



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE  
DE GUAYAQUIL**

**DEPARTAMENTO DE POSGRADO  
MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL MENCIÓN EN GESTIÓN EN LA  
CONSTRUCCIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN GESTIÓN EN LA  
CONSTRUCCIÓN**

**TEMA  
PROPUESTA DE SOLUCIÓN A LA CORROSIÓN BIOGÉNICA EN  
ALCANTARILLADO DE AASS CON MORTERO EN BASE A ALUMINATO DE  
CALCIO**

**TUTOR  
MG. PABLO MARIO PAREDES RAMOS**

**AUTOR  
ING. MARCELO FERNANDO JARRÍN SEMPÉRTEGUI**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**2024**

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS		
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b> Propuesta de solución a la corrosión biogénica en alcantarillado de AA. SS con mortero en base a aluminato de calcio		
<b>AUTOR/ES:</b> Ing. Marcelo Fernando Jarrín Sempértegui	<b>REVISORES O TUTORES:</b> Mg. Pablo Mario Paredes	
<b>INSTITUCIÓN:</b> Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	<b>Grado obtenido:</b> Magister En Ingeniería Civil Mención En Gestión de la construcción	
<b>FACULTAD:</b> Ingeniería, Industria y Construcción	<b>CARRERA:</b> INGENIERIA CIVIL	
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b> 2024	<b>N. DE PAGS:</b> 93	
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b> Arquitectura y construcción		
<b>PALABRAS CLAVE:</b> Construcción civil, corrosión, materiales de construcción, alcantarillado, calcio.		
<b>RESUMEN:</b> La corrosión biogénica en el alcantarillado es un problema común causado por la actividad microbiana que genera ácidos sulfhídrico y sulfúrico, deteriorando las estructuras de concreto y mortero. Una propuesta de solución prometedora es utilizar mortero basado en aluminato de calcio (CAC, por sus siglas en inglés) para revestir las superficies internas de los sistemas de alcantarillado. El aluminato de calcio es un material cementante que ofrece propiedades especiales como alta resistencia química y rápida velocidad de fraguado, lo que lo hace adecuado para entornos corrosivos. La propuesta implica aplicar este mortero sobre las paredes internas del alcantarillado, formando una capa protectora que previene la infiltración de agentes corrosivos y protege la estructura subyacente. Esta solución tiene varias ventajas, incluyendo su durabilidad, resistencia a la corrosión y facilidad de aplicación. Además, el mortero a base de aluminato de calcio puede ser formulado para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y requerimientos de resistencia. En resumen, la propuesta de utilizar mortero en base a aluminato de calcio para combatir la corrosión biogénica en el alcantarillado ofrece una solución efectiva y duradera para preservar la integridad de las estructuras y prolongar su vida útil.		
<b>N. DE REGISTRO:</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL:</b>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<b>SI</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NO</b> <input type="checkbox"/>
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b> Marcelo Fernando Jarrín Sempértegui	<b>Teléfono:</b> 0997987148	<b>E-mail:</b> jarrin.marcelo@ec.sika.com

<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	<p>PhD. Eva Guerrero López Directora Departamento Posgrado Teléfono: 042596500 Ext. 170 E- E-mail: eguerrerol@ulvr.edu.ec</p> <p>Mg. Kleber Moscoso Riera Coordinador de Maestría Teléfono: 042596500 Ext. 170 E-mail: kmoscoso@ulvr.edu.ec</p>
------------------------------------	---

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación con todo cariño a mi madre, quien me inculcó buenos principios, responsabilidad, empeño y perseverancia para alcanzar mis metas trazadas. Mi madre que con mucho sacrificio pudo sostenerme a lo largo de mi vida.

A mi hermana Karla María por sus consejos, aliento, comprensión y apoyo incondicional en el logro de esta tesis.

A mi esposa e hijos quienes son un pilar fundamental y que me impulsan a seguir creciendo como persona y como profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Un especial agradecimiento a la empresa Sika Ecuatoriana S.A. quien ha contribuido a mi formación profesional y al enriquecimiento de conocimientos durante 13 años y por el patrocinio para poder cursar esta maestría.

A mi prestigiosa Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil de la cual me gradué como ingeniero civil y ahora como magíster, a todos mis profesores por impartir sus valiosos conocimientos y experiencias profesionales.

## CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

Propuesta de solución a la corrosión biogénica en alcantarillado de AA. SS con mortero en base a aluminato de calcio

### PROPUESTA DE SOLUCIÓN A LA CORROSIÓN BIOGÉNICA EN ALCANTARILLADO DE AASS CON MORTERO EN BASE A ALUMINATO DE CALCIO

INFORME DE ORIGINALIDAD

**6%** INDICE DE SIMILITUD  
**7%** FUENTES DE INTERNET  
**1%** PUBLICACIONES  
**2%** TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://alaseha.com">alaseha.com</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="http://kipdf.com">kipdf.com</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://www.clubensayos.com">www.clubensayos.com</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://ec.europa.eu">ec.europa.eu</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://repositorio.umsa.bo">repositorio.umsa.bo</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://docslide.net">docslide.net</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://repositorio.unan.edu.ni">repositorio.unan.edu.ni</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://www.cmic.org">www.cmic.org</a> Fuente de Internet	1%
9	<a href="http://biblio2.ugb.edu.sv">biblio2.ugb.edu.sv</a> Fuente de Internet	1%
10	Submitted to Universidad Catolica De Cuenca Trabajo del estudiante	1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

Atentamente,

Ing. Pablo Mario Paredes

Profesor tutor

## CERTIFICADO DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Guayaquil, 29 de marzo 2024

Yo, MARCELO FERNANDO JARRÍN SEMPÉRTEGUI declaro bajo juramento, que la autoría del presente trabajo me corresponde totalmente y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo mis derechos de autor a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establecido por las normativas Institucionales vigentes.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Jarrín Sempértégui', with a horizontal line drawn through it.

Ing. Marcelo Fernando Jarrín Sempértégui

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DE LA TESIS

Guayaquil, 29 de marzo 2024

Certifico que el trabajo titulado "PROPUESTA DE SOLUCIÓN A LA CORROSIÓN BIOGÉNICA EN ALCANTARILLADO DE AASS CON MORTERO EN BASE A ALUMINATO DE CALCIO", ha sido elaborado por el señor ING. MARCELO FERNANDO JARRÍN SEMPÉRTEGUI bajo mi tutoría, y que el mismo reúne los requisitos para ser defendido ante el tribunal examinador que se designe al efecto.



Mg. Pablo Mario Paredes

## RESUMEN EJECUTIVO

La corrosión biogénica en el alcantarillado es un problema común causado por la actividad microbiana que genera ácidos sulfhídrico y sulfúrico, deteriorando las estructuras de concreto y mortero. Una propuesta de solución prometedora es utilizar mortero basado en aluminato de calcio (CAC, por sus siglas en inglés) para revestir las superficies internas de los sistemas de alcantarillado.

El aluminato de calcio es un material cementante que ofrece propiedades especiales como alta resistencia química y rápida velocidad de fraguado, lo que lo hace adecuado para entornos corrosivos. La propuesta implica aplicar este mortero sobre las paredes internas del alcantarillado, formando una capa protectora que previene la infiltración de agentes corrosivos y protege la estructura subyacente.

Esta solución tiene varias ventajas, incluyendo su durabilidad, resistencia a la corrosión y facilidad de aplicación. Además, el mortero a base de aluminato de calcio puede ser formulado para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y requerimientos de resistencia.

En resumen, la propuesta de utilizar mortero en base a aluminato de calcio para combatir la corrosión biogénica en el alcantarillado ofrece una solución efectiva y duradera para preservar la integridad de las estructuras y prolongar su vida útil.

**PALABRAS CLAVES:** Construcción civil, corrosión, materiales de construcción, alcantarillado, calcio.

## **ABSTRACT**

Biogenic corrosion in sewage is a common problem caused by microbial activity that generates hydrogen sulfide and sulfuric acids, deteriorating concrete and mortar structures. A promising solution proposal is to use calcium aluminate (CAC)-based mortar to coat the internal surfaces of sewage systems.

Calcium aluminate is a cementitious material that offers special properties such as high chemical resistance and fast setting speed, making it suitable for corrosive environments. The proposal involves applying this mortar on the internal walls of the sewer, forming a protective layer that prevents the infiltration of corrosive agents and protects the underlying structure.

This solution has several advantages, including its durability, corrosion resistance and ease of application. Additionally, calcium aluminate-based mortar can be formulated to adapt to different environmental conditions and strength requirements.

In summary, the proposal to use calcium aluminate-based mortar to combat biogenic corrosion in sewers offers an effective and durable solution to preserve the integrity of structures and prolong their useful life.

**KEYWORDS:** Civil construction, corrosion, construction materials, sewage, calcium.

## INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: MARCO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.1. Tema.....	4
1.2. Planteamiento del Problema.....	4
1.3. Formulación del Problema .....	5
1.4. Sistematización del Problema .....	5
1.5. Delimitación del problema de investigación .....	6
1.6. Línea de Investigación Institucional/Facultad.....	6
1.7. Objetivo General.....	6
1.8. Objetivos Específicos.....	6
1.9. Justificación .....	7
1.10. Idea a defender .....	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	11
2.1 Marco referencial.....	11
2.1.1 Alcantarillado sanitario .....	12
2.1.2 Alcantarillado: Consideraciones generales .....	13
2.1.3 Alcantarillas combinadas y separadas .....	16
2.1.4 Responsabilidad por daños causados por aguas residuales .....	18
2.1.5 Evacuación de aguas residuales.....	19
2.1.6 Alcantarillas.....	21
2.1.7 La corrosión biogénica .....	22
2.1.8 Casos reales de estudio sobre reparación con mortero 100% CAC.....	25
2.1.9 Control de la corrosión biogénica.....	25
2.1.10 ¿Cómo se produce la corrosión biogénica? .....	26
2.1.11 Gases en alcantarillas .....	27
2.1.12 Tecnologías de morteros con cementos aluminosos .....	30
2.1.13 Resistencia química del hormigón de cemento aluminoso .....	35
2.2 Marco Conceptual .....	36
2.3 Marco Legal.....	40
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	44
3.1 Enfoque de la investigación .....	44

3.2	Tipo de investigación .....	44
3.3	Métodos de investigación.....	44
3.4	Técnicas utilizadas: .....	44
3.5	Población .....	45
3.6	Muestra .....	45
3.7	Equipos necesarios .....	45
2.8.	Análisis e interpretación de resultados .....	53
CAPITULO IV: PROPUESTA.....		59
4.1	Título de la propuesta .....	59
4.2	Objetivo General.....	59
4.3	Justificación .....	59
4.4	Descripción de la propuesta de solución.....	60
4.4.1	Recubrimientos poliméricos: Epoxi + poliuretano:.....	61
4.4.2	Tubo curado in situ [Cured In-Place Pipe (CIPP)].....	63
4.4.3	Comparativos de durabilidad del sistema tradicional Vs. Sistema mortero 100% CAC en observaciones de campo reales: .....	68
CONCLUSIONES.....		73
RECOMENDACIONES .....		74
BIBLIOGRAFIA.....		75

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Concentración de gases .....	29
Tabla 2 Resistencias mecánicas .....	34
Tabla 3 Resistencia del hormigón de cemento aluminoso a 7 días .....	34
Tabla 4 Elevación de temperatura del hormigón de cemento aluminoso .....	34
Tabla 5 Descripción de las muestras .....	55
Tabla 6 Resultados de la muestra a 47 semanas .....	55
Tabla 7 Cronograma de ejecución de trabajos para reparación de sistema de AASS en la solución tradicional.....	70
Tabla 8 Cronograma de ejecución de trabajos para reparación de sistema de AASS en la solución mortero 100% CAC. ....	71
Tabla 9 Ensayos de resistencia a la compresión a 1 día .....	72
Tabla 10 Ensayos de resistencia a la compresión a 5 día .....	72
Tabla 11 Ensayos de resistencias a la tracción (pull off) .....	72

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Colector de alcantarillado .....	8
Figura 2 Colector de alcantarilla mal diseñada .....	8
Figura 3 Red de alcantarillado .....	9
Figura 4 Conexión domiciliar de alcantarillado sanitario .....	13
Figura 5 Esquema de sistema de alcantarillado .....	14
Figura 6 Comprensión de la corrosión biogénica y su efecto en la infraestructura de recolección de aguas residuales de cemento Portland .....	15
Figura 7 Sistema de alcantarillado combinado .....	16
Figura 8 Sistema de alcantarillado combinado .....	17
Figura 9 Aguas residuales domésticas.....	19
Figura 10 Sistema de alcantarillado pluvial caso Manta .....	20
Figura 11 Alcantarilla pluvial caso Guayaquil.....	22
Figura 12 Cámara de concreto básico .....	23
Figura 13 Donde se produce la corrosión.....	24
Figura 14 Zona de afectación de la corrosión.....	24
Figura 15 Como se produce la corrosión biogénica.....	26
Figura 16 Efectos corrosión biogénica .....	27
Figura 17 Contaminación por gases peligrosos.....	28
Figura 18 H <sub>2</sub> S gas venenoso.....	29
Figura 19 Revestimiento interior de mortero de cemento .....	31
Figura 20 Principios de corrosión biogénica.....	37
Figura 21 Equipos de mezclado .....	46
Figura 22 Equipos de mezclado .....	47
Figura 23 Croquis típico del sistema.....	53
Figura 24 Variación de masa .....	55
Figura 25 Esquema de ensayo de laboratorio .....	56
Figura 26 Cámara de ensayo.....	56
Figura 27 Cámara de ensayo de corrosión biogénica .....	57
Figura 28 Cámara de ensayo de corrosión biogénica 100% CAC .....	57
Figura 29 Estudio de campo .....	58
Figura 30 Planta de tratamiento Haifa, Israel, después de 5 años de renovación de las cámaras.....	61

Figura 31 Revestimiento de plástico antiácido.....	62
Figura 32 Cámara de descarga en Singapur - inicialmente protegida por una membrana plástica.....	62
Figura 33 Revestimiento de tubería curado en el lugar CIPP.....	63
Figura 34 CIPP .....	63
Figura 35 Tubo de plástico reforzado con fibra.....	64
Figura 36 Nitrato de calcio en alcantarillas .....	65
Figura 37 100% CAC tecnología de mortero - A .....	66
Figura 38 100% CAC tecnología de mortero – B .....	66
Figura 39 100% CAC tecnología de mortero – C .....	67
Figura 40 100% CAC tecnología de mortero – D .....	68

## INTRODUCCIÓN

La corrosión biogénica en los sistemas de alcantarillado de aguas servidas (AASS) representa un desafío significativo en términos de mantenimiento, seguridad y sostenibilidad ambiental en el Ecuador. Este fenómeno, causado por la actividad microbiana que genera ácidos sulfhídrico y sulfúrico, ocasiona una rápida degradación de las estructuras de concreto y mortero, comprometiendo la integridad de la infraestructura y generando costos considerables de reparación y mantenimiento. En este contexto, la búsqueda de soluciones efectivas y duraderas para combatir la corrosión biogénica se convierte en una prioridad para garantizar la funcionalidad y la longevidad de los sistemas de alcantarillado en el país.

Una posible solución prometedora radica en el uso de mortero en base a aluminato de calcio (CAC), un material cementante con propiedades químicas y físicas superiores que lo hacen resistente a los agentes corrosivos presentes en los entornos de alcantarillado. La aplicación de este mortero sobre las superficies internas de los sistemas de alcantarillado puede formar una capa protectora que previene la penetración de los ácidos corrosivos y protege las estructuras subyacentes del deterioro prematuro. (Chinchón, 2018)

Aunque la utilización de mortero en base a aluminato de calcio como solución para la corrosión biogénica en alcantarillado ha sido estudiada y aplicada en diversos contextos internacionales, su implementación y adaptación en el Ecuador aún requiere una evaluación integral de factores específicos como las condiciones climáticas, las características del suelo y la composición de las aguas residuales locales. Además, se necesitan investigaciones adicionales para comprender mejor el desempeño a largo plazo de esta solución en el contexto ecuatoriano y su viabilidad económica a escala local.

