetivo Clave

El objetivo principal de este proyecto fue mejorar la calidad de las aguas residuales que llegan a la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Santa Pola, reduciendo drásticamente los niveles de salinidad para no afectar el rendimiento del reactor biológico. Asimismo, se buscó ofrecer un servicio de saneamiento eficiente y de alta calidad en zonas con dificultades topográficas y técnicas extremas. (Navarro Brotóns, 2014).

Problemática a Resolver

El proyecto pretendía solucionar el colapso y la ineficiencia del sistema convencional por gravedad existente. Los colectores antiguos sufrían constantes infiltraciones de agua salada debido a que el nivel freático en la zona se encuentra a menos de un metro de profundidad, en terrenos ganados a antiguos saladares

. Esta situación provocaba una alta salinidad en la EDAR, degradando los procesos de depuración, además de enfrentar problemas de inestabilidad en el subsuelo y desgaste de materiales por sulfatos. (Navarro Brotóns, 2014)

Resultados Obtenidos

La implementación, catalogada como el mayor proyecto de saneamiento por vacío en Europa, logró eliminar las infiltraciones de agua freática y mejorar el proceso de evacuación de aguas residuales. (Aguas residuales, 2016)

Los resultados incluyen la supresión de malos olores y obstrucciones frecuentes, una reducción significativa en los volúmenes de movimiento de tierras durante la construcción y una mayor protección del medio ambiente en zonas costeras sensibles.

.

Falencias y Aspectos a Corregir

Aunque el sistema es altamente eficiente, las fuentes identifican ciertas limitaciones y puntos críticos de mantenimiento como válvulas de vacío que pueden atascarse en posición abierta, lo que requiere procedimientos específicos de localización y personal capacitado para su corrección inmediata. El control mecánico exige un mantenimiento riguroso de piezas y sellos desgastados para evitar caídas de presión en la red. (Navarro Brotóns, 2014)

Si bien el sistema es estanco, pueden ocurrir olores cerca de la estación de vacío, lo que en ocasiones obliga a la instalación adicional de biofiltros.

A diferencia de la red, la estación central requiere energía eléctrica continua para mantener el vacío, lo que exige contar con grupos electrógenos de respaldo para evitar paradas del servicio. (Flovac, 2021)

Figura 8 característica y logros

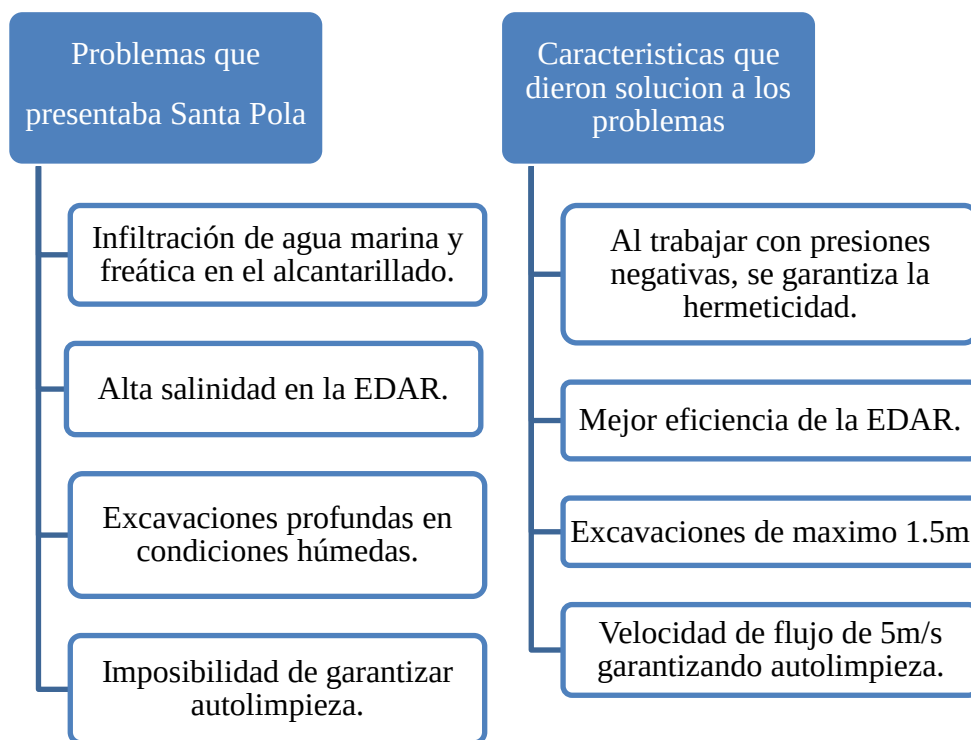


Figura 9. Elementos principales del alcantarillado por vacío



Instalación de red de alcantarillado por vacío.



Válvula de vacío



Tanques de vacío

Nota. Los tanques de vacío se encargan de la recolección de aguas residuales para su posterior Bombeo hacia la PTAR. Fuente (FLOVAC, 2014)

Lubelski, Polonia

Según (Zapasa, Musz-Pomorska, Gołębiowska, & Konrad Widomski, 2022), este proyecto de estudio de caso se llevó a cabo en la comuna de Mełgiew. Esta comunidad se encuentra localizada en la región del sureste (SE) de Polonia, específicamente en el voivodato de Lubelskie. (figura 9).

Objetivo Clave

El objetivo principal de la investigación fue realizar un análisis de variantes sobre la sostenibilidad financiera, ambiental y social de tres sistemas de alcantarillado sanitario propuestos para una zona rural del este de Polonia. El estudio buscó aplicar un modelo de suma ponderada (WSM) para integrar indicadores técnicos y socioeconómicos, permitiendo identificar el diseño más adecuado tanto para los inversores como para la población local.

Figura 10. Localización de la región de Lubelski, Polonia



Fuente. Google Maps

Problemática a Resolver

Se pretendía mitigar la amenaza al medio ambiente y a la salud pública derivada de sistemas de saneamiento subdesarrollados. En las zonas rurales de Polonia, solo el 41,3% de los residentes tiene acceso a redes centralizadas, lo que obliga al uso masivo de tanques sépticos sin sellado controlado que contaminan las aguas subterráneas con nitratos y otros compuestos.

(Zapasa, Musz-Pomorska, Gołębiowska, & Konrad Widomski, 2022)

El reto consistía en diseñar una solución para asentamientos de baja densidad poblacional, topografía variable y volúmenes limitados de aguas residuales, donde los sistemas convencionales suelen ser técnica o económicamente inviables.

Resultados Obtenidos

El alcantarillado al vacío (Variante I) fue seleccionado como el diseño más apropiado, obteniendo la puntuación más alta en el modelo WSM (2,6 puntos) frente a las otras alternativas. Los resultados destacaron que esta tecnología presentó el menor costo de generación dinámica entre los sistemas centralizados (2,70 Euro/m³) y la mayor eficacia en la limitación de impactos ambientales, específicamente en el control de olores y la prevención de infiltraciones y exfiltraciones.

Iquitos, Perú

Objetivo Clave

El objetivo primordial fue establecer la influencia y viabilidad de un sistema de alcantarillado al vacío para prevenir la contaminación ambiental causada por la descarga directa de aguas residuales al río Itaya. Asimismo, se buscó evaluar técnica y económicamente este sistema como una alternativa superior a los métodos convencionales para mejorar la calidad de vida y los procesos de inversión pública en la región (Acruta Sanchez, 2020)

Problemática a Resolver

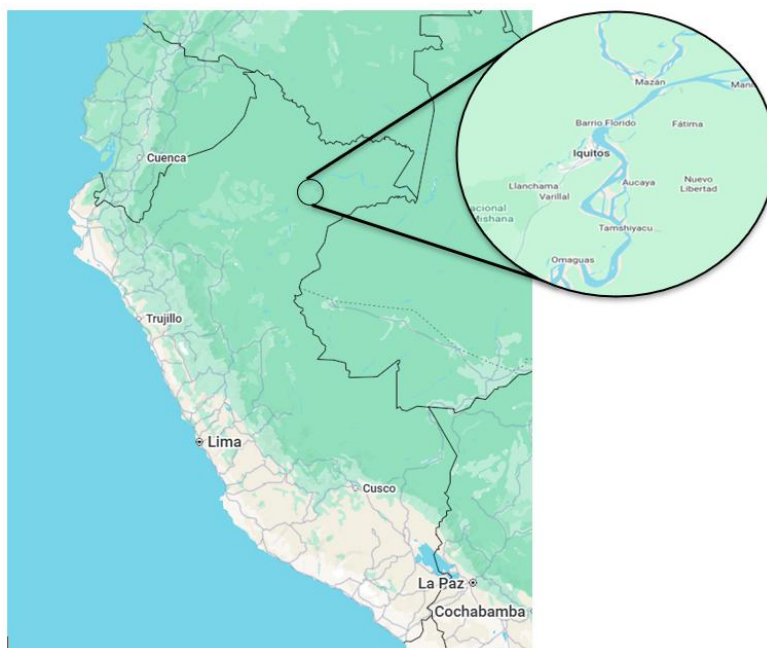
Según la investigación realizada por Alfredo Acruta Sánchez. Este proyecto pretendía solucionar la crítica contaminación hídrica y del suelo en la zona inundable de Belén, donde el alcantarillado por gravedad es inoperante debido a que el área permanece inundada seis meses al año. Esta situación genera un foco infeccioso permanente, malos olores y una alta incidencia de

enfermedades gastrointestinales y dérmicas en la población, especialmente en niños, quienes utilizan el río contaminado para higiene y recreación. (Acruta Sanchez, 2020)

Resultados Obtenidos

Se demostró que el sistema al vacío influye significativamente en la prevención de la contaminación y en la reducción de enfermedades de origen hídrico. Técnicamente, se validó como la mejor solución sostenible para zonas con nivel freático alto. Económicamente, aunque la inversión inicial puede ser competitiva, el sistema reduce drásticamente el movimiento de tierras y los costos de obra civil en terrenos dificultosos.

Figura 11. *Localización de Iquitos, Perú*



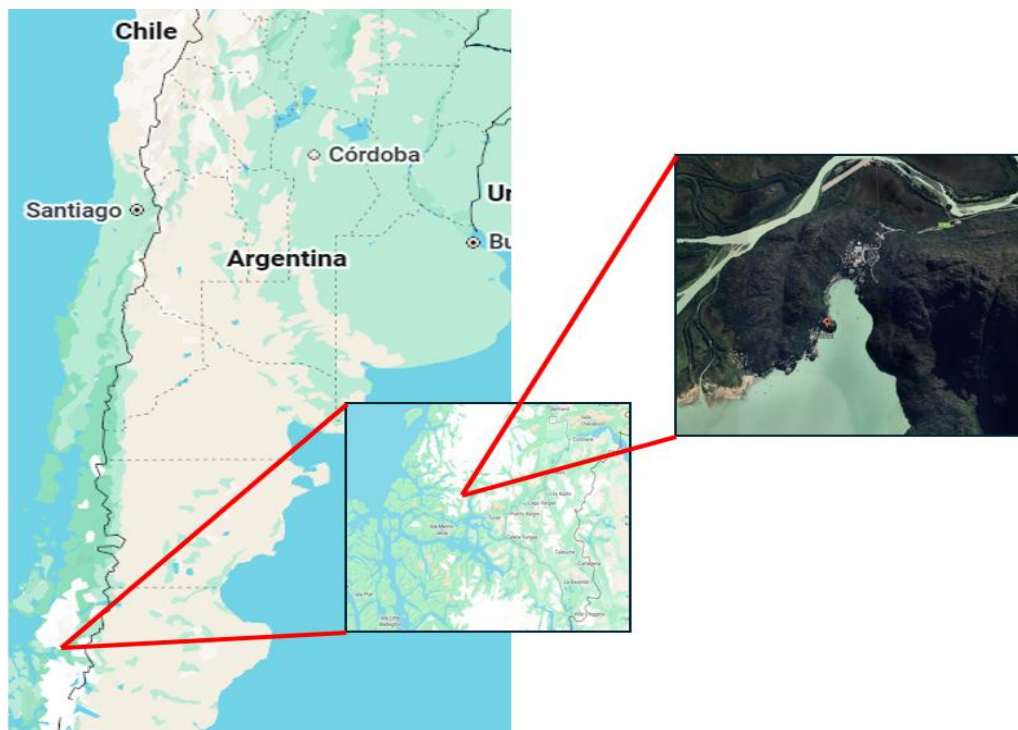
Fuente. Google Maps

Caleta Tortel, Chile

Caleta Tortel es una comuna y pueblo austral en la Región de Aysén, Chile. Está declarado zona típica por su singular diseño urbano la cual presenta ausencia de calles y su

circulación peatonal se da únicamente por pasarelas de madera construidas sobre el terreno rocoso y sobre pilotes, conectadas con escaleras y muelles.

Figura 12. Localización Caleta Tortel, Chile



Fuente. (Google, 2021)

Por las condiciones topográficas extremas, debido a que el pueblo está asentado sobre rocas y pendientes complejas justo al borde del mar, no era viable construir un sistema de alcantarillado convencional por gravedad con zanjas profundas o tuberías enterradas.

Asimismo, la carencia de un sistema saneamiento integral provocaba que parte de las aguas servidas se vertieran directamente al mar, representando un riesgo ambiental y sanitario.

Se optó por implementar un sistema de alcantarillado por vacío, importado tecnológicamente desde Estados Unidos y adaptado a las pasarelas y estructuras de Caleta Tortel.

La tecnología de vacío utiliza tuberías de pequeño diámetro y presión negativa para transportar aguas servidas hasta una planta de tratamiento, en vez de emplear gravedad como en los sistemas convencionales.

El proyecto incluía la construcción de una red de colectores, cámaras receptores, estación recolectora y una planta de tratamiento de aguas servidas.

Figura 13. *Tubería de vacío instalada debajo de pasarelas de madera.*



Fuente. (AIRVAC, 2020)

Figura 14. Tuberías y cámaras de vacío instaladas sobre la superficie



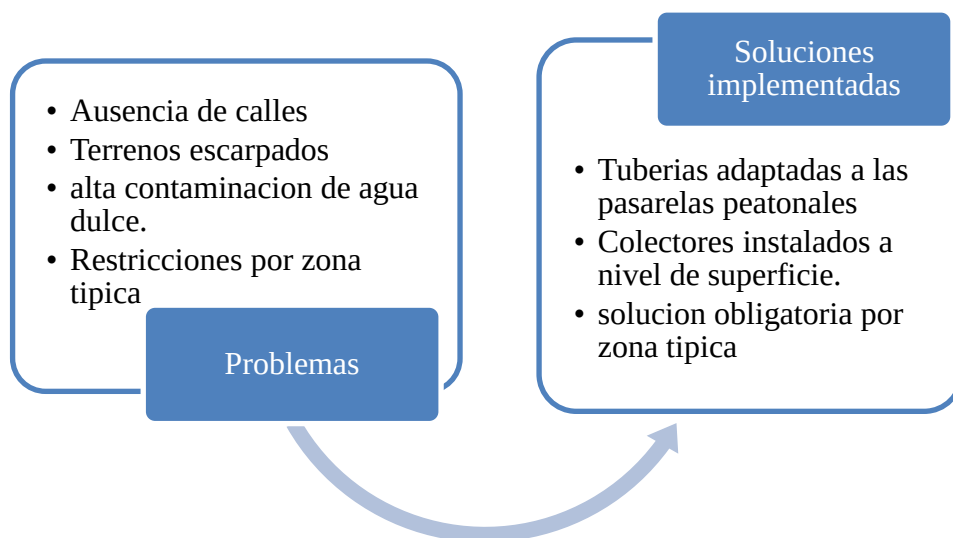
Nota. Se puede observar la elevación de la tubería en forma de diente de sierra, lo que le permite adaptarse a todo tipo de terreno. Fuente. (AIRVAC, 2020)

Video 1. *Proceso de instalación de red de vacío en la comunidad de Caleta Tortel, Chile.*



Nota. Link del video: <https://www.airvac.com/en/case-studies>. Fuente. (AIRVAC, 2020)

Figura 15 Problemas vs Implementadas



Santos, Brasil

La ciudad de Santos, ubicada en el estado de São Paulo, Brasil, presenta condiciones particularmente desfavorables para la implementación de sistemas de alcantarillado por gravedad, tales como topografía plana, nivel freático elevado influenciado por las mareas, suelos saturados de baja capacidad portante y alta densidad urbana en zonas consolidadas

Figura 16. Localización Santos, Brasil



Fuente. (Google, 2021)

Desde el punto de vista físico y ambiental, Santos presenta condiciones particularmente desfavorables para la implementación de sistemas convencionales de alcantarillado, como lo es una topografía predominantemente plana, con cotas cercanas al nivel del mar, nivel freático muy elevado, influenciado por la marea y la cercanía al océano, suelos saturados y de baja capacidad portante, con alta presencia de agua subterránea, alta densidad urbana, especialmente en barrios consolidados y zonas costeras.

Estas condiciones han generado históricamente graves dificultades para el funcionamiento del alcantarillado por gravedad, especialmente en términos de infiltraciones, exfiltraciones y mantenimiento.

Características técnicas

Ante las limitaciones del sistema tradicional, la empresa operadora de saneamiento optó por implementar sistemas de alcantarillado por vacío en sectores específicos de la ciudad, particularmente en áreas críticas desde el punto de vista hidráulico y ambiental.

Las principales características técnicas del sistema implementado son:

- Sistema de alcantarillado por vacío de tipo separativo, destinado exclusivamente a la recolección de aguas residuales domésticas.
- Uso de tuberías de pequeño diámetro, generalmente entre 90 y 200 mm, fabricadas en materiales plásticos de alta resistencia y total estanqueidad.
- Instalación de cámaras de interfaz con válvulas de vacío, que permiten la descarga intermitente de las aguas residuales hacia la red sin consumo energético en cada punto.

- Transporte de las aguas mediante presión negativa, generada en una estación central de vacío.

La adopción del alcantarillado por vacío en Santos permitió resolver múltiples problemáticas estructurales que afectaban al sistema sanitario tradicional como el control de infiltraciones y exfiltraciones. Adicionalmente, El sistema por vacío, al ser totalmente estanco, eliminó la entrada de agua salada, la cual perjudicaba el óptimo tratamiento de las aguas residuales.

Al operar bajo presión negativa, cualquier falla en la red tiende a provocar entrada de aire en lugar de salida de aguas residuales, evitando la contaminación del subsuelo y de los cuerpos de agua cercanos. Este aspecto fue clave en una ciudad costera con alta sensibilidad ambiental.

La experiencia de la ciudad de Santos, Brasil, evidencia que el alcantarillado por vacío se ha consolidado como una solución técnica eficaz en contextos costeros latinoamericanos con nivel freático elevado y restricciones constructivas severas. Este antecedente refuerza la necesidad de que Colombia avance hacia la adopción de sistemas de saneamiento alternativos, superando la dependencia exclusiva del alcantarillado por gravedad.

Valdivia, Chile

Como parte de los antecedentes se reconoce la tesis de grado realizada por (Gallardo Moreira, 2011), en la cual se puede detallar un símil en los objetivos alcanzados por la tesis presentada en la ciudad de Valdivia y la presente tesis.

Objetivo Clave

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la implementación de un sistema de recolección de aguas servidas al vacío como una alternativa tecnológica más sustentable y

técnicamente viable en comparación con el sistema de alcantarillado gravitacional convencional utilizado en Chile.

Problemática a Resolver

El estudio pretendía solucionar las dificultades técnicas y los altos costos operativos asociados a la instalación de alcantarillado por gravedad en terrenos con condiciones geofísicas adversas. Específicamente, en el proyecto "Ribera del Calle-Calle", el terreno es de carácter arenoso y presenta un alto nivel freático (napas subterráneas localizadas entre 1,3 y 2,2 metros de profundidad), lo que provoca inestabilidad en las excavaciones profundas, necesidad de bombeo constante (agotamiento de napas) y riesgos de filtraciones u olores desagradables.