La ciudad de Guayaquil, como muchas otras urbes en el Ecuador, enfrenta un desafío crítico en su infraestructura de alcantarillado debido a la corrosión biogénica. Este fenómeno, provocado por la actividad microbiana que genera ácidos sulfhídrico y sulfúrico, deteriora rápidamente las estructuras de concreto y mortero, comprometiendo la funcionalidad y la seguridad de los sistemas de alcantarillado de

aguas servidas (AASS). En Guayaquil, una ciudad en constante crecimiento y desarrollo, la corrosión biogénica representa un problema urgente que requiere soluciones innovadoras y efectivas para garantizar la integridad de la infraestructura sanitaria y proteger la salud pública. (Chavez, 2015)

En este contexto, surge la propuesta de utilizar mortero en base a aluminato de calcio (CAC) como una solución viable para combatir la corrosión biogénica en el alcantarillado de Guayaquil. El mortero CAC ofrece propiedades químicas y físicas excepcionales que lo hacen resistente a los agentes corrosivos presentes en los sistemas de alcantarillado, formando una capa protectora sobre las superficies internas de las tuberías y estructuras, y prolongando así su vida útil.

Aunque el uso de mortero en base a aluminato de calcio ha demostrado ser efectivo en otros contextos, su aplicación en Guayaquil requiere consideraciones específicas relacionadas con las condiciones climáticas, las características del suelo y las particularidades de las aguas residuales locales. Además, es crucial evaluar la viabilidad económica y la sostenibilidad a largo plazo de esta solución en el contexto urbano y ambiental de Guayaquil.

En esta introducción, se explorará la problemática de la corrosión biogénica en el alcantarillado de aguas servidas en Guayaquil, se discutirá el potencial del mortero en base a aluminato de calcio como una solución prometedora y se resaltarán los desafíos y consideraciones específicas para su implementación exitosa en esta ciudad costera ecuatoriana.

El presente proyecto de investigación se estructuró de la siguiente forma:

Capítulo I, contiene el planteamiento del problema, formulación del problema, sistematización del problema, objetivos de la investigación, justificación, ideas a defender y variables dependientes e independientes.

Capítulo II, desarrolla el marco teórico y el marco legal de la investigación.

Capítulo III, plantea el marco metodológico de la investigación, tipo, enfoque, técnica de la investigación y análisis de resultados.

Capitulo IV, se realizará la propuesta

Por ultimo tenemos las conclusiones y recomendaciones.

# **CAPÍTULO I: MARCO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Tema**

Propuesta de Solución a la Corrosión Biogénica en Alcantarillado de AASS con Mortero en Base a Aluminato de Calcio.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

La presencia de microorganismos en los sistemas de alcantarillado genera la producción de ácidos sulfhídrico y sulfúrico, los cuales corroen rápidamente las estructuras de concreto y mortero. Este fenómeno conduce a la degradación prematura de las tuberías y componentes del sistema, causando fugas, colapsos y riesgos para la salud pública. La falta de medidas efectivas para combatir la corrosión biogénica resulta en costosos gastos de mantenimiento y reparación, así como en interrupciones en el servicio de alcantarillado, lo que afecta negativamente la calidad de vida de los ciudadanos y la sostenibilidad ambiental de las ciudades ecuatorianas. (Cadena, 2014)

La corrosión biogénica es un fenómeno real que afecta a toda la red de alcantarillado sanitario de las ciudades en el Ecuador que están construidas en hormigón.

Para atacar o resolver este problema no existe una normativa, procedimiento o sistema bien definido en las entidades que manejan el alcantarillado sanitario en el país, por tanto, se requiere la necesidad de especificar en las empresas públicas un sistema de reparación previamente ensayado y comprobado su efectividad. (Ayala, 2023)

Las reparaciones que se realizan de forma convencional se vuelven recurrentes, debido a su baja efectividad para resolver este tipo de problemas, ocasionando costos altos en las reparaciones que normalmente no están presupuestados.

Se busca neutralizar la acción microbiana que ataca la estructura de hormigón, dando mayor durabilidad al sistema.

La problemática de la investigación que envuelve el panorama general de esta investigación se sustenta básicamente en los aspectos técnicos y sociales que envuelven la situación actual y lo que se pudiera esperar en unos cuantos años para la construcción de edificaciones, viviendas en general en nuestro país, la industrialización y la necesidad de la misma para introducirnos directamente al aspecto social donde tratamos de explicar la situación de ciertos estratos sociales y el comportamiento que desarrollan dentro de la urbe, con base en esto se plantea desarrollar viviendas replicables que cumpla con criterios básicos para que una vivienda sea habitable considerando el aislamiento acústico como ventaja propia del material, amigable con el ambiente, flexible, de instalación sencilla y peso liviano.

### **1.3. Formulación del Problema**

¿Cómo mitigar eficazmente la corrosión biogénica en el alcantarillado de aguas servidas?

### **1.4. Sistematización del Problema**

¿Porque no se aplican tecnologías innovadoras para la resolución de este problema?

¿Cuál es el presupuesto anual para reparación de alcantarillas?

¿Cuál es el costo anual que ocasionan las reparaciones?

¿Cómo difundir la aplicación en campo del mortero de reparación?

¿Cómo manejar un stock de grandes cantidades, sabiendo que el producto importado tiene una caducidad de 6 meses?

¿Puedo fabricar cemento aluminoso con los cementeros locales?

## 1.5. Delimitación del problema de investigación

<b>Campo:</b>	Educación Superior, Cuarto Nivel Grado
<b>Área:</b>	Ingeniería Civil
<b>Aspectos:</b>	Investigación descriptiva - cualitativa
<b>Tema:</b>	Propuesta de Solución a la Corrosión Biogénica en Alcantarillado de AASS con Mortero en Base a Aluminato de Calcio.

**Delimitación espacial:** Cantón Guayaquil - Ecuador

**Delimitación espacial:** 10 meses

## 1.6. Línea de Investigación Institucional/Facultad.

<b>Línea institucional:</b>	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción
<b>Líneas de facultad de Ingeniería, industria y construcción:</b>	Materiales de construcción
<b>Sublínea de facultad:</b>	Materiales innovadores en la construcción

## 1.7. Objetivo General

Desarrollar una solución efectiva y duradera para prevenir la corrosión biogénica en el sistema de alcantarillado de aguas servidas.

## 1.8. Objetivos Específicos

- Proponer un sistema de reparación de innovación en base a cemento aluminoso para la reparación de alcantarillas de aguas servidas.

- Elaborar los costos de mantenimientos en alcantarillas, demostrando a través de ensayos la durabilidad del mortero.
- Calcular la vida útil de las alcantarillas, reconociendo y atacando el problema de corrosión biogénica.

### **1.9. Justificación**

La tecnología es 100% viable, está en Europa y se puede importar. Se puede importar directamente el cemento con aluminato de calcio como materia prima y fabricar el mortero en Ecuador o importar directamente como producto terminado.

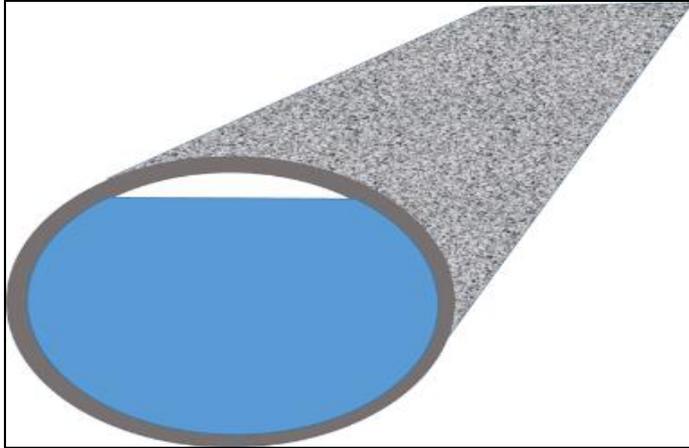
Cuando una tubería funciona o está casi llena se produce un auto-limpiado, quedando poco espacio físico para el aire, por lo tanto, no hay riesgo de formación de H<sub>2</sub>S (ácido sulfhídrico o sulfuro de hidrógeno). Este fue el caso del colector de alcantarillado principal en el área de París que durante 100 años no presentó daño alguno. (Ortiz, 2021)

Las aguas residuales municipales están constituidas por aguas residuales domésticas (domésticas), industriales y urbanas que comprenden agua (>95%) y otros contaminantes. Las aguas residuales domésticas contienen patógenos y microorganismos no patógenos, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, elementos suspendidos y disueltos y muchas otras sustancias.

Las aguas residuales industriales se originan en industrias y unidades de fabricación comerciales. Suele ser más complejo y difícil de tratar que las aguas residuales domésticas. Las aguas residuales industriales comprenden varios componentes peligrosos, como compuestos orgánicos (aceites, grasas y alcohol), metales pesados, ácidos y elementos alcalinos. Las fuentes de aguas residuales industriales de diferentes industrias incluyen medicamentos, detergentes, tintes, pinturas, plástico, fertilizantes, fábricas textiles, refrescos, curtidurías, productos químicos, aceite de palma, fábricas de papel, etc. La combinación química de carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, azufre y fósforo (COHNSP) forma materia orgánica en las aguas residuales. Cuando se desarrolla materia orgánica, proliferan

bacterias y hongos que desempeñan un papel fundamental en la descomposición de los componentes tóxicos de las aguas residuales. (Anwar, Liu, & Zhang, 2022)

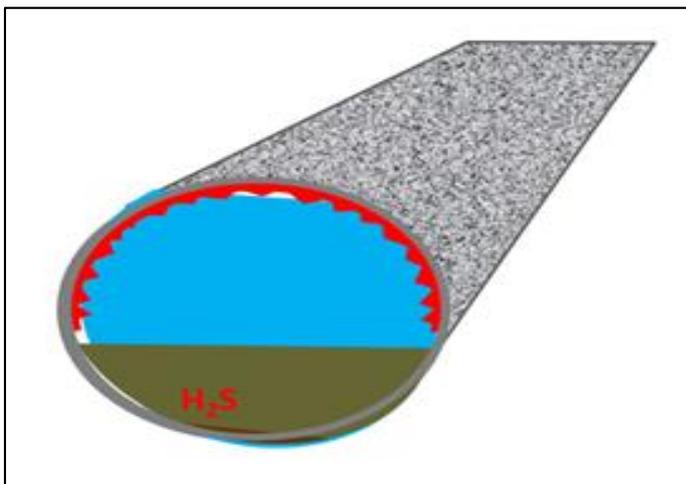
**Figura 1** Colector de alcantarillado



Fuente: Biogenic corrosion of cementitious composite in wastewater sewerage system—A review (2022)

Cuando la red no está bien diseñada, cuando se producen cambios en los caudales, cambios en la distribución o picos en la población las tuberías no trabajan llenas y no se produce el auto-lavado y por tanto se acumulan sedimentos que contienen sulfatos y materia orgánica que da paso a la formación de H<sub>2</sub>S en el agua, el cual se libera (H<sub>2</sub>S) en el aire.

**Figura 2** Colector de alcantarilla mal diseñada



Fuente: Biogenic corrosion of cementitious composite in wastewater sewerage system—A review (2022)

El gas  $H_2S$  deposita azufre elemental sobre estas superficies, este azufre elemental es una fuente de alimento para las bacterias naturales presentes en el sistema de alcantarillado, estas bacterias presentes en la capa superficial en el hormigón realmente se alimentan del azufre elemental (como fuente de oxígeno) y el subproducto del proceso de digestión de las bacterias es el ácido sulfúrico, este ácido sulfúrico es corrosivo para las estructuras de aguas residuales.

La afectación de la corrosión biogénica es muy agresiva, en algunos casos puede deteriorar la superficie del hormigón en más de 1cm de espesor en tan solo dos años.

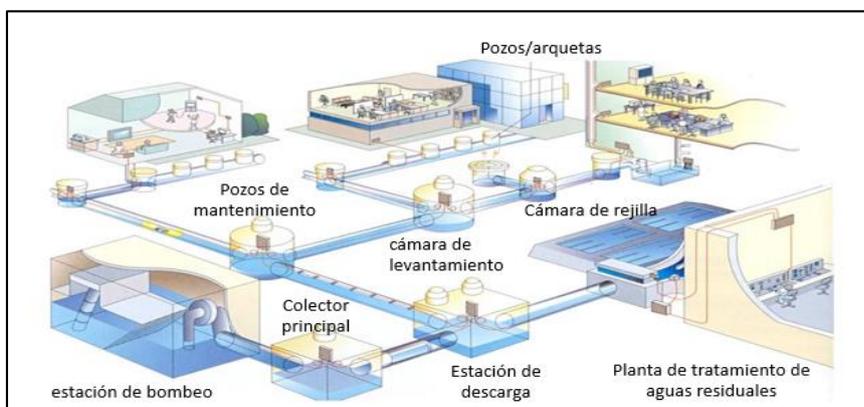
Las reparaciones por medios tradicionales resultan muy costosos debido a su baja efectividad que ocasionan reparaciones recurrentes y no definitivas.

Introduciendo y difundiendo al medio la tecnología de morteros de reparación en base a aluminatos de calcio se logrará reducir costos de reparaciones recurrentes y prolongará la vida útil de las alcantarillas de aguas servidas.

Aportará un beneficio directo a la población evitando continuas paralizaciones por temas de mantenimientos.

Se estima prologar la vida útil de las alcantarillas de aguas servidas al menos 15 años.

**Figura 3** Red de alcantarillado



Fuente: Biogenic corrosion of cementitious composite in wastewater sewerage system—A review (2022)

Según la literatura y los estudios de casos, se percibe que el hormigón solo o con protección/recubrimientos superficiales adicionales puede no resistir durante un período más largo el grado de ataque biogénica en los sistemas de aguas residuales. (Sika Technologies, 2021)

Además, para minimizar el proceso de daño, se utilizan técnicas de reparación específicas, como protección de superficies con recubrimientos químicos, revestimientos de polímeros, juntas y selladores de poros, resinas epoxi, adhesivos de poliuretano, adhesivos impermeabilizantes y aglutinantes de polímeros orgánicos, a menudo se adoptan para estructuras de concreto en sistemas de aguas residuales. (Guidice & Pereyra, 2009)

Durante el proceso de reparación, las instalaciones operativas de aguas residuales también se ven comprometidas, lo que incluso puede resultar en el cierre de una unidad para mantenimiento y servicio. (Sanchez & Roman, 2020)

#### **1.10. Idea a defender**

El uso de mortero a base de aluminato de calcio como medida preventiva y reparadora para combatir la corrosión biogénica en alcantarillados de aguas servidas.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco referencial

La corrosión biogénica en sistemas de alcantarillado es un fenómeno complejo que afecta la durabilidad y la integridad estructural de las infraestructuras de saneamiento. Este proceso, impulsado por la actividad microbiana, puede ser particularmente problemático en sistemas construidos con morteros a base de aluminato de calcio. Estos materiales, conocidos por sus propiedades de alta resistencia y rápido endurecimiento, se han utilizado extensivamente en la construcción de alcantarillados debido a su capacidad para soportar condiciones adversas y sus propiedades de curado acelerado.

El mortero a base de aluminato de calcio se distingue por su composición química, que incluye aluminato de calcio y otros aditivos que influyen en sus propiedades mecánicas y de durabilidad. Sin embargo, a pesar de sus ventajas iniciales, estos materiales no están exentos de vulnerabilidades frente a la corrosión biogénica, un fenómeno en el cual bacterias y otros microorganismos convierten compuestos en el agua residual en ácidos que atacan y degradan los materiales de construcción.

El desarrollo de la corrosión biogénica en alcantarillados es facilitado por un entorno húmedo y ácido creado por la descomposición de materia orgánica y la actividad bacteriana. En particular, las bacterias juegan un papel crucial al metabolizar compuestos sulfurados presentes en las aguas residuales, produciendo ácido sulfúrico que acelera la disolución del cemento y el mortero. Esto resulta en una acelerada degradación de las superficies internas de los canales de alcantarillado, afectando su funcionalidad y vida útil. (Nielsen, 2018)

La literatura científica y técnica ha documentado extensamente los mecanismos de la corrosión biogénica y sus efectos en diferentes tipos de materiales de construcción.

Sin embargo, los estudios específicos sobre morteros a base de aluminato de calcio en el contexto de alcantarillados son menos frecuentes. Investigaciones

recientes han comenzado a abordar cómo las características únicas de estos materiales influyen en su resistencia frente a los ataques corrosivos biogénicos.