Resultados Obtenidos

El sistema de vacío permite una ejecución significativamente más rápida, estimándose un tiempo de 6 meses frente a los 18 meses que requiere el sistema tradicional bajo las mismas condiciones de suelo. Aunque el costo de mano de obra y maquinaria es menor debido a las zanjales poco profundas, la inversión inicial total fue un 33,65% superior al sistema gravitacional. Esto se debe a que la tecnología es nueva en Chile y requiere la importación de componentes desde Europa o Estados Unidos.

Se logró la eliminación total de olores y filtraciones por aguas lluvias o napas, además de reducir el diámetro de los colectores y el número de estaciones elevadoras necesarias.

Falencias y aspectos a corregir

La red depende totalmente de la operatividad continua de la estación de vacío, lo que exige sistemas de respaldo (generadores) para evitar la interrupción del servicio.

Panorama nacional

Municipio de Turbo, departamento de Antioquia

En Colombia no existen antecedentes de sistemas de alcantarillado por vacío ejecutados; sin embargo, se identifica al menos una iniciativa conceptual promovida por Aguas Regionales EPM, divulgada en el video institucional “Manglar de Paz – Proyecto alcantarillado al vacío” (link del video: <https://www.youtube.com/watch?v=7qtP2zzWa5o&t=9s>). En este material se presenta el alcantarillado por vacío como una alternativa que soluciona la problemática técnica y ambiental que padece esta región donde sus viviendas son de tipo palafitos y así como vimos en la región de Caleta Tortel, esta zona no presenta calles sino pasarelas y caminos improvisados en madera.

El proyecto expuesto plantea un sistema con redes superficiales de pequeño diámetro, cámaras de interfaz y una estación central de vacío, con el objetivo de minimizar excavaciones profundas, reducir infiltraciones, evitar bombeos intermedios y disminuir impactos ambientales. Aunque no se evidencia que la iniciativa haya avanzado a fases de diseño detallado o ejecución, su sola formulación refleja el interés técnico de empresas colombianas del sector agua y saneamiento por evaluar tecnologías no convencionales. Este antecedente adquiere relevancia en el contexto nacional, donde amplias regiones carecen de alcantarillado y presentan condiciones físicas que hacen técnica y económicamente inviable el sistema convencional, lo que evidencia la necesidad urgente de incorporar alternativas como el alcantarillado por vacío dentro del análisis y planeación del saneamiento básico en Colombia.

Diversos estudios técnicos han documentado la aplicabilidad de los sistemas de alcantarillado por vacío en contextos donde las condiciones topográficas y geotécnicas limitan la

eficiencia de los sistemas convencionales por gravedad. Según Crites y Tchobanoglous (1998), los sistemas de vacío constituyen una alternativa viable para zonas con baja pendiente natural, nivel freático elevado y desarrollos urbanos dispersos, debido a que operan mediante presión negativa controlada, lo que permite la instalación de tuberías a poca profundidad y reduce significativamente los riesgos de infiltración y exfiltración. Estos autores destacan que la hermeticidad del sistema minimiza la entrada de aguas subterráneas, mejora el control hidráulico y reduce la necesidad de estaciones de bombeo intermedias, lo que representa ventajas técnicas y económicas en comparación con los sistemas tradicionales por gravedad.

Marco conceptual

El presente trabajo se tiene como enfoque principal la búsqueda de soluciones técnicas eficientes para el saneamiento básico en territorios con condiciones físicas desfavorables, en las cuales, las metodologías convencionales para el control de aguas residuales no son suficientes. Tal es el caso de la ciudad de Riohacha, Colombia. Para ello, es necesario comprender los conceptos fundamentales que sustentan el sistema de alcantarillado por vacío y su relación con variables técnicas, sociales y ambientales.

Alcantarillado por vacío

Es un sistema de recolección de aguas residuales que utiliza presión negativa (vacío) para transportar las aguas servidas desde los puntos de uso hasta una estación central de recolección. A diferencia del alcantarillado convencional por gravedad, este sistema permite reducir la profundidad de excavación y es especialmente útil en zonas con terreno plano o nivel freático alto. Bien lo dice la empresa Flovac, “El sistema de alcantarillado por vacío es una solución

innovadora para áreas donde el sistema convencional por gravedad presenta altos costos constructivos o dificultades técnicas” (Flovac - Sistema de Alcantarillado Por Vacío, n.d.)

Eficiencia y sostenibilidad

El alcantarillado por vacío requiere menor volumen de agua para el arrastre, reduce fugas y protege las aguas subterráneas, contribuyendo a la sostenibilidad hídrica. Además, su operación y mantenimiento resultan más eficientes en comunidades pequeñas y medianas.

“Este sistema representa una solución técnica y sostenible, especialmente en zonas costeras y rurales” (Rodríguez, F., Flovac, 2020).

Nivel freático

Es la superficie superior del agua subterránea en el suelo. En zonas donde este nivel se encuentra a poca profundidad, la construcción de sistemas convencionales de alcantarillado por gravedad se vuelve compleja y costosa.

“El nivel freático elevado genera riesgos de infiltración y sobrecostos por desecación durante la excavación de zanjas profundas” (INEGI, 2020).

Saneamiento básico

Se entiende como el conjunto de servicios e instalaciones destinadas a la gestión segura del agua potable, aguas residuales y residuos sólidos, con el fin de proteger la salud pública y el medio ambiente. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el saneamiento básico adecuado “previene enfermedades y promueve condiciones de vida dignas” (OMS, 2019).

Topografía y viabilidad técnica

En zonas como Riohacha, la topografía es mayormente plana y arenosa, lo que limita el uso de sistemas tradicionales de saneamiento. Estas condiciones aumentan la pertinencia del alcantarillado por vacío, debido a su capacidad para funcionar con pendientes mínimas y menor impacto en el subsuelo. “Los sistemas por vacío son viables en terrenos con escasa pendiente, suelos inestables o con interferencias subterráneas” (Tecnoaqua, 2017).

Teoría y funcionamiento de un sistema de alcantarillado por vacío

Antes de realizar el diseño más factible de un sistema de alcantarillado por vacío para el barrio Villa Fátima, se expondrán los conceptos y principios que rigen este sistema, con el fin de relacionarlos e implementarlos en nuestro diseño final.

Principio de funcionamiento

El sistema se basa en mantener las tuberías de recolección a una presión inferior a la atmosférica, generalmente entre -0,25 y -0,8 bar. El funcionamiento puede resumirse en tres etapas:

Recolección en cámaras de vacío:

Las aguas residuales de una o varias viviendas llegan a una cámara de recolección subterránea. Dentro de esta cámara existe una válvula de vacío que normalmente permanece cerrada. Cuando el nivel de aguas residuales en la cámara alcanza un punto determinado, la válvula se abre automáticamente.

Succión y transporte

La diferencia de presión entre la cámara y la tubería principal provoca que el líquido sea aspirado rápidamente hacia la red de vacío, junto con una pequeña cantidad de aire. El agua

residual, impulsada por el flujo de aire, se mueve a gran velocidad a través de la red (entre 4 y 6 m/s).

Almacenamiento temporal e impulsión hacia PTAR

Todo el caudal llega a la estación central de vacío, donde es almacenado temporalmente y luego bombeado hacia el sistema de tratamiento o disposición final.

Componentes principales

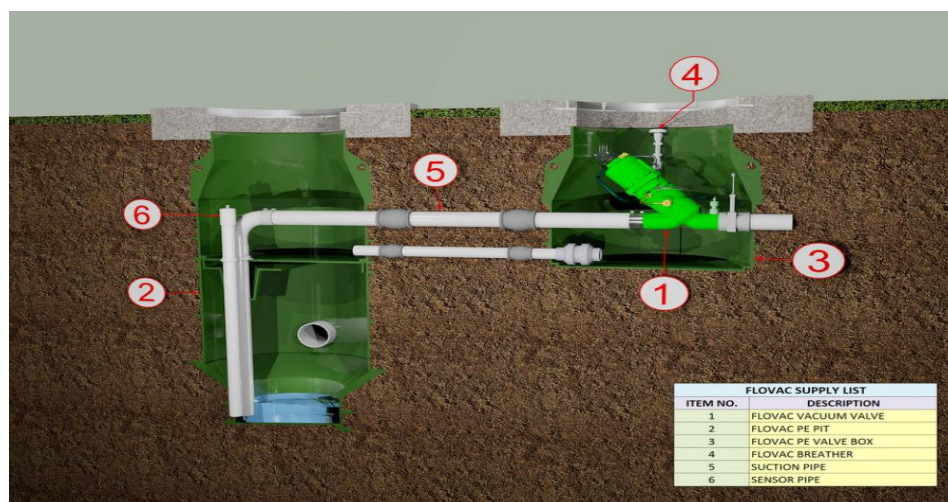
Cámaras de recolección y válvulas de vacío

Enterradas cerca de las viviendas o en puntos estratégicos de la red.

Atienden normalmente entre 2 y 4 viviendas.

Contienen una válvula automática (neumática o eléctrica) que controla la entrada de aguas residuales al sistema de vacío.

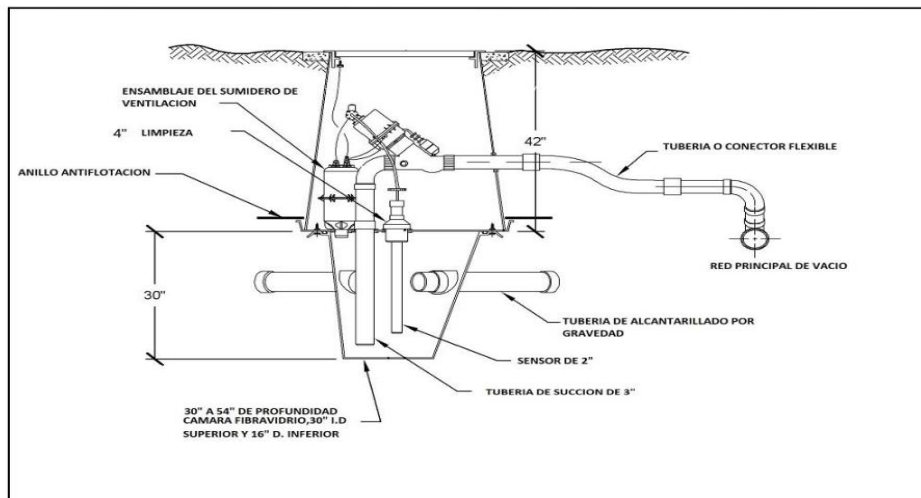
Figura 17. Pozo recolector y válvula de vacío



Fuente. (FLOVAC, 2014)

Esta válvula de vacío está diseñada para abrirse una vez la cámara de vacío tenga un nivel de aguas residuales previamente calculado. Por medio de un sensor de presión, la válvula se abre, permitiendo la succión por las diferencias de presión. Una vez que las aguas residuales son succionadas, la válvula seguirá abierta por 2 segundos mas con el fin de permitir la entrada de aire, la cual garantizará que la mezcla entrega agua y aire no deje residuos en la red, realizando una autolimpieza constante.

Figura 18. *Conexión de la cámara de vacío a la red principal*



Fuente. (AIRVAC, 2020)

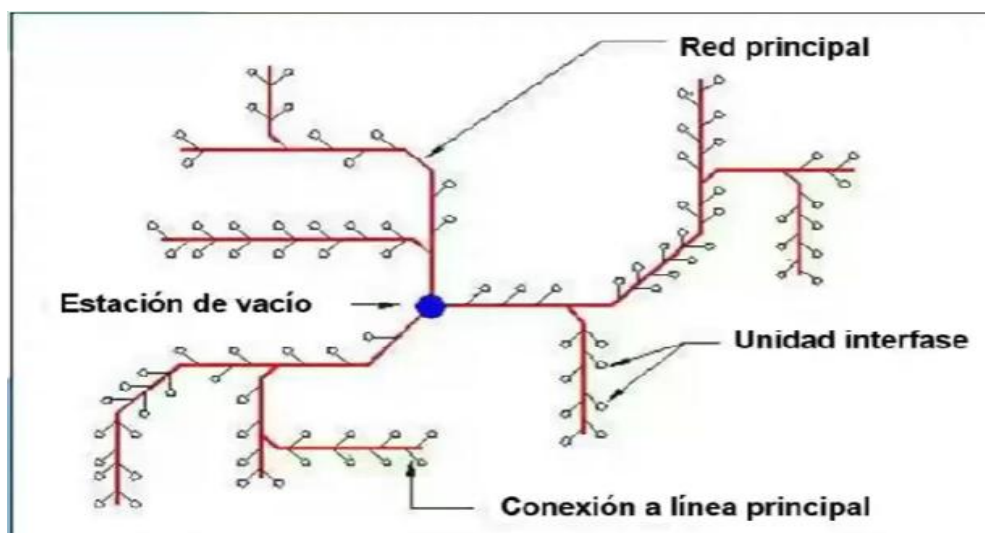
Red de tuberías de vacío

Fabricadas usualmente en PVC o PEAD. Estos sistemas presentan una eficiencia óptima para tuberías con diámetros entre 63 mm a 160 mm.

Se instalan a poca profundidad (0,8 m a 1,5 m), con un trazado en forma de perfil de diente de sierra para facilitar la mezcla aire-agua.

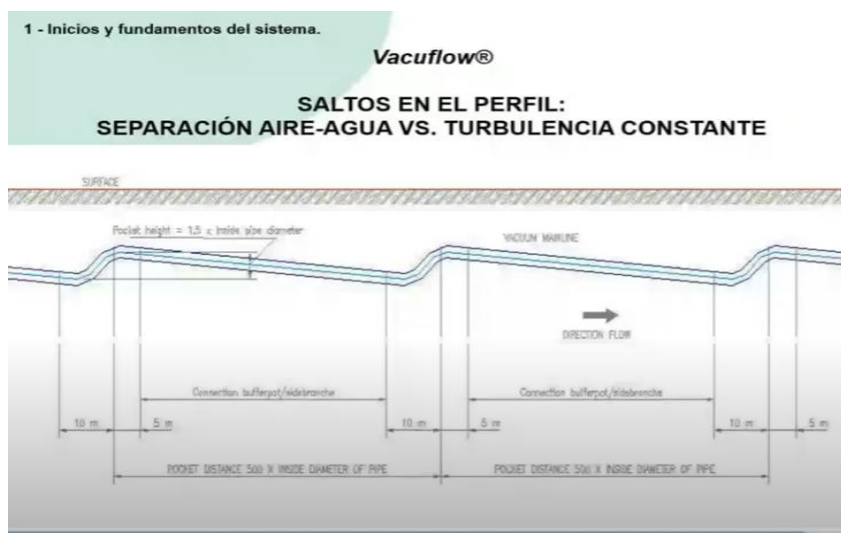
Totalmente herméticas para evitar infiltraciones y exfiltraciones.

Figura 19. Detalle en planta de una red de vacío



Nota. Se puede apreciar la centralidad que debe tener la estación de vacío para mejor eficiencia de las bombas de vacío. Fuente (FLOVAC, 2014)

Figura 20. Detalle en perfil de red de vacío



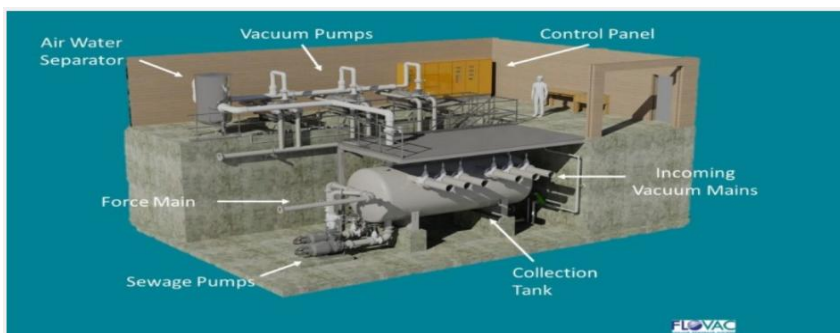
Fuente. (Viavac, s.f.)

Estación central de vacío

Alberga las bombas de vacío, tanque colector y el sistema de bombeo de descarga.

Mantiene la depresión en toda la red y envía el agua residual a la planta de tratamiento o al alcantarillado existente.

Figura 21. *Detalle de estación de vacío*

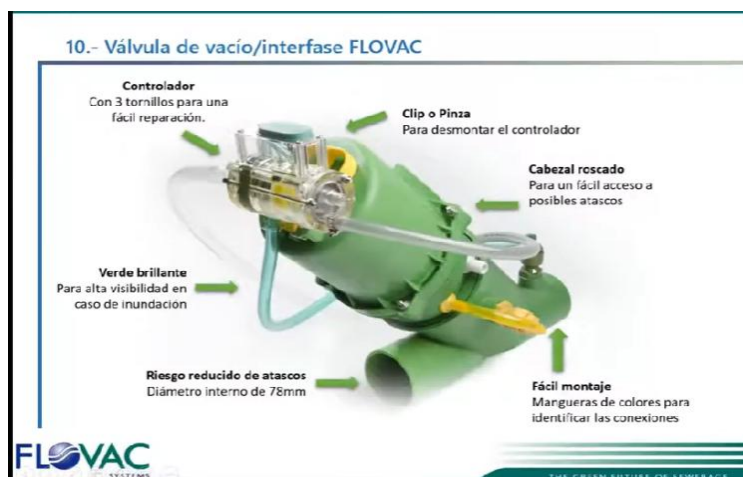


Fuente. (*Estación de Vacío Flovac: Componentes y Funcionamiento*, 2020)

d) Sistema de control y monitoreo

Permite supervisar la operación de las bombas, el estado de las válvulas y las condiciones de presión. Puede incluir alarmas y telemetría para mantenimiento preventivo.

Figura 22. *Válvula de vacío y sistema de control*



Fuente. (FLOVAC, 2014)

Funcionamiento del sistema por vacío

1. El proceso inicia una vez que se descarga alguno de los componentes sanitarios de los usuarios, bien sea inodoros, lavamanos o duchas. Todas estas descargas de aguas residuales domésticas se conducen, mediante tuberías internas, hasta la cámara de recolección. Este trayecto inicial es idéntico al de un sistema convencional, es decir que funciona por gravedad.
2. Una vez que las aguas residuales llegan a la cámara recolectora, las cuales normalmente se sitúan en la vía pública, sirve como punto intermedio entre las viviendas y la red de vacío. generalmente, cada cámara atiende entre 2 a 4 viviendas, lo que reduce la cantidad de pozos o registros frente al alcantarillado convencional. Cuando el nivel de aguas residuales en la cámara alcanza un volumen previamente calculado, la válvula se abre y a consecuencia de la diferencia de presión entre la cámara que se encuentra a presión atmosférica y la red a presión negativa, genera una succión rápida que arrastra las aguas residuales junto con una pequeña cantidad de aire. Esta mezcla aire-agua es fundamental para impulsar los líquidos a altas velocidades y evitar sedimentación.
3. Una vez dentro de la red, las aguas residuales viajan a través de tuberías herméticas, usualmente de 90 a 160 mm de diámetro.

Esta red tendrá una instalación siguiendo un trazado con perfil en forma de diente de sierra, que permite mantener siempre una película de líquido y garantizar el arrastre cuando entra aire nuevo. Adicionalmente garantizara una profundidad de instalación relativamente baja (entre 1.00 y 1.50m).

La velocidad de transporte suele estar entre 4 y 6 m/s, lo que evita obstrucciones y malos olores. Para determinar que la velocidad sea la necesaria para garantizar la autolimpieza e impida las obstrucciones, se han realizado diferentes pruebas en laboratorio, respaldadas por los fabricantes principales de las válvulas de vacío (*Prueba de Atasco de La Válvula Flovac - Flovac, n.d.*).

4. Posteriormente las aguas residuales llegan a la estación de bombeo. Allí confluyen todas las tuberías de vacío y es donde se origina la presión negativa por medio de las bombas de vacío. A medida que las aguas residuales llegan a la estación de vacío, se van depositando en un tanque de almacenamiento. Una vez que el tanque se llena, las aguas residuales son bombeadas hasta la planta de tratamiento o hasta una estación de bombeo.