### **2.1.1 Alcantarillado sanitario**

El término alcantarillado se refiere al proceso de recolectar y tratar residuos líquidos. Las instalaciones de alcantarillado o de aguas residuales abarcan todas las estructuras necesarias para la recogida, tratamiento y eliminación de estos líquidos. (Granja & Tapia, 2013)

El agua residual es el desecho líquido transportado por una red de alcantarillado, que puede incluir vertidos domésticos, industriales, aguas pluviales, filtraciones y caudales de entrada. (Granja & Tapia, 2013)

Las aguas residuales domésticas o sanitarias provienen de dispositivos de instalaciones residenciales, comerciales, industriales e institucionales. Los residuos industriales son descargas líquidas de procesos de manufactura y procesamiento de alimentos. El agua de lluvia se refiere al flujo resultante de eventos de precipitación, que se introduce intencionadamente en alcantarillas para su transporte. La infiltración es el agua que ingresa a las alcantarillas desde el suelo a través de juntas. El flujo de entrada es el agua que entra desde la superficie durante eventos de lluvia, a través de grietas en el sistema, o de conexiones de tejados o drenajes de sótanos. (Granja & Tapia, 2013)

Una alcantarilla es un conducto cerrado que generalmente fluye a medio llenar, transportando aguas residuales. Las alcantarillas comunes sirven a todas las propiedades cercanas. Las alcantarillas sanitarias transportan aguas residuales domésticas y están diseñadas para excluir agua de lluvia, infiltración y flujo de entrada. Dependiendo de sus características, también pueden transportar residuos industriales. Las alcantarillas pluviales llevan el agua de lluvia y otros residuos que pueden acumularse en las calles o en la superficie del suelo. Las alcantarillas combinadas transportan tanto aguas residuales como aguas pluviales. Un sistema compuesto por alcantarillas combinadas se llama sistema combinado, mientras que uno que separa las aguas de lluvia se denomina sistema separado. (Granja & Tapia, 2013)

### 2.1.2 Alcantarillado: Consideraciones generales

La alcantarilla doméstica es una tubería que transporta aguas residuales desde un edificio individual a una alcantarilla común u otro lugar de disposición. Una alcantarilla común sin flujos tributarios es la alcantarilla lateral. (McGhee, 1999)

La alcantarilla secundaria recoge el flujo de alcantarillas domésticas y de una o más laterales. La alcantarilla principal o alcantarilla maestra recibe el flujo de varias alcantarillas secundarias, así como de las alcantarillas laterales y domésticas. Las alcantarillas presurizadas transportan las aguas residuales de una estación de bombeo a otra principal o a un punto de tratamiento o disposición. (McGhee, 1999)

Para separar el flujo de tiempo seco del flujo de aguas lluvias que pueden transportar, la alcantarilla interceptora se cruza con otras alcantarillas. Una alcantarilla de alivio se construye para llevar una parte del flujo a un sistema con capacidad insuficiente. La alcantarilla colectora final transporta el desecho recolectado a un lugar de disposición o tratamiento. (McGhee, 1999)

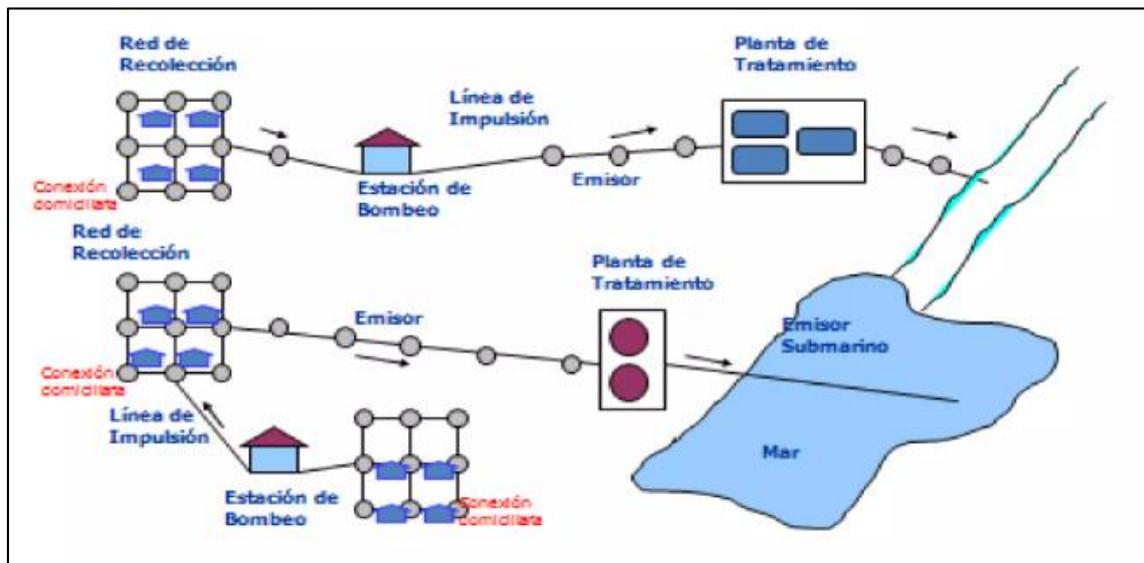
El tratamiento del agua residual se refiere a cualquier proceso que se pueda utilizar para cambiar las características del agua residual de manera positiva. El término "disposición del agua residual" se refiere a la eliminación de desechos líquidos del medio ambiente. La disposición generalmente, aunque no siempre, implica algún grado de tratamiento previo a la descarga. (McGhee, 1999)

**Figura 4** Conexión domiciliaria de alcantarillado sanitario



Fuente: ARQYDOM.CL (2024)

**Figura 5** Esquema de sistema de alcantarillado



Fuente: ARQYDOM.CL (2024)

Un alcantarillado urbano requiere un diseño cuidadoso. El tamaño y la inclinación de las alcantarillas deben ser apropiados para permitir el flujo máximo sin sobrecargarlas y mantener velocidades que impidan la deposición de sólidos. Antes de comenzar el diseño, se deben estimar el caudal y las variaciones. Además, se debe localizar cualquier estructura subterránea que pueda interferir con la construcción, incluidos otros servicios.

Una vez que llegan a las alcantarillas, la responsabilidad recae en la comunidad. En muchos casos, la construcción de algún sistema de alcantarillado resulta en un beneficio mixto debido a los riesgos potenciales para la salud y el medio ambiente que plantean las aguas residuales. Para evitar la modernización, pequeñas comunidades que han sido administradas en el pasado con más disposición in situ pueden ser bien aconsejadas. (McGhee, 1999)

**Figura 6** Comprensión de la corrosión biogénica y su efecto en la infraestructura de recolección de aguas residuales de cemento Portland



Fuente: Trenchless technology (2023)

El agua residual es tratada normalmente de alguna manera antes de ser descargada al ambiente. En los Estados Unidos, la EPA exige, como mínimo, que el residuo reciba el equivalente de tratamiento secundario. Éste, en la mayoría de los casos, involucra una reducción en la carga residual de cerca del 85%. El grado real de tratamiento provisto en los Estados Unidos depende de las normas de calidad de agua de la corriente receptora y del flujo y las características tanto de la corriente como del residuo. En algunos casos, la descarga de contaminantes no puede ser permitida a cuerpos de agua particulares. (Rondon, Szantó, & al., 2016)

El grado de tratamiento exigido puede lograrse normalmente en una variedad de formas por combinación de diferentes procesos. La selección de la combinación óptima de procesos para una situación particular requiere un diseño preliminar y la evaluación de costos de aquellas alternativas que puedan producir la calidad necesaria del efluente. (McGhee, 1999)

### 2.1.3 Alcantarillas combinadas y separadas

Los sistemas de alcantarilla modernos son por lo común separados. Las excepciones a esta regla general se encuentran en algunas ciudades grandes y antiguas donde las alcantarillas combinadas fueron construidas en el pasado y donde nuevas adiciones siguieron a las existentes en la práctica. (Parks, 2008)

En muchos casos, estas comunidades se poblaron densamente y tuvieron construcciones de alcantarillas pluviales antes de que la necesidad de alcantarillas sanitarias fuera en general aceptada.

A comienzos de los años 1800, la descarga de residuos domésticos dentro del sistema de alcantarillado fue en realidad prohibida en algunas ciudades, pero las alcantarillas domésticas fueron conectadas más tarde a las alcantarillas de aguas lluvias, convirtiéndolas en alcantarillas combinadas. (Econet, 2020)

Las adiciones subsecuentes fueron así diseñadas como alcantarillas combinadas, a menudo contemplando disposiciones para separación de flujos de tiempo seco de flujos de aguas lluvias.

A medida que las áreas urbanas se desarrollan, la primera necesidad se relaciona con las alcantarillas sanitarias. Las aguas lluvias pueden ser manipuladas mediante el flujo por calles y cunetas hacia los cursos naturales de agua hasta que el desarrollo sea bastante extensivo. (Parks, 2008)

**Figura 7** Sistema de alcantarillado combinado



Fuente: Clean water plan (2008)

Debido a que las alcantarillas de aguas lluvias son más grandes y sustancialmente más costosas que las alcantarillas sanitarias, su construcción es aplazada a menudo. Las alcantarillas sanitarias nuevas son diseñadas de manera específica para excluir aguas lluvias con especificaciones estrictas con respecto a la infiltración permisible por las uniones y la eliminación de fuentes potenciales de flujos de entrada. (Parks, 2008)

Aunque las aguas lluvias pueden estar bastante contaminadas, en particular al comienzo de un evento de precipitación, el caudal es tan grande que no puede ser económicamente recogido y/o tratado.

**Figura 8** Sistema de alcantarillado combinado



Fuente: Clean water plan (2008)

Es probable que las corrientes receptoras estén también de otro modo contaminadas al mismo tiempo por flujos de fuentes no urbanas. En consecuencia, el requerimiento de tratamiento de aguas lluvias urbanas parece irrazonable. (Doménech & Perales, 2008)

Las alcantarillas combinadas pueden ser provistas por la construcción de un sistema de alcantarillas de aguas lluvias y por la conexión de drenajes domésticos a

estas conducciones. El flujo de aguas residuales sanitarias es pequeño con respecto al flujo de aguas lluvias. (McGhee, 1999)

#### **2.1.4 Responsabilidad por daños causados por aguas residuales**

Las decisiones en las cortes estatales concernientes a responsabilidad por daños asociados con trabajos de alcantarillados están lejos de ser uniformes; de cualquier modo, ciertos principios parecen ser comúnmente aceptados.

Una ciudad no está obligada a proveer sistemas de alcantarillado, ni se le puede pedir responsabilidades si no tiene la infraestructura para hacerlo. Sin embargo, una vez que se ofrece este servicio, tanto la comunidad como sus líderes adquieren responsabilidades en cuanto a posibles daños a la salud, la propiedad o el medio ambiente, que podrían surgir debido a un diseño o funcionamiento insatisfactorio del sistema. (Gonzalez, 2012)

Las deficiencias en el diseño o la construcción pueden permitir a la ciudad involucrar al ingeniero o contratista en cualquier dificultad legal que resulte. La ciudad, de cualquier modo, como propietaria de las instalaciones puede tener la principal responsabilidad si las otras partes son incapaces de pagar por los daños.

Los drenajes de aguas lluvias generalmente concentran el flujo en algunos lugares y aumentan tanto la descarga total como la tasa pico de flujo. Cambios similares en los patrones de drenaje típicos pueden causar inundaciones o erosión aguas abajo, lo que puede poner a la ciudad en responsabilidad. Hoy en día, muchos estados o condados de los Estados Unidos exigen que los sistemas de drenaje de las ríos sean diseñados de tal manera que el caudal después del desarrollo de un área no supere el que existía anteriormente. (Rosales, 2015)

Daños resultantes de operación o mantenimiento deficientes son siempre responsabilidad de la ciudad. El incumplimiento para responder con rapidez a las deficiencias conocidas es en general suficiente para establecer responsabilidad legal. Las agencias estatales y federales tales como la EPA pueden imponer multas contra

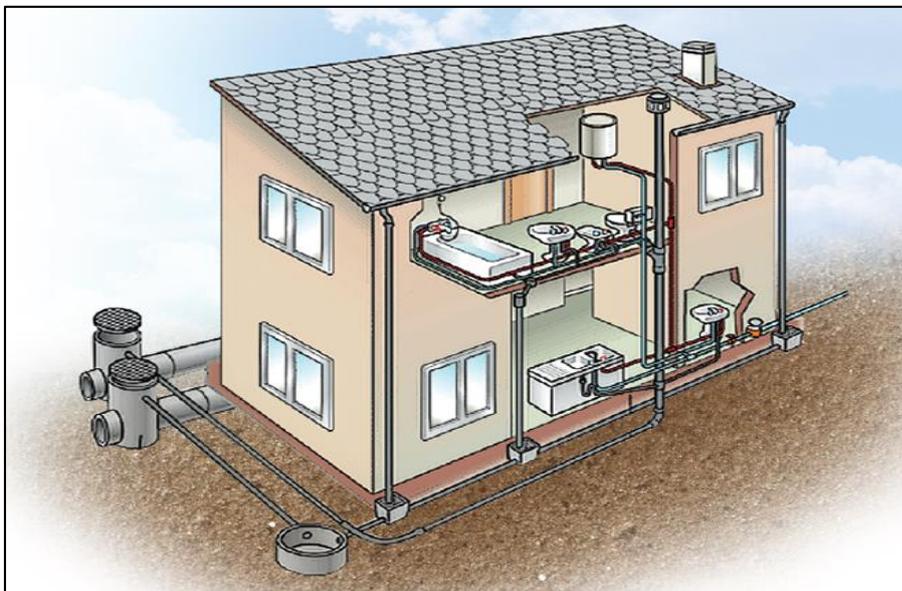
las comunidades que incumplan el seguimiento de las normas de descarga pertinentes. Además, las personas naturales o jurídicas a quienes el uso del agua contaminada afecte adversamente pueden apelar a la ley. (McGhee, 1999)

### 2.1.5 Evacuación de aguas residuales

Existen tres clases principales de aguas residuales: domésticas, pluviales e industriales. Generalmente se exigen sistemas de tubería sanitaria separadas para cada una de ellas.

El agua residual doméstica es primordialmente agua usada proveniente del abastecimiento de agua del edificio a la cual se agregan residuos provenientes de los baños, cocinas y lavaderos. La mayor parte de éstos pueden evacuarse descargándolos en el alcantarillado sanitario municipal, si se dispone de alguno. (Amores, 2014)

**Figura 9** Aguas residuales domésticas



Fuente: El oficial (2017)

El agua pluvial es primordialmente la que cae de los techos o del emplazamiento del edificio. Por lo general el agua se desplaza hacia los drenajes del techo o hacia los canales, que a su vez la conducen hacia tuberías de drenaje, que la

conducen al sistema de alcantarillado para agua pluvial. Las condiciones especiales en la disposición de algunos edificios, como grandes áreas pavimentadas o pendientes inclinadas, pueden requerir la retención de este tipo de aguas en áreas de retención o estanques a fin de evitar el rebose de los sistemas municipales de alcantarillado para aguas residuales. (Amores, 2014)

De estos lugares, el agua pluvial es generalmente conducida a las alcantarillas a través de estructuras de descarga diseñadas para retrasar y controlar el flujo de dichas aguas hacia los sistemas de alcantarillado municipal. La descarga en un colector sanitario es cuestionable, ya que los grandes caudales interfieren con el tratamiento efectivo de las aguas residuales y aumentan los costos de tratamiento. Si las aguas pluviales son recogidas aparte de las otras aguas residuales, pueden, por lo general, ser descargadas sin problemas en una gran masa de agua.

Por otra parte, las aguas residuales domésticas sin tratar y los residuos industriales presentan características que hacen necesario su tratamiento antes de su descarga en una masa de agua. Sin embargo, en algunas áreas existen alcantarillados municipales combinados (para residuos sanitarios y aguas pluviales). Las autoridades locales apropiadas deben ser consultadas para determinar qué tipo de sistema es el más adecuado y las reglamentaciones específicas relacionadas con la conexión a dichos sistemas.

En sectores donde no se dispone de alcantarillado sanitario municipal, se requiere alguno de los sistemas de tratamiento de agua residual. Las plantas de tratamiento prefabricadas se consiguen en diferentes tamaños y configuraciones. Gran parte de los sistemas de tratamiento son complejos y requieren muchos pasos, los cuales incluyen filtración y métodos de lodos activados y aireación. El grado de tratamiento necesario generalmente depende del potencial de asimilación de la masa o cuerpo de agua para recibir el afluente, primordialmente la capacidad del cuerpo de agua para diluir las impurezas y para suministrar oxígeno a fin de descomponer la materia orgánica presente en el agua residual.