Figura 23. Esquema general sistema de alcantarillado por vacío

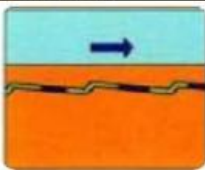
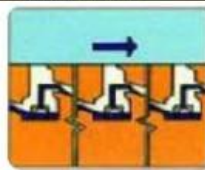
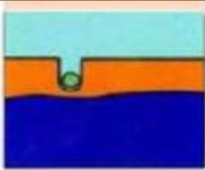
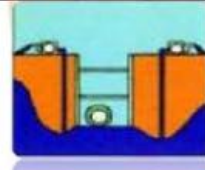
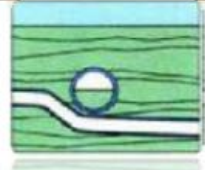
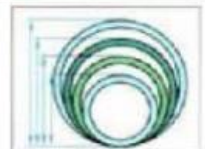


Fuente. (SewerVac, s.f.)

Comparativa de un sistema por vacío frente a un alcantarillado convencional

Con el propósito de reflejar las diferencias más relevantes entre los dos tipos de alcantarillados con sus principales ventajas y desventajas, se presenta la siguiente imagen:

Figura 24. Comparativa entre el alcantarillado por vacío y el alcantarillado convencional

ALCANTARILLADO POR VACÍO	ALCANTARILLADO CONVENCIONAL
No requiere de grandes profundidades 	Numerosas estaciones de bombeo 
No requiere de bombas de presión ni entibados 	Bombas de depresión y entibados 
Pequeños diámetros y excavaciones 	Excavaciones anchas y profundas 
Completamente Seguro. Estanqueidad garantizada 	Fugas pueden contaminar el entorno 
Flexibilidad de la tubería para atravesar obstáculos 	Costosos desvíos y adaptaciones al terreno para atravesar obstáculos 
Tuberías de PVC o HDPE de 90 mm a 315 mm 	Tuberías de 200 mm hasta 400 mm 

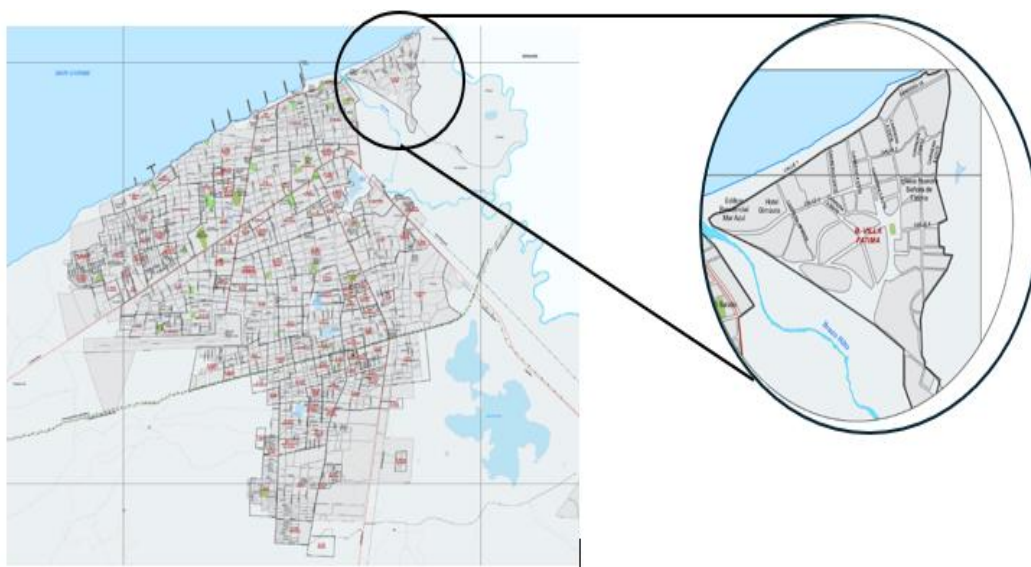
Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2013)

Marco geográfico

Ubicación y delimitación territorial

Riohacha es la capital del departamento de La Guajira, ubicada en la región Caribe de Colombia. Se sitúa en la desembocadura del río Ranchería, a orillas del mar Caribe, con coordenadas aproximadas de 11°32' N y 72°55' O. El municipio abarca una extensión de 491.383 hectáreas, lo que representa cerca de una cuarta parte del territorio departamental. De esta área, el 27% corresponde a zonas de resguardos indígenas, otro 27% al Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta y el 0,9% al Santuario de Fauna y Flora Los Flamencos.

Figura 25. Barrio Villa Fátima, Riohacha, La Guajira



Fuente. (Google, 2021)

Características físicas y ambientales

El terreno de Riohacha es predominantemente plano, con suelos arenosos y arcillosos, especialmente en las zonas costeras. Esta planicie limita la implementación de sistemas de alcantarillado por gravedad debido a la escasa pendiente natural.

La ciudad presenta un nivel freático alto, cercano a la superficie, lo que complica las excavaciones profundas necesarias para los sistemas tradicionales de alcantarillado y aumenta el riesgo de infiltraciones.

En su aspecto climatológico, Riohacha posee un clima semiárido cálido (clasificación BSh según Köppen), con una temperatura media anual de 28°C. Las precipitaciones son escasas y se concentran principalmente entre mayo y noviembre, influenciadas por los vientos alisios y la cercanía a la Sierra Nevada de Santa Marta.

En cuanto a su demografía, según estimaciones recientes, Riohacha cuenta con una población de aproximadamente 169.000 habitantes, distribuidos en la cabecera municipal, 14 corregimientos y 8 resguardos indígenas. (*Alcaldía Distrital de Riohacha*, n.d.)

La ciudad está dividida en 10 comunas, que agrupan diversos barrios y sectores. La expansión urbana ha sido influenciada por factores como el crecimiento poblacional y la migración interna.

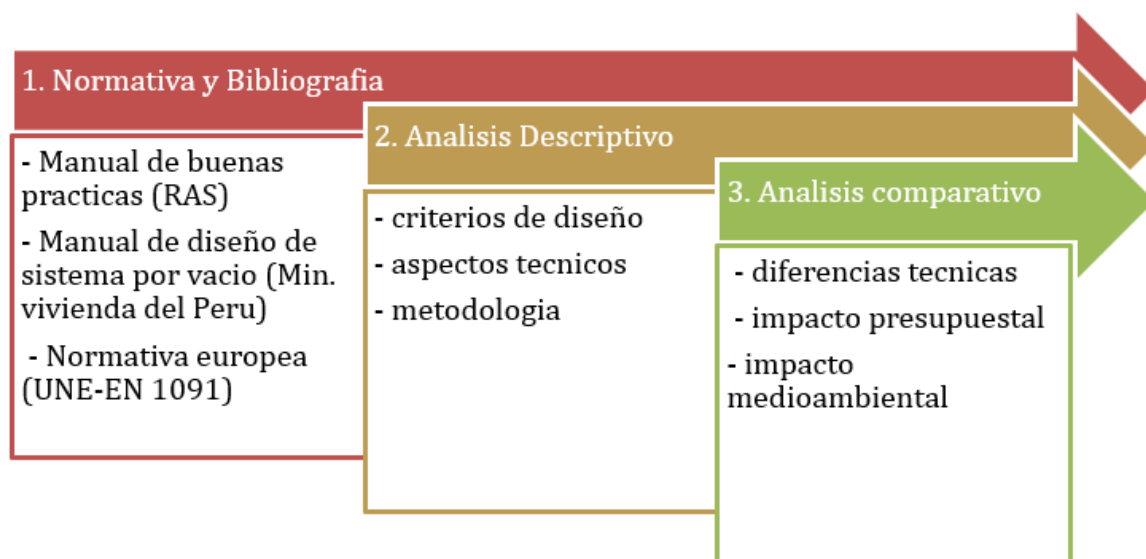
Riohacha enfrenta desafíos significativos en la cobertura y eficiencia de sus sistemas de alcantarillado. La combinación de topografía plana y nivel freático alto ha dificultado la implementación de soluciones convencionales, lo que resalta la necesidad de explorar alternativas como el alcantarillado por vacío.

Metodología

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque aplicado y comparativo, con alcance descriptivo y analítico, orientado al diseño y evaluación de un sistema de alcantarillado por vacío como alternativa al sistema convencional por gravedad en el barrio Villa Fátima, distrito de Riohacha, La Guajira.

La metodología se estructura en tres fases secuenciales, las cuales permiten integrar el análisis normativo, el diseño técnico, la evaluación económica y la comparación final entre ambas tecnologías que se podrá estructurar de la siguiente forma:

Figura 26. Estructura de la metodología de la investigación



Fuente. Elaboración propia

1. Diseño de alcantarillado convencional

Es importante aclarar que hoy en día se está llevando a cabo la ejecución de un sistema de alcantarillado convencional en esta zona de Riohacha, proceso que fue ofertado por medio de la plataforma de Secop I con el número de proceso LP-010-2022 y cuyo objeto contractual esta

nombrado como “*construcción de la estación de bombeo de aguas residuales en el distrito de Riohacha; ampliación de las redes de alcantarillado del barrio Villa Fátima del distrito de Riohacha*”

Dentro de las características técnicas y financieras más relevantes presentes en el proyecto de alcantarillado convencional estan las siguientes:

Tabla 1. *Datos más relevantes del proyecto de alcantarillado convencional en Villa Fátima.*

Parámetros principales	Cantidad	Presupuesto establecido
Longitud de tubería principal de bombeo en 10”	1340	\$ 538.456.086
Volumen de excavación mecánica y rellenos compactados	2292.04 m3	\$ 701. 013.138
Red de tubería PVC 8”	2609 m	\$ 392.723.247
Red de tubería PVC 16”	606 m	\$ 332.784.080
Red de tubería PVC 12”	591 m	\$ 311.161.500
Cantidad de entibado metálico	5244 m2	\$ 435.654.813
valor parcial del proyecto	\$ 2.711.792.864	
valor total del proyecto	\$ 7.657.164.467,27	

Nota. Estos datos hacen parte de la propuesta económica del contrato 001 de 2023 celebrado entre la entidad contratante EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE LA GUAJIRA (ESEPGUA) y el contratista CONSORCIO SANEAMIENTO RIOHACHA.

2. Diseño de alcantarillado por vacío para el barrio Villa Fátima

Inicialmente se desarrolla la metodología según lo que indica la normativa RAS o el decreto 0330 de 2017 para los cálculos iniciales de proyección poblacional.

Proyección de población

De acuerdo con los datos suministrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el distrito de Riohacha cuenta con 169,865 habitantes en su cabecera municipal, de los cuales, 5761 residen en el barrio Villa Fátima.

En los últimos años, el municipio ha presentado una tasa de crecimiento anual de aproximadamente 2.64%. Siguiendo este parámetro y por medio de la fórmula para el método geométrico, calculamos la población del barrio Villa Fátima proyectada a 25 años.

$$p_f = p_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

$$p_f = 5761(1 + 0.0264)^{2050 - 2025}$$

$$p_f = 11,062 \text{ hab.}$$

Caudal de aguas residuales (Q_D)

Para calcular el caudal de aguas residuales domésticas, tendremos en cuenta los siguientes datos iniciales:

Nivel de complejidad del sistema = medio (tabla A.3.1, RAS título A)

Población proyectada = 11,062 habitantes

Coefficiente de retorno = 0.80 (tabla D.3.1 RAS título D)

Demanda de agua potable = 125 l/hab/día (Tabla B.2.3, RAS Título B)

$$Q_D = \frac{C_R * P * D_{neta}}{86400}$$

$$Q_D = \frac{0.80 * 11,062 * 125}{86400}$$

$$Q_D = 12.80 \text{ l/s}$$

Caudal de aguas residuales industriales (Q_I)

Dentro del barrio Villa Fátima no existen zonas industriales que puedan aportar este tipo de caudal.

Caudal de aguas residuales institucionales (Q_{IN})

El barrio Villa Fátima cuenta con un área institucional en la que predomina especialmente el sector hotelero como se muestra en la siguiente figura:

Figura 27. Sector hotelero Villa Fátima



Fuente. (Google, 2021)

Estas zonas hoteleras abarcan un área de aproximadamente 2.5 ha. o 25000 m²

Estas áreas a su vez se encuentran dentro de sectores residenciales por lo cual se puede generar una contribución mixta de caudales de aguas residuales. Así las cosas y, en base al numeral 3.3.3.4. del RAS título D, en áreas mixtas, el sector comercial puede generar una contribución de aguas residuales de 0.5 L/s por ha comercial. Por lo tanto el caudal de aguas residuales comerciales se determinará de la siguiente forma:

$$Q_C = 0.5 * ha$$

$$Q_C = 0.5 * 2.5 = 1.25l/s$$

Caudal de aguas residuales Comerciales (Q_C)

En el barrio Villa Fátima no predomina de forma significativa el comercio por lo cual este aporte es nulo.

Caudal medio diario

El caudal medio diario se determina mediante la suma de todos los caudales aportantes a la red de la siguiente forma:

$$Q_{MD} = Q_D + Q_I + Q_{IN} + Q_C$$

$$Q_{MD} = 12.8 + 1.25 = 14.05l/s$$

Factor de mayoración

Para efectos de un diseño conservador, utilizaremos el valor del máximo factor de mayoración permitido por la norma en función de su número de habitantes proyectado.

Siguiendo los parámetros de la tabla D.3.4 del RAS, usaremos como factor de mayoración $F=3$ para una población menor a 20.000 habitantes.

Caudal máximo horario

El caudal máximo horario se determinará aplicando el factor de mayoración al caudal medio diario mediante la siguiente expresión:

$$Q_{MH} = Q_{MD} * F$$

$$Q_{MH} = 14.05 * 3 = 42.15 l/s$$

A partir de esta sección los cálculos obedecen exclusivamente a los componentes que conforman el alcantarillado por vacío, por lo cual deja de regir la normativa nacional 0330 de 2017 y como referencia se adoptaran las disposiciones dadas por la guía de diseño de alcantarillado por vacío creado por el ministerio de vivienda de la república del Perú.

Para más detalle acerca de los componentes del alcantarillado por vacío por favor dirigirse al capítulo de marco conceptual.

Cámaras colectoras

Para calcular el número de cámaras colectores tenemos en cuenta que una válvula de vacío puede llegar a una mayor eficiencia controlando el caudal suministrado de máximo 40 habitantes (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2013). En base a esta premisa determinamos el total de cámaras colectoras para el proyecto de la siguiente forma:

$$N_{\text{cámaras}} = \frac{11062 \text{ hab}}{40} \approx 277 \text{ cámaras colectoras}$$

Dimensionamiento del tanque de vacío

Un tanque de vacío debe tener la capacidad de acumulación por un tiempo de entre 5 a 15 minutos antes de su bombeo a la planta de tratamiento. (Carbajal & Villacorta, 2016).

Siguiendo este parámetro, calculamos el tanque para un tiempo de retención de 5 minutos de la siguiente forma:

$$V_{\text{tanque}} = 42.5 \text{ l/s} * 300 \text{ s} \approx 13000 \text{ l}$$

Por lo cual, la estación de vacío deberá tener un tanque de 13m³

Diseño de redes

Para iniciar el diseño las redes de alcantarillado por vacío debemos recordar los siguientes datos previamente determinados:

Habitantes proyectados = 11,062

Número de viviendas = 3243

Densidad poblacional = 3.41 hab/vivienda

Es importante tener presente que se debe garantizar una velocidad de flujo adecuada para garantizar un tiempo de apertura de las válvulas de vacío entre 4 a 10s. (Carbajal & Villacorta, 2016). Adicionalmente una velocidad óptima garantiza una adecuada mezcla de aire y agua necesaria para el buen funcionamiento del sistema por vacío. Análisis de laboratorio y rendimientos de sistemas existentes han demostrado que el alcantarillado por vacío presenta un

buen funcionamiento con rango de velocidades de entre 3 a 5.5 m/s. para este proyecto se contempla una velocidad óptima de 3m/s. (Carbajal & Villacorta, 2016)

Es importante resaltar los comportamientos en velocidades de flujo presentes en un alcantarillado convencional y en el alcantarillado por vacío, ya que este sistema se diseña para una velocidad constante que permita el autolavado de la tubería que impida la sedimentación y posterior obstrucción de las redes. Por otro lado, la velocidad constante garantiza una adecuada mezcla de aire y agua que aumenta la eficiencia del sistema. Caso contrario sucede con el alcantarillado convencional, cuyas velocidades de flujo dependerán de la pendiente.

Para el cálculo de caudal que aporta cada tramo se usará la siguiente expresión:

$$Q_{tramo} = Q_{MH} * \frac{N_i}{N_t}$$

Donde

Q_{MH} = caudal máximo horario

N_i número de cámaras en el tramo

N_t cámaras totales

Teniendo en cuenta el plano en planta de la red de tubería al vacío (ver anexo 1), se realiza la siguiente tabla con los resultados por tramo:

Tabla 2.*Resultados de diseño alcantarillado por vacío*

TRAMO	No. CÁMARAS	FACTOR POR PÉRDIDAS	CAUDAL (M3/S)	VELOCIDAD (m/s)	DIÁMETRO (PULG)
1	6	1.1	0.001	3	0.8162
2	6	1.1	0.001	3	0.8162
3	6	1.1	0.001	3	0.8162
4	6	1.1	0.001	3	0.8162
5	6	1.1	0.001	3	0.8162
6	6	1.1	0.001	3	0.8162
7	6	1.1	0.001	3	0.8162
8	6	1.1	0.001	3	0.8162
9	6	1.1	0.001	3	0.8162
10	6	1.1	0.001	3	0.8162
11	6	1.1	0.001	3	0.8162
12	6	1.1	0.001	3	0.8162
13	6	1.1	0.001	3	0.8162
14	6	1.1	0.001	3	0.8162
15	6	1.1	0.001	3	0.8162
16	6	1.1	0.001	3	0.8162
17	6	1.1	0.001	3	0.8162
18	6	1.1	0.001	3	0.8162
19	6	1.1	0.001	3	0.8162
20	6	1.1	0.001	3	0.8162
21	6	1.1	0.001	3	0.8162
22	6	1.1	0.001	3	0.8162
A	6	1.1	0.001	3	0.8162
B	6	1.1	0.001	3	0.8162
C	6	1.1	0.001	3	0.8162
D	6	1.1	0.001	3	0.8162
E	6	1.1	0.001	3	0.8162
F	6	1.1	0.001	3	0.8162
G	6	1.1	0.001	3	0.8162
H	6	1.1	0.001	3	0.8162
I	6	1.1	0.001	3	0.8162
J	6	1.1	0.001	3	0.8162
K	6	1.1	0.001	3	0.8162
L	6	1.1	0.001	3	0.8162
M	6	1.1	0.001	3	0.8162
N	6	1.1	0.001	3	0.8162
O	6	1.1	0.001	3	0.8162
P	6	1.1	0.001	3	0.8162

TRAMO	No. CÁMARAS	FACTOR POR PÉRDIDAS	CAUDAL (M3/S)	VELOCIDAD (m/s)	DIÁMETRO (PULG)
Q	7	1.1	0.001	3	0.8816
R	7	1.1	0.001	3	0.8816
S	7	1.1	0.001	3	0.8816
T	7	1.1	0.001	3	0.8816
U	7	1.1	0.001	3	0.8816
V	7	1.1	0.001	3	0.8816
W	7	1.1	0.001	3	0.8816

Teniendo en cuenta la densidad poblacional, se considera una distribución de 6 cámaras por tramo exceptuando los tramos que comprenden las áreas comerciales y hoteleras donde se asumen 7 cámaras por tramo.

Podemos observar en la tabla anterior que los diámetros necesarios para los caudales aportantes por tramos son menores a 1", por lo tanto, se asumirá un diámetro de 3" el cual se considera el diámetro mínimo para redes de vacío.

Diseño de bombas de vacío

Sin importar las condiciones técnicas del sistema, siempre se debe contemplar la instalación de mínimo dos (2) bombas de vacío con el fin de tener al menos una bomba de respaldo en caso de fallas o mantenimientos que requiera la otra bomba, de esta forma se garantizará que la operación del sistema no se verá interrumpida en estos casos.