**Figura 10** Sistema de alcantarillado pluvial caso Manta



Fuente: Noticias Radio Manabí (2019)

Las aguas residuales industriales pueden presentar problemas especiales a causa de:

- El volumen de flujo puede superar la capacidad del alcantarillado público y
- Las reglamentaciones locales pueden prohibir la descarga de residuos industriales en corrientes de agua, lagos, ríos y aguas sujetas a mareas, sin tratamiento previo adecuado. Las aguas residuales industriales generalmente requieren un tratamiento diseñado para eliminar los elementos específicos introducidos durante los procesos industriales, los cuales hacen del agua un medio de contaminación peligroso. (Ministerio del Ambiente, Agua y transición ecológica, 2017)

A menudo, estos tratamientos no pueden realizarse en plantas públicas de tratamiento de aguas residuales. Para ello deben construirse plantas especiales de tratamiento.

### **2.1.6 Alcantarillas**

Una alcantarilla es un conducto para el transporte de agua con residuos. De acuerdo con el propósito de esta sección, cualquier tubería para agua residual situada en el interior de un edificio será considerada tubería sanitaria o de proceso; ya en el

exterior del edificio, las líneas conductoras de agua residual se denominan alcantarillas. (Fernandez, 2014)

Las alcantarillas transportan aguas residuales, y un sistema de alcantarillas y accesorios constituyen el alcantarillado. Las alcantarillas sanitarias transportan residuos domésticos o residuos industriales. Allí donde los edificios se encuentren localizados en sitios grandes, o se encuentren estructuras con grandes extensiones de tejado, se emplea una alcantarilla pluvial a fin de evacuar rápidamente el agua lluvia, encaminándola hacia las entradas de drenaje ubicadas para la mejor recolección de la escorrentía. (Fernandez, 2014)

**Figura 11** Alcantarilla pluvial caso Guayaquil



Fuente: Municipio de Guayaquil (2024)

### **2.1.7 La corrosión biogénica**

Producto de la acumulación de sedimentos en las alcantarillas que contienen sulfatos y materia orgánica dan paso a la formación de H<sub>2</sub>S (ácido sulfhídrico) en el agua, el cual se libera en el aire y se dispone por encima del nivel del caudal de la alcantarilla, disolviéndose en la humedad existente en las superficies de hormigón. Como el agua se forma por la oxidación del hidrógeno, el gas H<sub>2</sub>S deposita azufre elemental sobre estas superficies. (Hernandez, 2013)

Este azufre elemental es una fuente de alimento para las bacterias naturales presentes en el sistema de alcantarillado. Estas bacterias, presentes en la capa superficial en el hormigón, realmente se alimentan del azufre elemental (como fuente de oxígeno). El subproducto del proceso de digestión de las bacterias es el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Es este ácido sulfúrico es corrosivo para las estructuras de aguas residuales. Cámara en concreto básico (cemento de Portland): pH superficial entre 1 y 2, degradación muy fuerte después de 10 años. (Duque, 2007)

**Figura 12** Cámara de concreto básico



Fuente: Instituto del cemento del Hormigón Chile (2019)

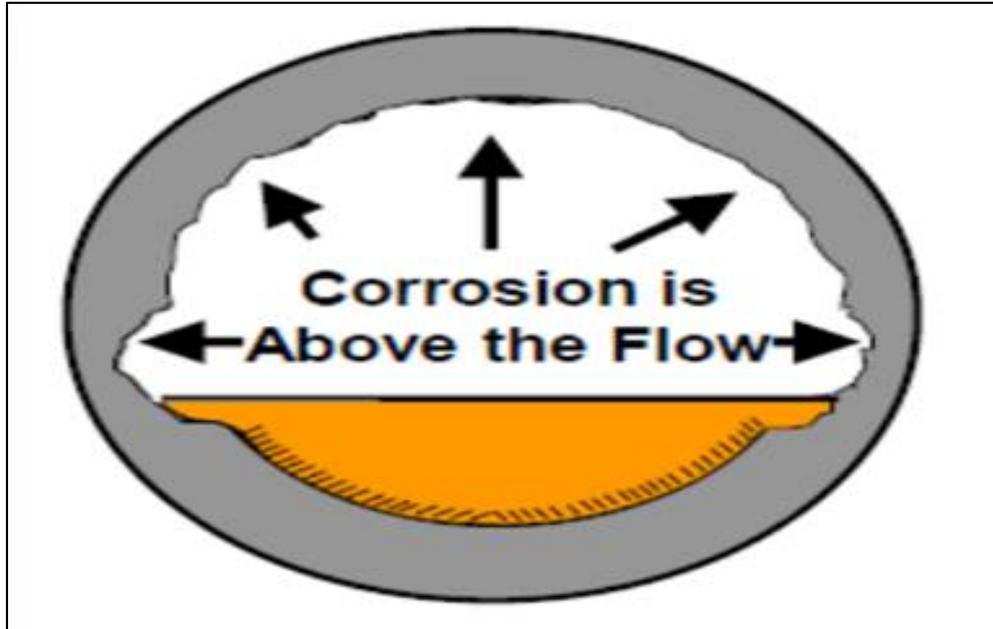
El cemento Portland es un silicato de calcio y su hidratación ineludiblemente libera hidróxido de calcio (Portlandita),  $Ca(OH)_2$ . (Consejo superior de investigaciones científicas, 1996)

El ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) generado por la bacteria del alcantarillado reaccionará con el hidróxido de calcio liberado del cemento Portland. (Consejo superior de investigaciones científicas, 1996)

La reacción es la siguiente:  $Ca(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O$ . Los productos de esta reacción son yeso y agua, el yeso es soluble en agua, por lo que, en un ambiente de alcantarillado húmedo, el yeso se disuelve. Este proceso es

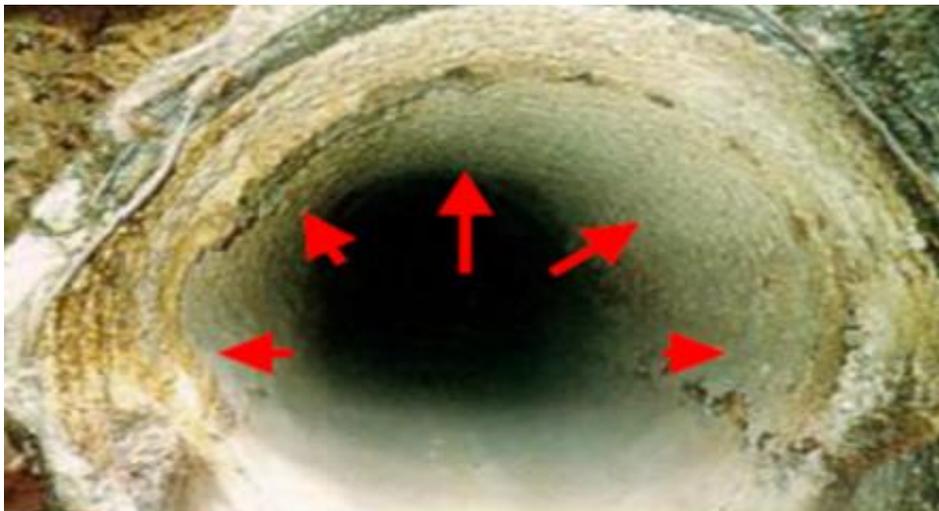
continuo, y deja una nueva capa de cemento Portland lista para atacada. (Rodriguez, 2017)

**Figura 13** Donde se produce la corrosión



Fuente: Sika (2019)

**Figura 14** Zona de afectación de la corrosión



Fuente: Sika (2019)

## **2.1.8 Casos reales de estudio sobre reparación con mortero 100% CAC**

### **Colector principal, París región – Fase 1, France, 2016**

- Durante un siglo, el colector principal se utilizó a plena capacidad sin una degradación significativa.
- Debido al cambio en la repartición del agua a varias plantas, se reportaron degradaciones severas dentro de los 20 años posteriores a los cambios.
- En 2006, la rehabilitación realizada con mortero de reparación tradicional no tuvo éxito, ya que en pocos años el mortero se había degradado mucho.
- Después de una exhaustiva investigación y pruebas, se utilizó mortero 100% CAC para la renovación de 4.500 metros lineales.
- La renovación completa se llevó a cabo en menos de 4 meses.

### **Planta de tratamiento de aguas residuales, DUBAI, 2016**

- La mayor parte de las aguas residuales llegan a la planta de tratamiento de aguas residuales en camiones cisterna, lo que provoca una fuerte liberación de H<sub>2</sub>S en la cámara de sedimentación de arenas.
- Se ha reportado una fuerte corrosión.
- El reto era llevar a cabo la reparación sin interrupción de la planta.
- el tiempo máximo permitido era de sólo 4 horas.
- Para la rehabilitación se utilizó mortero 100% CAC con un endurecedor de superficie especial que permite respetar este riguroso requerimiento de tiempo.
- La renovación completa se llevó a cabo en 4 ciclos de 4 horas cada uno.

## **2.1.9 Control de la corrosión biogénica**

### **Soluciones de construcción:**

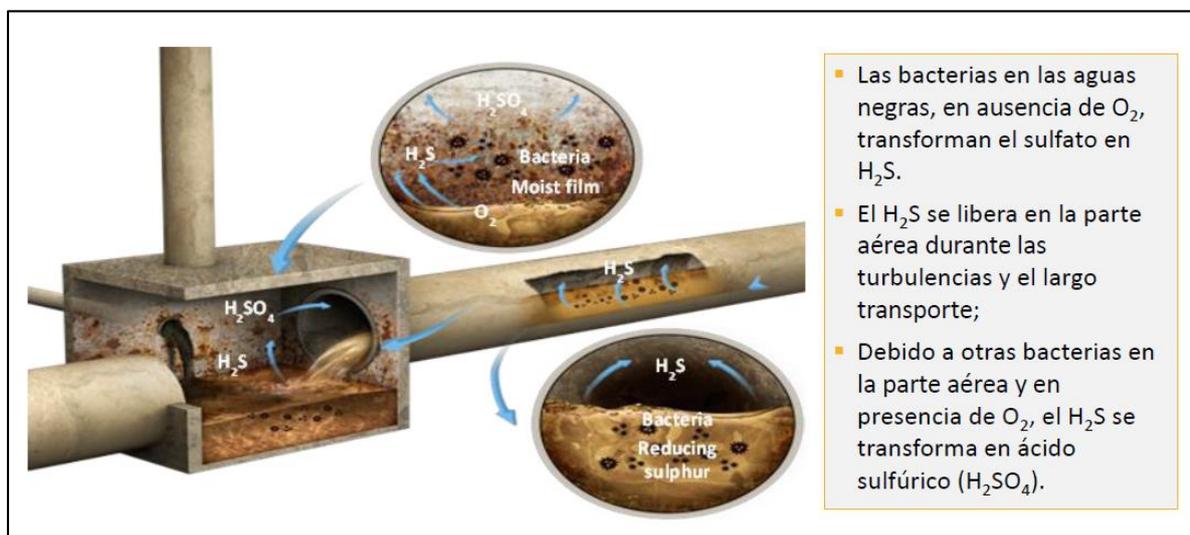
- Diseño adecuado para evitar la formación de H<sub>2</sub>S.
- Ventilación
- Hormigón con resistencia XA
- Productos de cristalización
- Aditivo biocida

- 100% CAC Tecnología de Mortero (base aluminato de calcio)

### Soluciones de rehabilitación:

- Recubrimientos poliméricos: epoxi + poliuretano
- Recubrimientos plásticos
- Tubo curado in situ (CIPP)
- Plástico reforzado con fibra (FRP Shell)
- Nitrato de calcio para impedir la formación de H<sub>2</sub>S.
- 100% CAC Tecnología de Mortero (base aluminato de calcio).

**Figura 15** Como se produce la corrosión biogénica



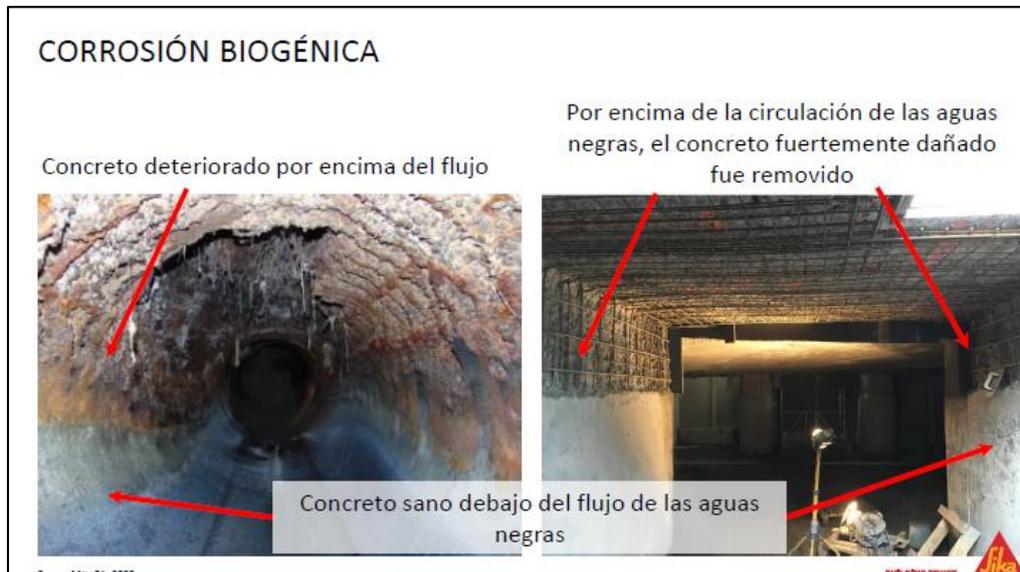
Fuente: Biogenic corrosion in sewers (2014)

### 2.1.10 ¿Cómo se produce la corrosión biogénica?

- El cemento Portland contiene silicato de calcio y su hidratación libera ineludiblemente hidróxido de calcio (Portlandite), Ca(OH)<sub>2</sub>. (Sika Technologies, 2021)
- El ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) generado por la bacteria del alcantarillado reaccionará con el hidróxido de calcio liberado del cemento Portland. (Sika Technologies, 2021)
- La reacción es la siguiente: Ca(OH)<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = CaSO + 2H<sub>2</sub>O. Esta reacción produce yeso y agua. (Sika Technologies, 2021)

- El yeso es soluble en agua. En un entorno húmedo de alcantarilla el yeso se disuelve. Este fenómeno perturbador sigue dejando una capa fresca de cemento Portland para más ataque. (Sika Technologies, 2021)

**Figura 16** Efectos corrosión biogénica



Fuente: Biogenic corrosion in sewers (2014)

### 2.1.11 Gases en alcantarillas

No es raro que haya explosiones en alcantarillas, y algunos empleados han fallecido al inhalar gases tóxicos causados por actividad biológica o descargas industriales.

La gasolina que ha escapado de tanques de almacenamiento sub superficiales corroídos o que ha sido descargada deliberadamente por estaciones de servicio es la causa más común de explosiones en alcantarillas. Los químicos industriales como el carburo de calcio, que puede reaccionar con el agua, y el sulfuro de hidrógeno y el metano, que se producen biológicamente, son fuentes adicionales de gases explosivos. (McGhee, 1999)

La actividad biológica en las alcantarillas puede disminuir la cantidad de oxígeno presente en la atmósfera, lo que, por sí solo o en conjunto con la presencia de sulfuro de hidrógeno, podría resultar en la muerte de trabajadores vulnerables.

Antes de que los equipos de trabajo lleguen a los pozos de inspección, el contenido de gas debe ser examinado. Los trabajadores bajo el terreno deben llevar un arnés conectado a una grúa elevada que les permitirá ser rescatados de la alcantarilla si pierden el conocimiento. (McGhee, 1999)

**Figura 17** Contaminación por gases peligrosos



Fuente: Biogenic corrosion in sewers (2024)

En caso de presentarse dificultades, al menos una persona debe permanecer sobre el terreno para ayudar a quienes están debajo.