Como datos iniciales requeridos para diseñar una bomba de vacío se tienen los siguientes;

$$Q_{MH} = 0.0425 \text{ m}^3/\text{s}$$

Presión de trabajo estándar requerida = -0.7 bar

Eficiencia del motor = 70%

Inicialmente se procede a calcular la presión absoluta del sistema:

$$p_{abs} = p_{atm} * (1 - 0.7) = 101325pa * 0.3 = 30397.5pa$$

Seguidamente se calcula de diferencia de presión que deberá vencer la bomba:

$$\Delta p = p_{abs} - p_{atm} = 101325pa - 30397.5pa = 70927.5pa$$

Posteriormente calculamos la potencia teórica requerida:

$$P_{teorica} = Q * \Delta p = 0.0425 \frac{m^3}{s} * 70927.5pa = 2583.79W$$

Considerando la eficiencia del motor de 70% recalculamos la potencia teórica:

$$P_{teorica} = \frac{2583.79W}{0.70} = 5167.58W$$

Finalmente se considera un porcentaje de pérdidas del 25%

$$P_{teorica} = 5167.58W * 1.25 = 6459.47W \approx 10HP$$

Finalmente obtenemos todos los componentes necesarios para construir el sistema de vacío.

Tabla 3. *Presupuesto general del sistema por vacío para el barrio Villa Fátima*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario estimado	Valor parcial
1	Tubería PVC 3" para red de vacío	m	5,926.40	\$39,650.00	\$ 234,981,760.00
2	Cámaras colectoras prefabricadas, incluye valvulas de vacío y accesorios	und	277.00	\$11,362,000	\$ 3,147,274,000.00
3	Estacion de vacío prefabricada y preensamblada, incluye dos tanques de vacío de 15m3, dos bombas de vacío	und	1.00	\$1,151,020,000	\$ 1,151,020,000.00
4	Excavación mecánica poco profunda	m ³	2,963.20	\$ 22,610.00	\$ 66,997,952.00
5	Relleno compactado con material de sitio	m ³	2,937.02	\$ 15,551.00	\$ 45,673,566.40
6	Sistema eléctrico y tablero de control	global	1.00	\$ 21,841,000	\$ 21,841,000.00
7	Planta eléctrica de respaldo de 100kva	und	1.00	\$ 73,100,000	\$ 73,100,000.00
8	Pruebas, puesta en marcha y capacitación	global	1.00	\$ 25,380,000	\$ 25,380,000.00
Total, sistema por vacío					\$ 4,766,268,278.40

Fuente No 1. Estos datos hacen parte de la propuesta económica del contrato 001 de 2023 celebrado entre la entidad contratante EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE LA GUAJIRA (ESEPGUA) y el contratista CONSORCIO SANEAMIENTO RIOHACHA.

Fuente No. 2. (Flovac, 2021)

Resultados

como resultado final se presentará desde una perspectiva técnica, ambiental y presupuestal, los cambios y variaciones que tendría el sistema de alcantarillado de Villa Fátima.

Tabla 4. *Síntesis de resultados técnicos del diseño propuesto*

Resultado del diseño	Valor obtenido	Interpretación técnica
Población proyectada	11.062 hab.	Base poblacional para el diseño a 25 años.
Caudal doméstico	12,80 L/s	Aporte principal de aguas residuales del sector residencial.
Caudal medio diario	14,05 L/s	Incluye aportes domésticos y mixtos/institucionales.
Caudal máximo horario	42,15 L/s	Caudal de diseño para componentes principales.
Número de cámaras colectoras	277 unidades	Cubre la población proyectada con criterio de 40 hab/cámara.

Volumen del tanque de vacío	13 m ³	Permite almacenamiento temporal aproximado de 5 minutos.
Número de bombas de vacío	2 unidades	Una bomba operativa y una de respaldo.
Potencia estimada de bombas	10 HP	Potencia preliminar requerida para operación del sistema.
Diámetro mínimo adoptado	3"	Diámetro comercial adoptado por criterio operativo.
Costo sistema convencional	\$7.657.164.467	Valor de referencia del proyecto existente.
Costo sistema por vacío	\$4,766,268,278	Valor estimado de la alternativa propuesta.
Ahorro estimado	\$2,890,896,188	Diferencia económica frente al sistema convencional.
Reducción porcentual	37.8%	Beneficio económico preliminar de la alternativa.

Tabla 5. *Análisis comparativo ambiental entre los dos tipos de sistemas*

Criterio ambiental	Sistema convencional	Sistema por vacío	Impacto esperado en Villa Fátima
	Requiere		Menor
Profundidad de excavación	zanjas profundas para mantener pendiente hidráulica.	Requiere zanjas poco profundas, entre 1,0 y 1,5 m.	remoción de suelo y menor afectación urbana.
	Alta		
Interacción con nivel freático	probabilidad de interceptar aguas subterráneas.	Menor interacción por instalación superficial o somera.	Disminuye el riesgo de bombeo de achique y sobre costos.
	Puede		
Infiltración	presentarse por fisuras, juntas o deterioro de tuberías.	Muy baja por hermeticidad y presión negativa.	Menor ingreso de agua freática al sistema.
	Puede		
Exfiltración	contaminar suelo y acuíferos.	Muy baja; ante fallas tiende a ingresar aire, no a salir agua residual.	Mayor protección del subsuelo y cuerpos de agua costeros.

Criterio	Sistema	Sistema por	Impacto
ambiental	convencional	vacío	esperado en Villa Fátima
Afectación durante construcción	Alta por movimiento de tierra, cierres viales y entibados.	Menor por zanjas estrechas y poco profundas.	Menor impacto sobre movilidad y comunidad.
Riesgo sanitario	Mayor en caso de reboses, fugas o infiltraciones.	Menor por sistema cerrado y controlado.	Reduce exposición a aguas residuales en zonas inundables.
Olores	Pueden generarse en pozos y colectores.	Controlados mediante sistema cerrado y biofiltros si se requieren.	Mejora condiciones de salubridad urbana.
Consumo de agua para arrastre	Depende del caudal y pendiente disponible.	Requiere menor arrastre hidráulico por transporte aire-agua.	Uso más eficiente del recurso hídrico.

Tabla 6. *Análisis comparativo técnico entre los dos sistemas*

Criterio técnico	Alcantarillado convencional	Alcantarillado por vacío	Resultado para el caso de estudio
			El sistema
Condición topográfica	Requiere pendiente continua.	No depende de pendiente natural.	por vacío se adapta mejor a la topografía plana de Riohacha.
Nivel freático	Genera dificultades constructivas por excavaciones profundas.	Permite instalación a menor profundidad.	Reduce riesgos constructivos asociados al nivel freático alto.
Diámetro de tubería	Mayor diámetro, entre 8", 10", 12" y 16" en el proyecto convencional.	Diámetros menores, adoptando mínimo 3" para red de vacío.	Disminuye volumen de excavación y costos de tubería.
Estaciones de bombeo	Puede requerir bombeos intermedios.	Requiere una estación central de vacío.	Centraliza la operación y facilita mantenimiento.

Criterio técnico	Alcantarillado convencional	Alcantarillado por vacío	Resultado para el caso de estudio
Cámaras / pozos	Requiere pozos de inspección convencionales.	Requiere cámaras colectoras con válvula de vacío.	Se proyectan 277 cámaras colectoras.
Operación	Depende de gravedad y bombeos en zonas planas.	Depende de presión negativa controlada.	Requiere control electromecánico y respaldo energético.
Mantenimiento	Distribuido en red, pozos y estaciones.	Concentrado en válvulas y estación central.	Requiere personal capacitado para operación del sistema.
Riesgo de obstrucción	Asociado a bajas pendientes y sedimentación.	Se controla con velocidades altas aire- agua.	Mejora la autolimpieza de la red.

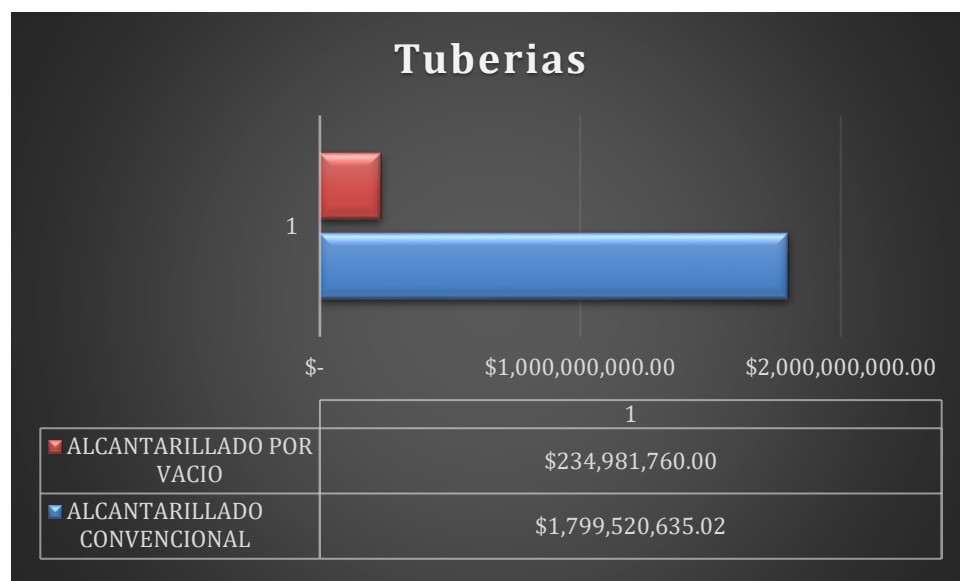
A continuación, se presentan los gráficos comparativos presupuestales con los ítems mas representativos de cada proyecto:

Figura 28. Comparativa presupuestal ítem de movimiento de tierras



Fuente. Elaboración propia

Figura 29. Comparativa presupuestal ítem de tuberías



Fuente. Elaboración propia

Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo permitió cumplir el objetivo general de diseñar y evaluar un sistema de alcantarillado por vacío como alternativa técnica, ambiental y económicamente viable frente a un sistema convencional por gravedad para el barrio Villa Fátima, en el distrito de Riohacha. El análisis comparativo demostró que el sistema por vacío se adapta de manera más eficiente a las condiciones de topografía plana y alto nivel freático, eliminando la necesidad de pendientes estrictas y reduciendo riesgos asociados a infiltraciones.