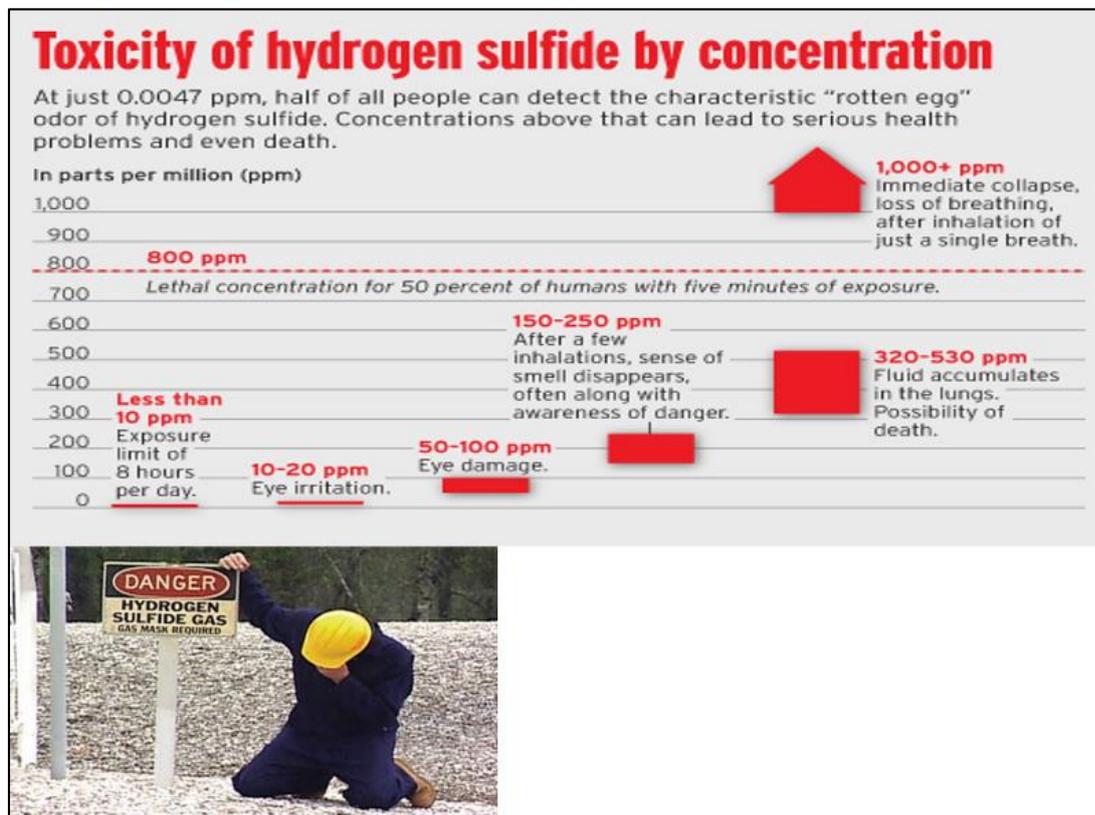
En caso de una atmósfera peligrosa, se deben proporcionar y usar mangueras o máscaras de gas. En ocasiones, los ventiladores portátiles pueden ventilar forzosamente las alcantarillas para eliminar los gases nocivos. (McGhee, 1999)

**Tabla 1** Concentración de gases

Tiempo de exposición (min)	Concentraciones letales	
	mg/m3	ppm
1	2129	1521
10	963	688
20	759	542
30	661	472
60	521	372

Fuente: Biogenic corrosion in sewers (2014)

**Figura 18** H2S gas venenoso



Fuente: Sika (2019)

## 2.1.12 Tecnologías de morteros con cementos aluminosos

### **Características físicas y químicas del cemento aluminoso y sus hormigones:**

El objetivo de esta primera parte es proporcionar un resumen breve de las propiedades físicas y químicas que se deben considerar al usar cemento aluminoso en concreto para estructuras. El término "cemento aluminoso" se refiere a aquellos aglomerantes hidráulicos cuyo principal componente es el aluminato monocálcico. Este cemento se obtiene mediante la reacción conjunta a altas temperaturas de una mezcla de materias primas calizas y aluminosas, seguida de enfriamiento y molienda. En Gran Bretaña, las materias primas suelen ser caliza y bauxita, y el cemento está definido y regulado por la norma BS 915. (Consejo superior de investigaciones científicas, 1996)

Las características más notables del cemento aluminoso son su rápida adquisición de resistencias, su resistencia a los ataques por sulfatos y ácidos diluidos, y su capacidad para crear concreto refractario que puede resistir altas temperaturas. El método de fabricación varía entre países. Por ejemplo, en Rusia se produce un cemento AG que combina cemento aluminoso y yeso, pero carece de las propiedades habituales del cemento aluminoso. En Alemania, el cemento aluminoso se produce en hornos verticales y tiene un contenido de azufre inusualmente alto. En Gran Bretaña, el cemento aluminoso se elabora fundiendo bauxita y caliza en un horno de reverbero bajo condiciones controladas. (Consejo superior de investigaciones científicas, 1996)

**Figura 19** Revestimiento interior de mortero de cemento



Fuente: Construtec (2020)

- **Composición química:**

El análisis químico del cemento aluminoso demuestra que consta de combinaciones de cal, alúmina, sílice y óxidos de hierro, junto con otros constituyentes menores, en cantidades que varían entre los siguientes límites porcentuales: CaO 36-42; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 38-51; SiO<sub>2</sub> 3,5-9,0; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0-14; FeO 0-8; IVI<sub>2</sub>O 0,1-1,4; TiO<sub>2</sub> 1,5-2,0; azufre como sulfuro 0-1,0; S<sub>03</sub> 0-0,5; álcalis totales 0,2-0,6. Los valores más altos para azufre y S<sub>03</sub> se refieren a los cementos fabricados a partir de escoria de horno alto. Como su nombre lleva consigo, el cemento aluminoso contiene una mayor proporción de alúmina que el cemento portland y cantidades menores de cal y sílice. (Consejo superior de investigaciones científicas, 1996)

Todos estos óxidos se combinan en el cemento para formar varios compuestos minerales (silicatos y aluminatos anhidros). Para simplificar la discusión de compuestos anhidros e hidratados es costumbre emplear fórmulas abreviadas, en las que: CaO = C; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = A; SiO<sub>2</sub> = S; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = F, y H<sub>2</sub>O = H. Así CA, representa GaO. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, aluminato mono cálcico. (Consejo superior de investigaciones científicas, 1996)

La constitución del cemento portland es más estable que la del cemento aluminoso. Sin embargo, los componentes comunes del cemento aluminoso son CA, CA<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>AS y C<sub>2</sub>S. El CA es el más importante de ellos, y el cemento sintético hecho solo de aluminato mono cálcico puro (CA) tiene la mayoría de las mismas propiedades

que el cemento aluminoso. Aún no hay mucha información sobre los compuestos de hierro y otro compuesto denominado "fibroso", que se cree que contiene cal, alúmina, sílice y óxido ferroso de manera más amplia. (Avula, Restrepo, & Jimenes, 2016)

- **Propiedades físicas:**

Los cementos aluminosos que se fabrican en Gran Bretaña tienen un color gris oscuro, casi negro, pero los que se fabrican en otros países pueden ser de un gris muy claro a negro. Sin embargo, la calidad no tiene nada que ver con el color, que depende de la cantidad y el grado de oxidación de los compuestos de hierro presentes. El peso específico oscila entre 3.00 y 3.25 y se controla principalmente por el contenido de hierro. El peso específico del cemento inglés suele ser de 3,20 a 3,25. (Consejo superior de investigaciones científicas, 1996)

Es razonable suponer una densidad aparente de 1,44 kg/l, pero como con todos los cementos pueden obtenerse valores comprendidos entre 1,12 y 1,74 kg/l, según el método aplicado para llenar la medida. (Consejo superior de investigaciones científicas, 1996)

La BS 915 permite un residuo máximo del 8 % sobre un tamiz British Standard No. 170, pero generalmente se obtienen valores entre 2 y 6 %. El método British Standard puede medir una superficie específica de 2.500 a 4.000 cm<sup>2</sup>/g, mientras que el BS 915 exige un mínimo de 2.250 cm<sup>2</sup>/g. (Consejo superior de investigaciones científicas, 1996)

El cemento aluminoso normalmente experimenta una ligera expansión cuando se fragua bajo agua, pero no se han registrado expansiones dañinas como el cemento portland. La BS 915 permite una expansión máxima de 1 mm en el ensayo de Le Chatelier, pero este ensayo tiene poco valor.

- **Propiedades físicas de morteros y hormigones:**

Debido a las diferencias en la consistencia de las pastas de cemento, el cemento aluminoso, con las mismas proporciones de mezcla, produce una masa más manejable que el cemento portland. Esta diferencia es más evidente en relaciones bajas de agua a cemento. Por ejemplo, con relaciones agua/cemento de 0.30-0.35, el factor de compactación es un 10-15% mayor que el del cemento portland con la misma proporción de agua a cemento; este efecto disminuye considerablemente a medida que aumenta la proporción de agua a cemento. (IMCYC, 2020)

Los tiempos de fraguado determinados por el método de la British Standard son ligeramente más largos que para el cemento portland, y en contraste con los cementos portland son prolongados por una moderada elevación de la temperatura. (IMCYC, 2020)

Al igual que con otros tipos de cemento, las resistencias a compresión y flexión del concreto hecho con cemento aluminoso, si se prepara y cura adecuadamente, aumentan con el tiempo y disminuyen al aumentar la proporción de agua a cemento. La tabla 2 muestra las resistencias típicas en diferentes edades para cubos de 10 cm de lado y probetas de flexión de 25 x 10 x 10 cm, utilizando un concreto estándar 1:2:4, curado en aire húmedo a temperatura estándar, con relaciones agua/cemento de 0.4, 0.5 y 0.6. La tabla 3 presenta las resistencias habituales para distintas relaciones agua/cemento a una edad de 7 días, y destaca la disminución de resistencia a medida que aumenta la proporción agua/cemento. (IMCYC, 2020)

La expansión de morteros y hormigones al mantenerse bajo agua, así como su contracción cuando se conservan al aire, es comparable a la de mezclas similares de concreto de cemento portland. (IMCYC, 2020)

**Tabla 2** Resistencias mecánicas

Edad Relacion a/c	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )			Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )		
	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4
6 horas	140	175	210	12	16	18
12 horas	390	440	490	30	34	37
18 horas	460	525	600	34	39	43
24 horas	490	560	630	37	41	45
3 días	580	650	705	42	46	49
7 días	630	705	755	45	49	52
28 días	670	740	790	47	51	54
90 días	705	775	825	49	53	56

Fuente: Editorial CSIC (1966)

Elaborado por: Jarrín (2024)

**Tabla 3** Resistencia del hormigón de cemento aluminoso a 7 días

Edad Relacion a/c	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
	0,35	775
0,4	755	52
0,45	740	51
0,5	705	49
0,55	670	47
0,6	630	45

Fuente: Editorial CSIC (1966)

Elaborado por: Jarrín (2024)

La tabla muestra las temperaturas de mezclas similares con cemento aluminoso y cemento portland ordinario conservadas sin pérdida de calor. El cemento aluminoso se hidrata más rápido, produciendo calor en un tiempo más corto que el cemento portland.

**Tabla 4** Elevación de temperatura del hormigón de cemento aluminoso

EDAD	ELEVACIÓN DE TEMPERATURA (°C)	
	Cemento aluminoso	Cemento portland ordinario
12 horas	36	8
24 horas	42	14
3 días	45	22

Fuente: Editorial CSIC (1966)

Elaborado por: Jarrín (2024)

### **2.1.13 Resistencia química del hormigón de cemento aluminoso**

El hormigón de cemento aluminoso de alta calidad es extremadamente resistente a los sulfatos y ácidos débiles que se encuentran en las aguas terrestres o que surgen de procesos industriales.

El hormigón debe ser denso e impermeable para resistir tales acciones. Como resultado, la resistencia del hormigón que ha sufrido una conversión rápida y tiene una alta relación agua/cemento se reducirá significativamente. Aunque hay poca información, parece que las masas con baja relación agua/cemento que han sufrido la conversión mantienen en mayor grado su resistencia química. (Consejo superior de investigaciones científicas, 1996)

Si el hormigón de cemento aluminoso se expone constantemente a soluciones alcalinas, se deslavará y se desintegrará. En condiciones normales, el hormigón de cemento portland puede enlazarse con el hormigón de cemento aluminoso y viceversa. Sin embargo, cuando el hormigón de cemento portland está expuesto al agua, los álcalis pueden transferirse al hormigón de cemento aluminoso y causar efectos negativos. (Consejo superior de investigaciones científicas, 1996)

Desde la década de 1940, se ha utilizado cemento de aluminato de calcio en alcantarillas. La resistencia mayor a los suelos que contienen sulfato, y su resistencia superior al desgaste en contraste con el cemento OPC típico fueron las motivaciones iniciales para usar este cemento. (Consejo superior de investigaciones científicas, 1996)

Los especímenes hechos con mezcla de aluminato de calcio puro (cemento y agregados) colocados en un contenedor de simulación experimentaron un deterioro limitado, con aproximadamente un 20% de pérdida de peso. En contraste, los especímenes hechos de CEM I o CEM III fueron completamente destruidos. (Chinchón, 2018)

Durante este análisis, algunos especímenes se emplearon en una alcantarilla en la zona de Hamburgo para contrastar los resultados de las pruebas de cámara

acelerada con el comportamiento real. Al comparar su degradación en ambas áreas, se pudo estimar lo siguiente: (Chinchón, 2018)

- Rendimiento de 1 a 24 (1 año en el contenedor equivalía a 24 años en una alcantarilla en condiciones reales de prueba. El pH calculado en la superficie de las muestras (CEMI, CEM III, cemento de aluminato de calcio y agregado de sílice y finalmente mortero de aluminato de calcio al 100 %) colocadas en el contenedor de simulación, muestran la diferencia en el desarrollo de los diferentes morteros. (Chinchón, 2018)
- El mortero hecho con 100% aluminato de calcio tiene un pH que se estabiliza alrededor de 3, mientras que el pH de los otros especímenes continúa reduciéndose hasta llegar a pH 1 para los morteros CEM I y CEM III. (Chinchón, 2018)
- Esta diferencia se debe a la naturaleza de la matriz de Aluminato de Calcio que impide la modificación del H<sub>2</sub>S en ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. (Chinchón, 2018)

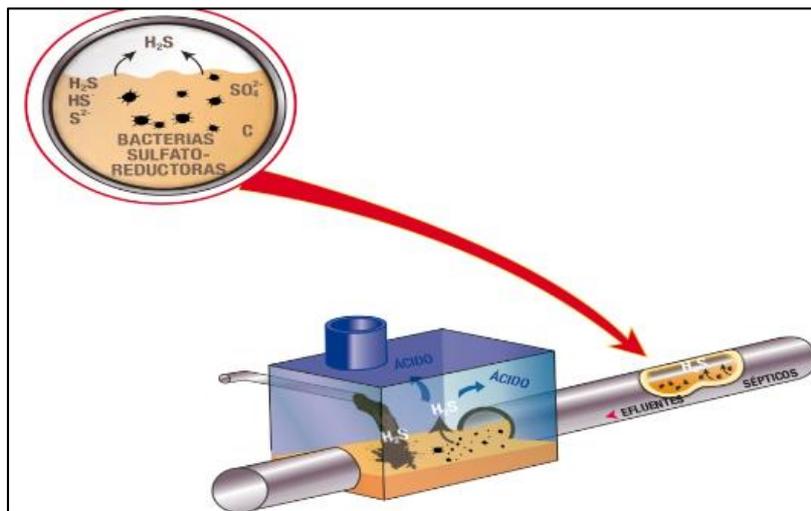
## **2.2 Marco Conceptual**

### **2.2.1 ¿Qué es la corrosión biogénica?**

En ausencia de efluentes industriales, el agua residual séptica no es potente con las superficies de hormigón a pH neutro. Sin embargo, al alto contenido de sulfato en las materias orgánicas, ciertas funciones biológicas pueden ocurrir.

Disminución de azufre por determinados patógenos anaerobios que dan gas anhídrido sulfúrico disuelto en el efluente.

**Figura 20** Principios de corrosión biogénica



Fuente: Oryggen (2020)

El H<sub>2</sub>S se libera al aire sobre del agua residual cuando se verifican ciertas condiciones, como la disminución de la pendiente, turbulencia y masa.

En la superficie húmeda del hormigón, otras cepas de bacterias se desarrollarán y utilizarán el H<sub>2</sub>S suelto como fuente de azufre convirtiendo este gas "muerto" en ácido sulfúrico agresivo (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), que combate rápidamente las superficies minerales. (Chinchón, 2018)

Dado que tiene un sistema de doble ataque en su matriz (ataque combinado de ácido y sulfato), este ácido sulfúrico es uno de los más fuertes para los soportes de cemento. Además, la sal producida por la reacción es muy soluble, lo que facilita un ataque posterior. El hormigón o los materiales de reparación suelen ser extremadamente vulnerables al deterioro en un lapso de tiempo muy corto. (IMCYC, 2020)

### 2.2.2 ¿Qué son las tecnologías con aluminato de calcio?

El cemento de aluminato de calcio se ha utilizado en las alcantarillas desde los años 40. Inicialmente, se eligió este cemento por su mayor resistencia a suelos con sulfatos, su rápido retorno a la operatividad y su superior resistencia al desgaste en contraste con el concreto de cemento estándar. (Sika, 2022)

El pH medido en la superficie de las muestras (CEMI, CEM III, cemento de aluminato de calcio con agregado de sílice, y mortero de aluminato de calcio puro) colocadas en el contenedor de simulación determinó la diferencia en el comportamiento de los distintos morteros.

Solo el mortero de aluminato de calcio puro mantiene un pH que se estabiliza alrededor de 3, mientras que el pH de las otras muestras sigue disminuyendo hasta alcanzar un pH de 1 para los morteros CEM I y CEM III. (Sika, 2022)

Este resultado en el comportamiento se debe a la naturaleza de la matriz de aluminato de calcio, que impide la conversión de H<sub>2</sub>S en ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Este comportamiento excepcional se explica por tres mecanismos de "defensa" del mortero: (Sika, 2022)

- Superior capacidad de neutralización del ácido en comparación con el cemento portland normal.
- Precipitación del gel de alúmina AH<sub>3</sub> cuando el pH de la superficie del hormigón cae por debajo de 10: el gel AH<sub>3</sub> es estable hasta pH 4 y proporciona una barrera contra ataques posteriores
- Efecto bacteriostático (el efecto más influyente): inhibición del crecimiento de bacterias, la oxidación del azufre se detiene, la producción adicional de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se detiene de facto y el pH se estabiliza cerca de 3 a 4.

### **2.2.3 ¿Qué es una red de alcantarillado?**

El sistema de alcantarillado está compuesto por una variedad de redes de tuberías y obras complementarias que se utilizan para recibir, conducir y evacuar las aguas residuales y los escurrimientos superficiales de las lluvias. Se ha decidido separar los sistemas de alcantarillado debido a las necesidades actuales de la ciudad y a los reglamentos existentes de control ambiental. Durante años, se ha optado por construirlos en conjunto por razones económicas y técnicas que en su momento se justificaban. Es obvio que hay situaciones técnicas comunes entre los diferentes tipos

de alcantarillado, como el diseño hidráulico, las profundidades, las especificaciones de construcción, etc.

#### **2.2.4 Clasificación de los alcantarillados**

Los sistemas de alcantarillado se clasifican de acuerdo con el tipo de agua que conducen:

A) **ALCANTARILLADO SANITARIO:** Es la red generalmente de tuberías, a través de la cual se deben evacuar en forma rápida y segura las aguas residuales municipales (domésticas o de establecimientos comerciales) hacia una planta de tratamiento y finalmente a un sitio de vertido donde no causen daños ni molestias. (Osejos & Verisimo, 2018)

B) **ALCANTARILLADO PLUVIAL:** Es el sistema que capta y conduce las aguas de lluvia para su disposición final, que puede ser por infiltración, almacenamiento o depósitos y cauces naturales. (Osejos & Verisimo, 2018)

C) **ALCANTARILLADO COMBINADO:** Es el sistema que capta y conduce simultáneamente el 100% de las aguas de los sistemas mencionados anteriormente, pero que dada su disposición dificulta su tratamiento posterior y causa serios problemas de contaminación al verterse a cauces naturales y por las restricciones ambientales se imposibilita su infiltración. (Osejos & Verisimo, 2018)

D) **ALCANTARILLADO SEMI-COMBINADO:** Se denomina al sistema que conduce el 100% de las aguas negras que produce un área o conjunto de áreas, y un porcentaje menor al 100% de aguas pluviales captadas en esa zona que se consideran excedencias y que serían conducidas por este sistema de manera ocasional y como un alivio al sistema pluvial y/o de infiltración para no ocasionar inundaciones en las vialidades y/o zonas habitacionales. (Osejos & Verisimo, 2018)

### **2.2.5 Alcantarillado Sanitario**

La principal prioridad en cualquier desarrollo urbano es asegurar el suministro de agua potable, pero una vez satisfecha esta necesidad, surge el problema de cómo manejar las aguas residuales. Por lo tanto, es necesario construir un sistema de alcantarillado sanitario para eliminar las aguas residuales generadas por los habitantes de una zona urbana, así como por el comercio y la industria. Un sistema de alcantarillado consta de varios elementos, como atarjeas, subcolectores, colectores, interceptores, emisores, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, descargas finales y estructuras complementarias. El destino final de las aguas residuales puede ser un cuerpo receptor o reutilización, dependiendo del tratamiento realizado y de las condiciones particulares del área de estudio. (Econet, 2020)

### **2.3 Marco Legal**

El uso de los morteros de base cemento aluminoso están aprobados por la Norma europea UNE-EN 1504. (UNE, 2005)

- 3 Aprobado por la CE en fábrica - cumple con la norma EN 1504-3 (mortero de reparación) y EN 1504-2 (protección de hormigón).
- 4 Marcado CE como mortero EN 1504-3 R4 - y Parte-2 como protección del concreto.

Assessment of the Sika MonoTop-4400 MIC according to the EN 1504-3 standard. (Sika, 2022)

Esta norma europea forma parte de una serie de normas que tratan de las disposiciones generales relacionados con los productos y sistemas para la reparación y protección de estructuras de hormigón.

La norma europea EN 1504 tiene por título: Productos y sistemas para la reparación y protección de estructuras de hormigón y está destinada a todos aquellos que intervienen en la reparación de hormigón.

Por primera vez en el sector, la norma EN 1504 trata todos los aspectos del proceso de reparación y/o protección incluyendo:

1. definiciones y principios de reparación;
2. la necesidad de un diagnóstico exacto de las causas del deterioro antes de hacer la especificación del método de reparación;
3. comprensión profunda de las necesidades del cliente;
4. requisitos de comportamiento del producto y métodos de ensayo;
5. control de producción en fábrica y evaluación de la conformidad, incluido el marcado CE;
6. métodos de aplicación en obra y control de calidad de los trabajos.

#### **4.1.1 Consideraciones básicas**

El sistema de alcantarillado está compuesto por una variedad de redes de tuberías y obras complementarias que se utilizan para recibir, conducir y evacuar las aguas residuales y los escurrimientos superficiales de las lluvias.

Se ha decidido separar los sistemas de alcantarillado debido a las necesidades actuales de la ciudad y a los reglamentos existentes de control ambiental.

Durante años, se ha optado por construirlos en conjunto por razones económicas y técnicas que en su momento se justificaban. Es obvio que hay situaciones técnicas comunes entre los diferentes tipos de alcantarillado, como el diseño hidráulico, las profundidades, las especificaciones de construcción, etc.

- Evaluación de las condiciones de la estructura;
- Identificación de la causa del deterioro;
- Decisión de los objetivos de protección y reparación tomada conjuntamente con los propietarios de la estructura;

- Selección del principio o principios apropiados de protección y reparación; selección de métodos;

- Definición de propiedades de los productos y sistemas (descritas en las normas EN 1504 Parte 2 a Parte 7;

- especificación de los requisitos de mantenimiento después de realizar la protección y reparación.

EN 1504-2: Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón.

Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad.  
Parte 2: Sistemas de protección superficial del hormigón.

EN 1504-3: Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón.

Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad.  
Parte 3: Reparación estructural y no estructural.

#### **4.1.2 Número de documento y su descripción**

EN 1504-1: Describe términos y definiciones incluidas en la norma.

EN 1504-2: Describe especificaciones para productos / sistemas de protección superficial del hormigón.

EN1504-3: Proporciona especificaciones para la reparación estructural y no estructural.

EN 1504-4: Proporciona especificaciones para la adherencia estructural.

EN 1504-5: Proporciona especificaciones para la inyección del hormigón.

EN 1504-6: Proporciona especificaciones para el anclaje de barras de hormigón armado.

EN 1504-7: Proporciona especificaciones para la protección de la armadura contra la corrosión.

EN 1504-8: Describe el control de calidad y la evaluación de la conformidad para los fabricantes de materiales.

EN 1504-9: Define los principios generales para el uso de productos y sistemas para la reparación y protección de hormigón.

EN 1504-10: Proporciona información sobre aplicación en obra de productos y control de calidad de las obras.

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1 Enfoque de la investigación

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, por cuanto para demostrar la eficiencia del sistema planteado se remite a informes técnicos, cálculos, gráficos, estudios de durabilidad, se da en la explicación de cómo el mortero base aluminato de calcio impide la formación y acción de las bacterias sulfato reductoras en la superficie de los sustratos de las alcantarillas.

### 3.2 Tipo de investigación

El alcance de esta investigación es de carácter descriptivo por cuanto para demostrar la eficiencia en términos de durabilidad y costos del mortero aluminoso se realiza un estudio comparativo de los sistemas tradicionales vs. el sistema propuesto.

Este trabajo de titulación se realiza mediante investigación correlacional, porque busca información relevante sobre el tema de protección biogénica que aún no son aplicadas e incentivadas por las entidades que manejan el sistema de aguas servidas en el cantón Guayaquil y, se evalúa el impacto positivo de la aplicación del sistema propuesto.

### 3.3 Métodos de investigación

El método de investigación aplicado es empírico porque se investiga a través de la observación de ensayos realizados, medición en tiempos de durabilidad y reducción de costos de mantenimiento.

### 3.4 Técnicas utilizadas:

- **Bibliográfica:** La Técnica aplicada es la bibliográfica donde se obtiene información relevante del tema investigado y la observación del objeto a analizar.

- **Ensayos:** Resistencia mecánica

### **3.5 Población**

La población objeto de estudio es la red de alcantarillado sanitario de la ciudad de Guayaquil que está operada y mantenida por Interagua.

### **3.6 Muestra**

La muestra se determina de manera no probabilística del tipo intencional o por conveniencia, para la evaluación y análisis de la presente tesis se selecciona como muestra la red de alcantarillado de la ciudad de Guayaquil.

Se selecciona una tubería de la red de alcantarillado la cual está afectada por la corrosión biogénica de forma agresiva, perdiendo en promedio 1 cm. de espesor de hormigón cada dos años.

En esta muestra se puede determinar los costos de reparación recurrente y la afectación a los usuarios de la red.

### **3.7 Equipos necesarios**

#### **3.7.1 Materiales:**

- ✓ Producto suficiente de mortero aluminoso.
- ✓ Agua limpia.
- ✓ Agente lubricante para bombear.

#### **3.7.2 Equipo esencial:**

- ✓ Herramientas de mano: Llana, bailejo y cepillo para dar acabado.
- ✓ Eliminación del hormigón: Martillo neumático o herramientas manuales.
- ✓ Jarra graduada.
- ✓ Curado: Agua o Sikagard 230 MIC.

### 3.7.3 Equipo necesario para preparar el soporte:

La metodología adecuada de limpieza debe utilizarse para preparar el soporte. La elección del método dependerá del tipo de hormigón, los daños que presente y la profundidad del hormigón contaminado.

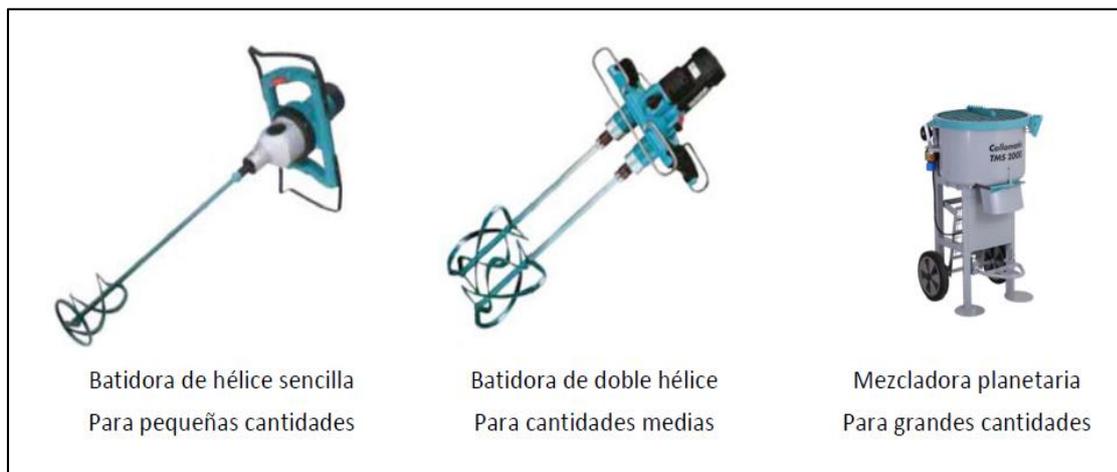
Nota: En general, cuando el hormigón ha sido dañado por corrosión biogénica, dejando expuestos los áridos, se solicita preparar la superficie mediante un chorreado con agua a una presión de 300 bar para lograr la rugosidad y limpieza necesarias.

Si la suciedad se encuentra en el interior del soporte (no solo en la superficie), se debe emplear una presión de agua más alta (hasta 2400 bar) hasta obtener un hormigón sólido y limpio.

Estos procedimientos solo se llevarán a cabo con la aprobación del supervisor o del ingeniero calificado.

- **Equipo de mezclado:**

**Figura 21** Equipos de mezclado



Fuente: Sika (2022)

- **Equipo de bombeo y proyección:**

Use un equipo de proyección por vía húmeda, y sólo un equipo para el mezclado del mortero:

**Figura 22** Equipos de mezclado



Fuente: Sika (2022)

- **Accesorios para bombear:**

- ✓ Mangueras para presiones de hasta 40 Bar.
- ✓ Compresor de aire: caudal mínimo es de 400 l/min a 7 bar.
- ✓ El aire del equipo debe ser limpio, seco y libre de aceite o contaminación.
- ✓ El aire deberá permanecer constantemente a una presión de funcionamiento y un volumen no inferiores a las especificadas por el fabricante de la máquina.

- **Evaluación de riesgos**

Es importante evaluar el riesgo de trabajar en espacios confinados, incluidas áreas con baja presencia de oxígeno, gases inflamables y gases tóxicos como el sulfuro de hidrógeno.

Se deben evaluar cuidadosamente los riesgos de ingresar a zonas con posibles peligros gaseosos y químicos relacionados con las líneas de alcantarillado.

Se deben considerar los riesgos para la salud y la seguridad debido a la caída de objetos o a defectos en la estructura.

Las plataformas y estructuras temporales deben ofrecer una zona de trabajo segura y estable.

Uso de equipos de protección personal: El manejo de productos de cemento genera polvo, que puede causar irritación en los ojos, la piel, la nariz y la garganta.

Es necesario usar protección ocular adecuada en todo momento al manipular y mezclar productos.

Se deben usar mascarillas contra el polvo aprobadas para proteger la nariz y la garganta del polvo.

Se deben usar zapatos de seguridad, guantes y otras protecciones adecuadas para la piel.