El análisis presupuestal demostró que el sistema de alcantarillado por vacío constituye una alternativa económicamente más favorable para el barrio Villa Fátima, con un costo estimado de \$4.766.268.278, frente a los \$7.657.164.467 requeridos por el sistema convencional. Esto representa un ahorro aproximado de \$2.890.896.188, equivalente a una reducción del 37,8% en la inversión inicial del proyecto.

La principal diferencia presupuestal entre ambos sistemas se concentra en las actividades de excavación y suministro de tuberías. Mientras el alcantarillado convencional requiere excavaciones profundas, entibados y tuberías de gran diámetro, el sistema por vacío opera con tuberías de 3 pulgadas instaladas a poca profundidad, reduciendo significativamente los costos de movimiento de tierras y materiales. En el caso estudiado, el costo de tuberías disminuyó de aproximadamente \$1.799 millones a \$235 millones, y el movimiento de tierras de \$774 millones a \$67 millones.

Aunque el sistema por vacío incorpora componentes especializados como cámaras colectoras, válvulas de vacío, estación central y sistemas de control, la reducción de excavaciones, diámetros de tubería y obras complementarias compensa ampliamente estos

costos. Esto demuestra que, para zonas con topografía plana y nivel freático alto como Riohacha, el alcantarillado por vacío no solo es técnicamente viable, sino que también representa una solución más eficiente en términos de inversión pública y optimización de recursos.

Desde el punto de vista comparativo, el sistema por vacío presenta ventajas técnicas al operar bajo presión negativa y garantizar hermeticidad, económicas al disminuir la necesidad de excavaciones profundas y estaciones intermedias de bombeo, y ambientales al minimizar riesgos de exfiltración hacia el subsuelo y cuerpos de agua costeros. Estos resultados indican que el sistema por vacío constituye una alternativa viable y estratégica para contextos urbanos con restricciones geotécnicas severas.

Asimismo, el análisis de antecedentes internacionales y el estudio del contexto normativo colombiano evidencian que, aunque esta tecnología aún no ha sido implementada formalmente en el país, existen condiciones técnicas y administrativas que permitirían su adopción progresiva dentro de los instrumentos de planificación del saneamiento básico.

En consecuencia, el alcantarillado por vacío se posiciona como una solución técnicamente factible, ambientalmente más segura y potencialmente más eficiente para sectores como Villa Fátima, contribuyendo a mejorar la salubridad urbana y fortaleciendo la diversificación tecnológica en el sector de saneamiento colombiano.

El análisis de antecedentes internacionales (España, Bolivia, Chile y Brasil) y la revisión del contexto nacional evidencian que el alcantarillado por vacío es una tecnología consolidada y funcional en escenarios con condiciones similares a las de Riohacha. Aunque en Colombia aún no existen proyectos ejecutados, la iniciativa conceptual en el municipio de Turbo demuestra

interés institucional en evaluar esta alternativa, lo que confirma su potencial de adaptación normativa y operativa en el país.

De manera integral, los resultados obtenidos permiten concluir que el sistema de alcantarillado por vacío representa una solución técnicamente viable y ambientalmente más segura para sectores urbanos con topografía plana, alto nivel freático y limitaciones constructivas, como el barrio Villa Fátima. Su implementación contribuiría a mejorar las condiciones de salubridad, reducir riesgos sanitarios asociados a sistemas sépticos precarios y fortalecer la planificación del saneamiento básico en el distrito de Riohacha.

Finalmente, esta investigación aporta un referente técnico para la incorporación del alcantarillado por vacío dentro de los instrumentos de planificación territorial y planes maestros de saneamiento en Colombia, abriendo la posibilidad de diversificar las soluciones tradicionales y promover modelos de infraestructura más adaptados a las realidades físicas y ambientales del territorio.

Bibliografía

Acruta Sanchez, A. (2020). *Sistema de alcantarillado al vacio para prevenir la contaminacion ambiental por descarga directa de desagues al rio Iitaya en el distrito de Belen parte baja, provincia de Maynas, region Loreto*. Lima.

Aguas Regionales EPM. (30 de Agosto de 2021). *Youtube*. Obtenido de Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=7qtP2zzWa5o>

Aguas residuales. (26 de 05 de 2016). *Aguas residuales*. Obtenido de Aguas residuales:

<https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/el-sistema-de-saneamiento-por-vacio-de-santa-pola-en-alicante-suscita-el-interes-de-o-0x3Wy>

Alcaldia de Riohacha. (2024). *Plan de Desarrollo de Riohacha 2024 - 2027*. Riohacha.

Alcaldia de Riohacha. (09 de 01 de 2025). *Alcaldia de Riohacha*. Obtenido de Alcaldia de

Riohacha: <https://www.riohacha->

[laguajira.gov.co/NuestraAlcaldia/SaladePrensa/Paginas/Inminente-Riesgo-de-salud-publica-en-el-mercado-viejo%2C-advierte-el-alcalde-de-Riohacha.aspx](https://www.riohacha-laguajira.gov.co/NuestraAlcaldia/SaladePrensa/Paginas/Inminente-Riesgo-de-salud-publica-en-el-mercado-viejo%2C-advierte-el-alcalde-de-Riohacha.aspx)

Asociacion Colombiana de Informatica, Sistemas y Tecnologias a Fines. (9 de Diciembre de

2025). *ACIS*. Obtenido de Asociacion Colombiana de Informatica, Sistemas y

Tecnologias a Fines: https://www.acis.org.co/blog/noticias-2/colombia-reporta-117789-casos-de-dengue-con-corte-al-2-de-diciembre-de-2025-segun-el-ins-4771?utm_source=chatgpt.com

Benitez Diaz, L. (2017). ASOCIACIÓN DE LA PERCEPCIÓN DEL RIESGO Y LA EXPERIENCIA CON LOS CONOCIMIENTOS, ACTITUDES Y PRACTICAS SOBRE EL DENGUE EN LA POBLACION DE RIOHACHA, LA GUAJIRA, COLOMBIA. Bucaramanga, Santander, Colombia.

Bhadra, S., & Moss, D. (2011). *ASCE Library*. doi:<https://doi->

[org.ezproxy.umng.edu.co/10.1061/41190\(422\)89](https://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1061/41190(422)89)

Carbajal, M. A., & Villacorta, G. (Diciembre de 2016). Evaluacion Tecnica y Economica Del Sistema Convencional del Alcantarillado Residual Entre Alcantarillado al Vacio En la

Calle Garote, Distrito de Belen, Provincia de Maynas, Region Loreto. San Juan Bautista, Peru.

Diario del Norte. (9 de Noviembre de 2024). La actualización del Plan de Ordenamiento Territorial de Riohacha es fundamental para su desarrollo futuro. *Diario del Norte*.

ESEPGUA S.A E.S.P. (s.f.). *Empresa de Servicios Publicos de La Guajira*. Obtenido de ESEPGUA S.A E.S.P: https://esepgua.com.co/esepgua-presento-los-disenos-definitivos-de-la-ptar-para-riohacha/?utm_source=chatgpt.com

Flovac. (2021). *Flovac*. Obtenido de Flovac: <https://flovac.es/alcantarillado-por-vacio/pozo-recolector-del-sistema-flovac/>

Gallardo Moreira, F. A. (2011). *ANALISIS COMPARATIVO ENTRE ALCANTARILLADO AL VACIO Y ALCANTARILLADO GRAVITACIONAL EN UNA VILLA DE 214 VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE VALDIVIA* . Valdivia.

Instituto Nacional de Salud. (2025). *Vigilancia en Salud Publica de la Poblacion Procedente del Exterior en Colombia*. Bogota D.C.

LaGuajiraHoy.com. (12 de Noviembre de 2015). *CorpoGuajira inicia investigación ambiental por presuntos vertimientos de aguas residuales en playas de Riohacha*. Obtenido de La Guajira Hoy: <https://laguajirahoy.com/>

Mejia, E. (18 de Noviembre de 2024). Desbordamiento del río Ranchería provocó colapso del alcantarillado sanitario de Riohacha. *Periodico El Tiempo*.

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2019). *Programa de agua potable y saneamiento para el departamento La Guajira*. Bogota.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2013). *Guía de Diseño de Alcantarillado por Vacío*. Lima, Perú.

Montes Amaya, A., Isabel, M. G., & Gomez, O. (2024). *Estudio de la humedad en viviendas de la ciudad de Riohacha*. Riohacha: Editorial Uniguajira.

Navarro Brotóns, M. (2014). *Sistema de alcantarillado por vacío en la Avenida de Valencia y adyacentes de Santa Pola*. Santa Pola.

Perez Montiel, J. (23 de Octubre de 2024). *Universidad de la Guajira*. Obtenido de Uniguajira: <https://uniguajira.edu.co/inundaciones-en-la-zona-periurbana-de-riohacha-de-graves-a-criticas/>

Rodriguez, F. (Marzo de 2015). *Tecnoaqua*. Madrid.

SewerVac. (s.f.). *SewerVac*. Obtenido de SewerVac : <https://sewervac.es/>

Zapasa, A., Musz-Pomorska, A., Gołębiowska, J., & Konrad Widomski, M. (8 de Noviembre de 2022). *Springer Nature Link*. doi:<https://doi.org/10.1007/s13201-022-01799-w>

Elawwad, A., Ragab, M., & Abdel-Halim, H. (2014). *Vacuum sewerage system in developing regions and the impact on environmental management*. Proceedings of the International Conference on Environmental Pollution and Remediation.

Gikas, P., Ranieri, E., Sougioultzis, D., Farazaki, M., & Tchobanoglous, G. (2017). Alternative collection systems for decentralized wastewater management: An overview and case study of the vacuum collection system in Eretria town, Greece. *Water Practice and Technology*, 12(3), 604–618.

Panfil, C. (2013). Technical, economical, social and ecological characteristics of vacuum sewer systems. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 14(3), 1183–1192.

Terryn, I. C. C., Lazar, A., Wauters, G., & Bixio, D. (2014). Conventional versus vacuum sewerage system in the Flemish context: A sustainability assessment. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(8), 1953–1962.