- **Elaboración del soporte Hormigón**

El soporte de hormigón debe estar limpio, en buen estado y libre de polvo, materiales sueltos, contaminación superficial y materiales que dificulten la adherencia. El hormigón laminado débil, dañado y deteriorado se retirará mediante procedimientos apropiados. (Sika Technologies, 2021)

Se puede medir la superficie del pH para determinar si el soporte de hormigón limpio es adecuado. Antes de comenzar la aplicación, el soporte debe tener un pH mínimo de 10. (Sika Technologies, 2021)

Nota: Una limpieza por chorro de agua a alta presión (>300 bar) puede ser suficiente para obtener un soporte preparado en bruto que exponga el agregado para un hormigón ya afectado por la corrosión biogénica. Sin embargo, si la rugosidad de la superficie no es suficiente o el pH no se mantiene por debajo de 10, se debe realizar una limpieza adicional con los medios apropiados. Esto puede incluir chorro de arena, rugosidad mecánica (con una presión de hasta 2500 bar). Antes de la aprobación del supervisor o del ingeniero calificado, estos procedimientos no se llevarán a cabo. (Sika Technologies, 2021)

Si los problemas causados por técnicas de limpieza reducen la adherencia o la integridad estructural, el hormigón fisurado o de laminado debe ser removido o reparado. Mojar y dejar secar la superficie puede revelar microfisuras. La superficie seca tiene líneas oscuras que indican grietas debido a la retención de agua. (Sika Technologies, 2021)

Antes de la aplicación, la superficie seleccionada debe ser inspeccionada visualmente. El hormigón de laminado se puede detectar golpeando la superficie con un martillo de metal. Cualquier superficie suelta, agrietada o dañada se notificará inmediatamente al supervisor o al ingeniero cualificado. En estas situaciones, no se aplicará el mortero de reparación sin el consentimiento previo por escrito del supervisor. (Sika Technologies, 2021)

- **Hidratación del soporte**

Las superficies de hormigón deben ser saturadas con agua limpia a baja presión por algunas horas antes de la aplicación del mortero de reparación hasta que se obtenga una superficie saturada seca (SSD). (Sika, 2022)

Al momento de la aplicación, elimine el agua que sobra, por ejemplo, utilizando una esponja limpia o presión de aire para áreas grandes. Asegúrese de que no haya agua estancada en la superficie. (Sika, 2022)

La superficie debe lograr una apariencia mate oscura sin brillo y los poros y fosas de la superficie no deben contener agua (SSD). Utilice aire a presión (sin

aceite) para eliminar el exceso de agua en zonas de difícil acceso. No debe permitirse que la superficie se seque antes de la aplicación. (Sika, 2022)

- **Combinación**

La mezcla del Sika MonoTop®-4400 MIC debe hacerse solamente con agua potable limpia, sin ningún otro producto adicional. La proporción de mezcla del Sika MonoTop®-4400 MIC está entre 2,8 y 3,2 litros de agua por cada 20 kg de polvo. No utilice el agua más allá de los límites máximos y mínimos establecidos. (Sika, 2022)

El Sika MonoTop®-4400 MIC puede ser mezclado con un mezclador de taladro manual de baja velocidad (< 500 rpm) o usando un mezclador de acción forzada. Verter el mínimo recomendado de agua en un recipiente de mezcla adecuada. Mientras se revuelve lentamente, añadir el polvo al agua y mezclar bien durante al menos 5 minutos, añadiendo agua potable limpia si es necesario hasta la cantidad máxima especificada y ajustando a la consistencia requerida. (Sika, 2022)

- **Proyección**

El área para trabajar debe mantenerse limpia y organizada, sin obstáculos.

Registre las condiciones del soporte, la temperatura ambiente y la humedad relativa. Revise la información sobre el tiempo de vida útil en el empaque o en la hoja de datos del producto y tenga en cuenta las condiciones climáticas, como altas o bajas temperaturas y humedad. (Sika, 2022)

Las aplicaciones externas deben protegerse adecuadamente. No aplique mortero de reparación en condiciones de temperaturas altas, humedad, lluvia o si hay riesgo de temperatura fría en las siguientes 24 horas en áreas desprotegidas. (Sika, 2022)

Calcule el volumen necesario para la aplicación y el rendimiento del producto. Asegúrese de tener suficiente material en el sitio de trabajo para llevar a cabo la proyección. (Sika, 2022)

El espesor mínimo de la capa del Sika MonoTop®-4400 MIC en un pozo estándar (diámetro menor a 1.5 m) es de 15 mm. En el caso de estructuras más grandes, como pozos de registro de mayor tamaño (diámetro superior a 1.5 m), estaciones de bombeo o cámaras de descarga, el espesor mínimo de la capa debe ser de 25 mm. (Sika, 2022)

Cuando se aplique sobre la cabeza, se recomienda dividir los 25 mm en dos capas. Proyecte los primeros 10 a 15 mm y use una llana dentada para nivelar la superficie. No sobrecargue la superficie para evitar problemas de descuelgue. Aplique el espesor restante, húmedo sobre húmedo, aproximadamente dentro de una hora, dependiendo de las condiciones ambientales durante la aplicación. (Sika, 2022)

- **Acabado de la superficie**

Se recomienda acabar la superficie con un cepillo después de la proyección del mortero antes de que empiece a endurecerse. Esto ayudará a evitar grietas superficiales. No proyecte demasiado por encima de la superficie, especialmente cuando lo hace por encima de la cabeza.

No agregue agua a la superficie porque causará decoloración y grietas.

- **Curado**

El curado es fundamental para evitar un secado prematuro, que puede provocar grietas y hundimientos.

Inmediatamente después de terminar el tratamiento de la superficie, Sika MonoTop®-4400 MIC se cura con el endurecedor de interfaz Sikagard®-230 MIC. Si no se utiliza el endurecedor de superficies Sikagard-230 MIC, cure en agua durante al menos 8 horas después de la pulverización para garantizar que el aire permanezca húmedo y saturado.

En ambientes con baja humedad o fuertes corrientes de aire, el efecto endurecedor de superficie de Sikagard®-230 MIC debe complementarse con un curado en agua (aerosol, niebla o niebla) al menos 8 horas lo antes posible después de la aplicación de este producto. (Sika, 2022)

La aplicación deberá protegerse del viento, la lluvia, las heladas y la luz solar directa. El tiempo de curado depende de las condiciones ambientales. En temperaturas cálidas y con poca humedad, la aplicación se mantendrá húmeda para evitar un secado prematuro. (Sika, 2022)

- **Tiempo de vuelta a servicio**

Antes de exponer el producto Sika MonoTop®-4400 MIC al agua residual, debe estar endurecido.

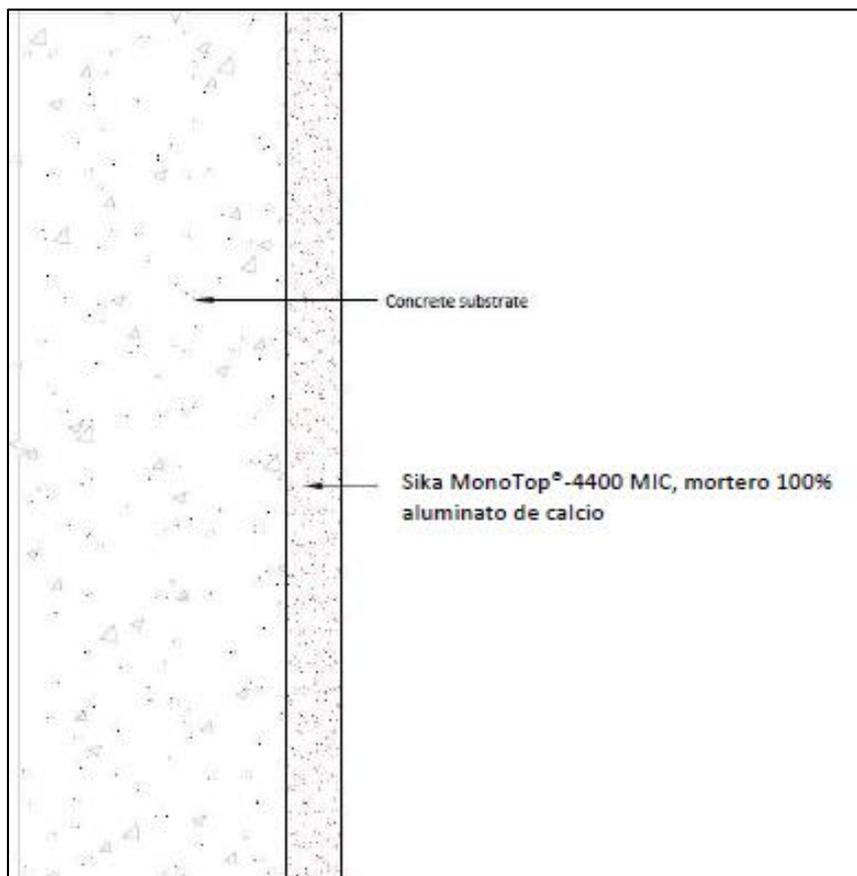
Si se requiere una nueva puesta en servicio rápida (aproximadamente 1 hora con un flujo de agua de moderado a lento), se debe aplicar el endurecedor de superficies Sikagard-230 MIC a la superficie. De lo contrario, el curado completo de Sika MonoTop®-4400 MIC tardará de 6 a 9 horas dependiendo de las condiciones ambientales.

- **Límites de aplicación**

- ✓ No agregue cemento portland u otros agregados.
- ✓ El equipo de aspersion debe estar limpio y libre de contaminación por cemento Portland para evitar un endurecimiento prematuro y una menor resistencia a la corrosión.
- ✓ Evite su uso bajo luz solar directa y/o corrientes de aire fuertes.

- ✓ No añadir más agua que la dosis máxima recomendada. Se debe comprobar la consistencia de la mezcla después de cada uso.
- ✓ Verifique la vida útil de los materiales con frecuencia.
- ✓ Sólo para un apoyo sano y bien preparado.
- ✓ No agregue agua adicional durante el tratamiento de la superficie, ya que esto puede causar decoloración y agrietamiento.

**Figura 23** Croquis típico del sistema



Fuente: Sika (2022)

## 2.8. Análisis e interpretación de resultados

### ✓ Prueba de ácido sulfúrico biogénico

Realizado por: Fraunhofer Institute for Environmental, Safety and Energy Technology UMSICHT. Osterfelder Strasse 3. 460447 Oberhausen. en Alemania.

El propósito de este ensayo fue desarrollar una prueba de intemperismo en diferentes cubos de hormigón atacados contra la corrosión del ácido sulfúrico. La cámara de pruebas utilizada conduce a una aceleración de la meteorización debido a las condiciones optimizadas para las bacterias en cuanto a concentración de  $H_2S$ , contenido de nutrientes, humedad y temperatura. Según las experiencias de la Universidad de Duisburg-Essen (Centro de Biofilms, Prof. Wolfgang Sand), el factor de aceleración de muestras de hormigón está en el rango de 8 a 10. Es decir, que un período de 6 meses en la cámara es comparable a un período de 48 a 60 meses en un sistema de alcantarillado real. (Sika Technologies, 2021)

La corrosión por ácido sulfúrico biogénico (BSA) es un ataque químico a superficies de diferentes materiales como hormigón, hierro y polímeros. Es causada por bacterias productoras de ácido sulfúrico, del género thiobacillus y otros. (Sika Technologies, 2021)

Ocurre principalmente en sistemas de aguas residuales, donde los compuestos de azufre son degradados por microorganismos. Los compuestos gaseosos de azufre se liberan y se acumulan en el espacio de cabeza. La oxidación química de  $H_2S$  a azufre elemental y la posterior oxidación biológica mediante tiosulfato y otros politionatos provocan una disminución del pH ( $< 7$ ).

Los compuestos de azufre reducidos se oxidan a ácido sulfúrico, lo que produce energía para el crecimiento de tiobacilos (*T. neapolitanus*, *T. intermedia*), que disminuyen aún más el pH. Por debajo de un pH de 5,5 *A. thiooxidans* coloniza la superficie. Entre pH 2,0-3,0 este organismo encontrará condiciones óptimas de crecimiento. El resultado es una colonización sucesiva de las superficies por diferentes tiobacilos. (Sika Technologies, 2021)

El ácido sulfúrico se produce como metabolito de estos organismos provocando un ataque a materiales susceptibles.

La prueba de intemperismo se realizó del 18 de julio de 2018 al 18 de junio de 2019. Se examinaron muestras individuales para determinar el crecimiento

microbiano. Estas pruebas se realizaron en colaboración con Brill+Partner GmbH, Bremen.

**Tabla 5** Descripción de las muestras

No. MEZCLA	FORMA	MEDIDAS (mm)	DESCRIPCIÓN
A	Cubo	100x100x100	Concreto de referencia
B	Cubo	100x100x100	Sika MonoTop 4400 MIC
C	Cubo	100x100x100	Sika MonoTop 4400 MIC + Fibra de acero
D	Cubo	100x100x100	Mortero cementicio de aluminato de Calcio + agregados de sílice
E	Cubo	100x100x100	Concreto de referencia GGBS + SF

Fuente: Reporte UMSICHT (2019)

Elaborado por: Jarrín (2024)

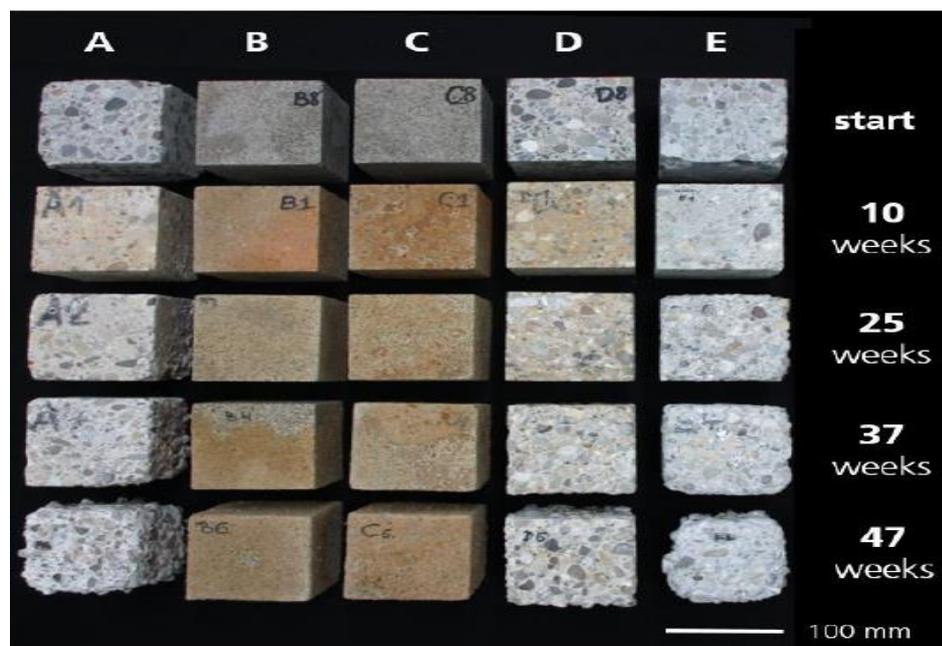
**Tabla 6** Resultados de la muestra a 47 semanas

No. MEZCLA	VAR. MASA %	VAR. RUGOSIDAD SUP. %	PH FINAL
A	-11,8	479	1,9
B	-6,8	42	3
C	-6	-8	2,8
D	-16,7	314	1,5
E	-35,5	1462	1,2

Fuente: Reporte UMSICHT (2019)

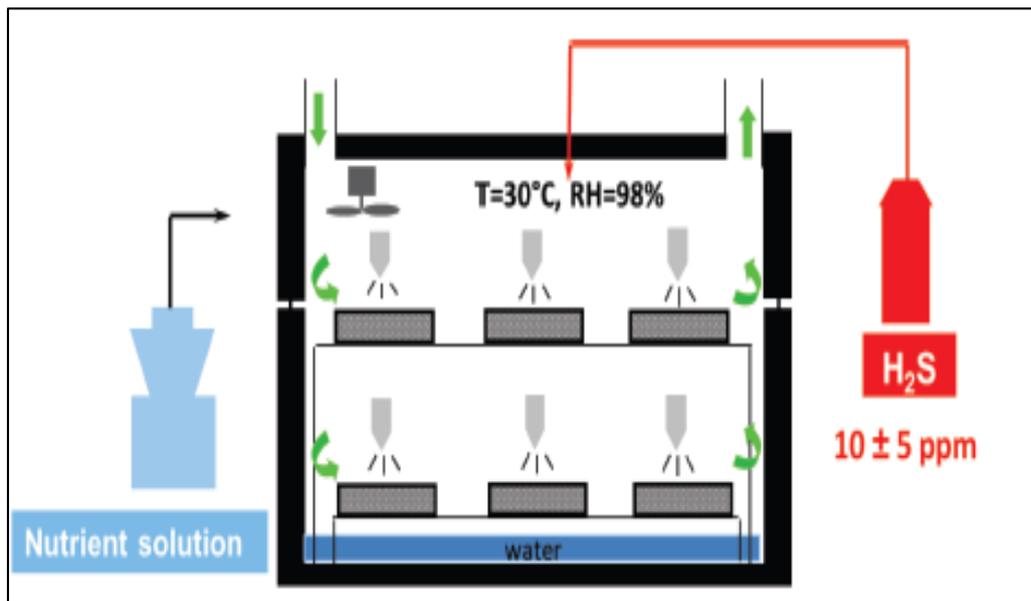
Elaborado por: Jarrín (2024)

**Figura 24** Variación de masa



Fuente: Reporte UMSICHT (2019)

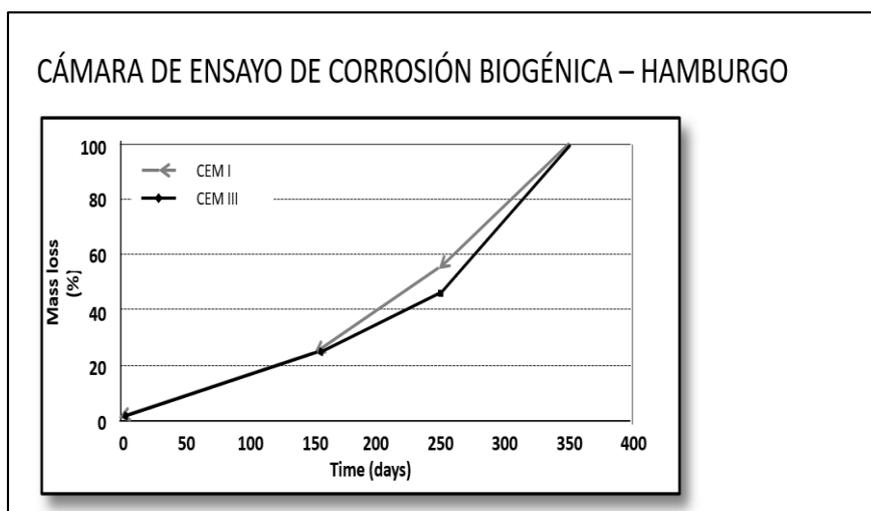
**Figura 25** Esquema de ensayo de laboratorio



Fuente: Reporte UMSICHT (2019)

- ✓ Cámara de aproximadamente  $1 \text{ m}^3$
- ✓  $\text{HR}=98\% + T=30^{\circ}\text{C}$  para ayudar al desarrollo de las bacterias
- ✓ Alimentado con bacterias de una alcantarilla real
- ✓ Ácido sulfhídrico + nutriente introducido para alimentar a las bacterias.
- ✓ Comparación realizada con las muestras acompañantes expuestas en una alcantarilla real en la zona de Hamburgo se midió un factor de aceleración = 24

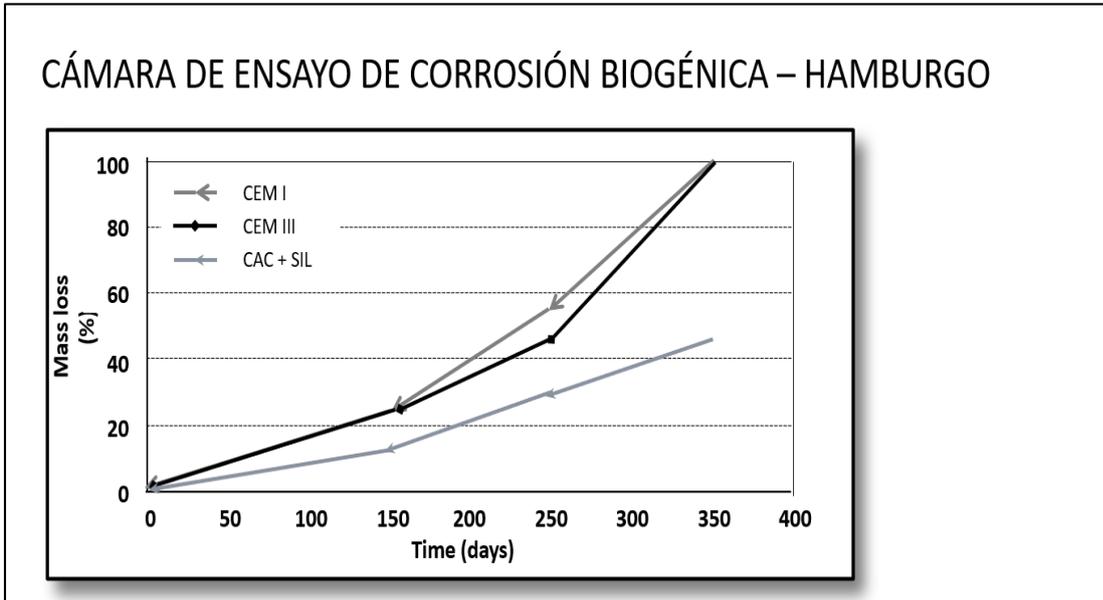
**Figura 26** Cámara de ensayo



Fuente: Science Direct (2014)

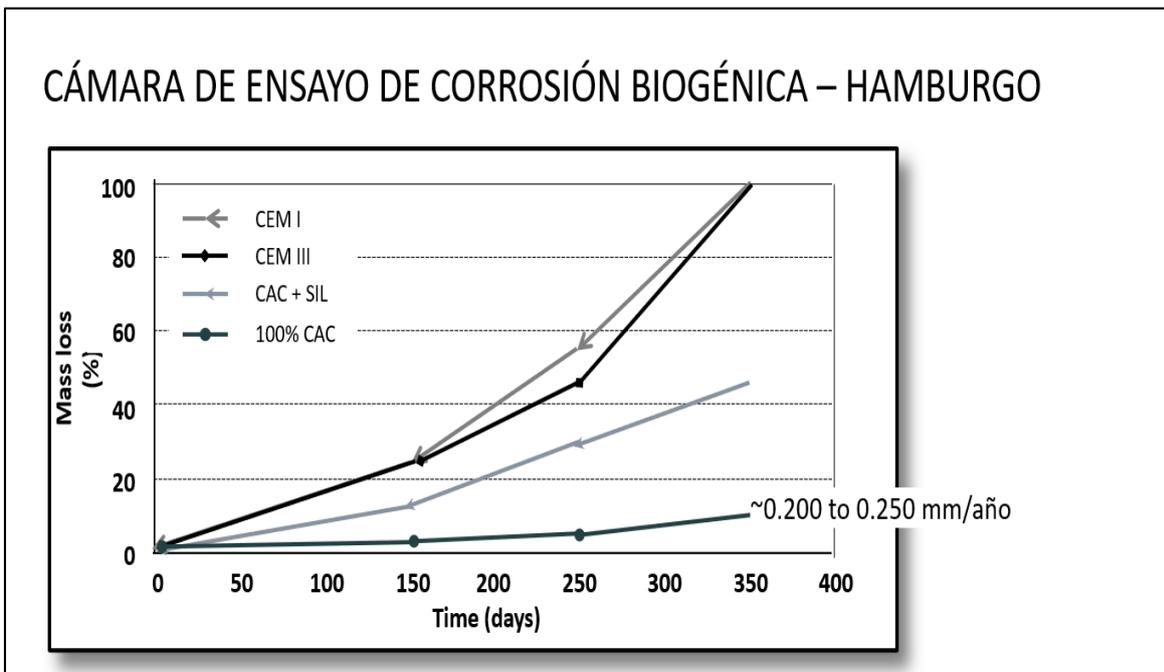
- ✓ Comparación realizada con las muestras acompañantes expuestas en una alcantarilla real en la zona de Hamburgo se midió un factor de aceleración = 24.

**Figura 27** Cámara de ensayo de corrosión biogénica



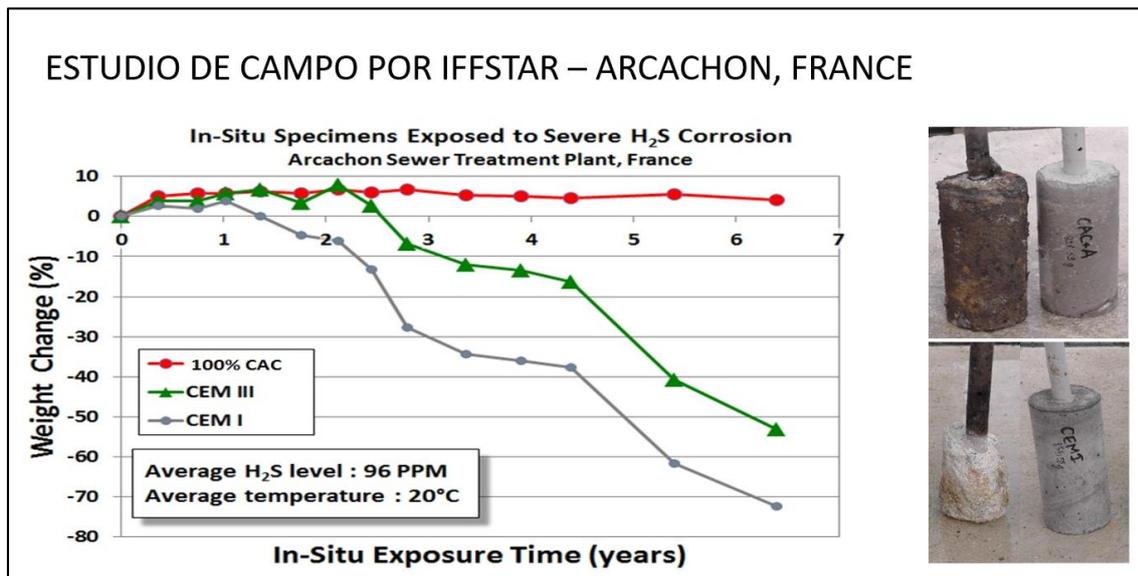
Fuente: Science Direct (2014)

**Figura 28** Cámara de ensayo de corrosión biogénica 100% CAC



Fuente: Science Direct (2014)

Figura 29 Estudio de campo



Fuente: Science Direct (2014)

## **CAPITULO IV: PROPUESTA**

### **4.1 Título de la propuesta**

Implementación de mortero elaborado con aluminato de calcio en la construcción y mantenimiento del sistema de alcantarillado de aguas servidas.

### **4.2 Objetivo General**

Desarrollar una solución efectiva y duradera para prevenir la corrosión biogénica en el sistema de alcantarillado de aguas servidas.

### **4.3 Justificación**

Este análisis busca compilar y sintetizar los conocimientos existentes sobre la corrosión biogénica en sistemas de alcantarillado construidos con mortero a base de aluminato de calcio, evaluando los mecanismos involucrados, las propiedades del material que afectan su vulnerabilidad y las estrategias para mitigar el daño. A través de la revisión de estudios previos y la incorporación de nuevos hallazgos, se pretende ofrecer una visión integral de cómo mejorar la durabilidad y la vida útil de las infraestructuras de saneamiento en presencia de corrosión biogénica.

El mortero a base de aluminato de calcio se utiliza en sistemas de alcantarillado por sus propiedades mecánicas y de endurecimiento rápido. No obstante, la corrosión biogénica, causada por la actividad de microorganismos que producen ácidos, puede acelerar la degradación del material, comprometiendo la integridad estructural de los sistemas de alcantarillado. Comprender cómo este tipo de mortero responde a la corrosión biogénica es esencial para garantizar su durabilidad y prevenir fallos prematuros en la infraestructura.

Los daños causados por la corrosión biogénica pueden resultar en costosos programas de reparación y mantenimiento, así como en la necesidad de reemplazar secciones del alcantarillado. Estos costos se pueden reducir significativamente si se desarrollan mejores estrategias de diseño y selección de materiales que consideren la resistencia a la corrosión biogénica. Investigaciones y soluciones orientadas a

mitigar este problema tienen el potencial de generar ahorros considerables para las autoridades locales y responsables de la infraestructura.

La investigación sobre la corrosión biogénica en morteros a base de aluminato de calcio puede conducir al desarrollo de nuevos materiales y técnicas de construcción que sean más resistentes a los ataques biogénicos. Esto no solo ampliará el conocimiento sobre el comportamiento de estos materiales en condiciones adversas, sino que también promoverá innovaciones en la ingeniería civil y la construcción de alcantarillados.

#### **4.4 Descripción de la propuesta de solución**

Los hallazgos de estudios sobre la corrosión biogénica pueden informar la creación y actualización de normas y directrices para el diseño y mantenimiento de sistemas de alcantarillado. Esto contribuirá a establecer mejores prácticas y estándares que aseguren la longevidad y la eficiencia de las infraestructuras de saneamiento.

##### **a) Soluciones de construcción:**

- ✓ Diseño adecuado para evitar la formación de ácido sulfhídrico
- ✓ Ventilación.
- ✓ Hormigón con resistencia XA.
- ✓ Productos de cristalización.
- ✓ Aditivo biocida.
- ✓ 100% CAC tecnología de mortero.

##### **b) Soluciones de rehabilitación:**

- ✓ Recubrimientos poliméricos: Epoxi + poliuretano.
- ✓ Recubrimientos plásticos.
- ✓ Tubo curado in situ CIPP (cured in place pipe)
- ✓ Plástico reforzado con fibra (FRP Shell)
- ✓ Nitrato de calcio para impedir la formación de ácido sulfhídrico.
- ✓ 100% CAC tecnología de mortero.

#### 4.4.1 Recubrimientos poliméricos: Epoxi + poliuretano:

La idea:

Para proteger el hormigón con un revestimiento de resina resistente a los ácidos.

La realidad:

Los recubrimientos poliméricos:

- ✓ Superficie libre de defectos.
- ✓ Sustrato seco para aplicación y ambiente seco para el curado.
- ✓ En condiciones reales de rehabilitación de un alcantarillado, estas dos condiciones son difíciles y/o muy costosas de conseguir, lo que lleva a una menor resistencia del revestimiento.

**Figura 30** Planta de tratamiento Haifa, Israel, después de 5 años de renovación de las cámaras.



Fuente: Science Direct (2014)

Revestimiento de plástico: La Idea: Revestimiento antiácido para la protección de infraestructuras de concreto.

**Figura 31** Revestimiento de plástico antiácido



Fuente: Science Direct (2014)

La realidad:

- ✓ Bastante complejo para la rehabilitación
- ✓ Necesidad de soldar las juntas para asegurar una barrera total
- ✓ Bastante costoso.

**Figura 32** Cámara de descarga en Singapur - inicialmente protegida por una membrana plástica



Fuente: Science Direct (2014)

#### 4.4.2 Tubo curado in situ [Cured In-Place Pipe (CIPP)]

La idea:

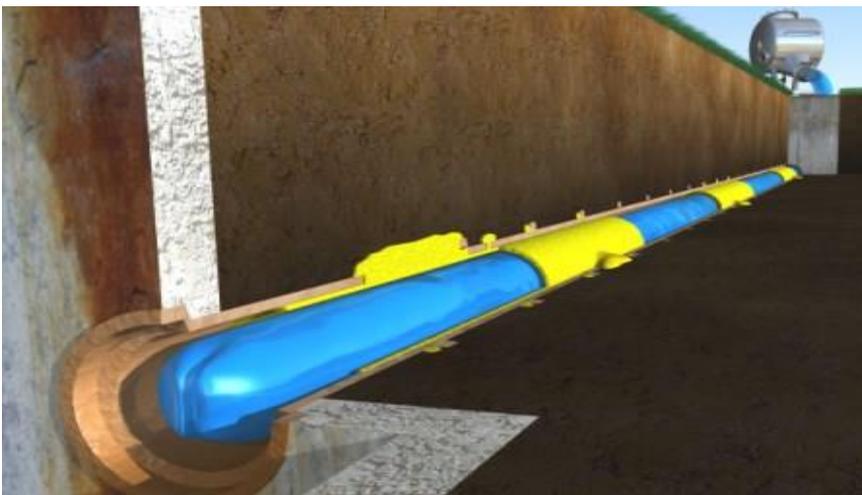
- ✓ Refuerzo estructural de tuberías de alcantarillado
- ✓ Solución a la infiltración / exfiltración
- ✓ Revestimiento de polímero que proporciona resistencia a la corrosión H<sub>2</sub>S

**Figura 33** Revestimiento de tubería curado en el lugar CIPP



Fuente: Science Direct (2014)

**Figura 34** CIPP



Fuente: Science Direct (2014)

La realidad:

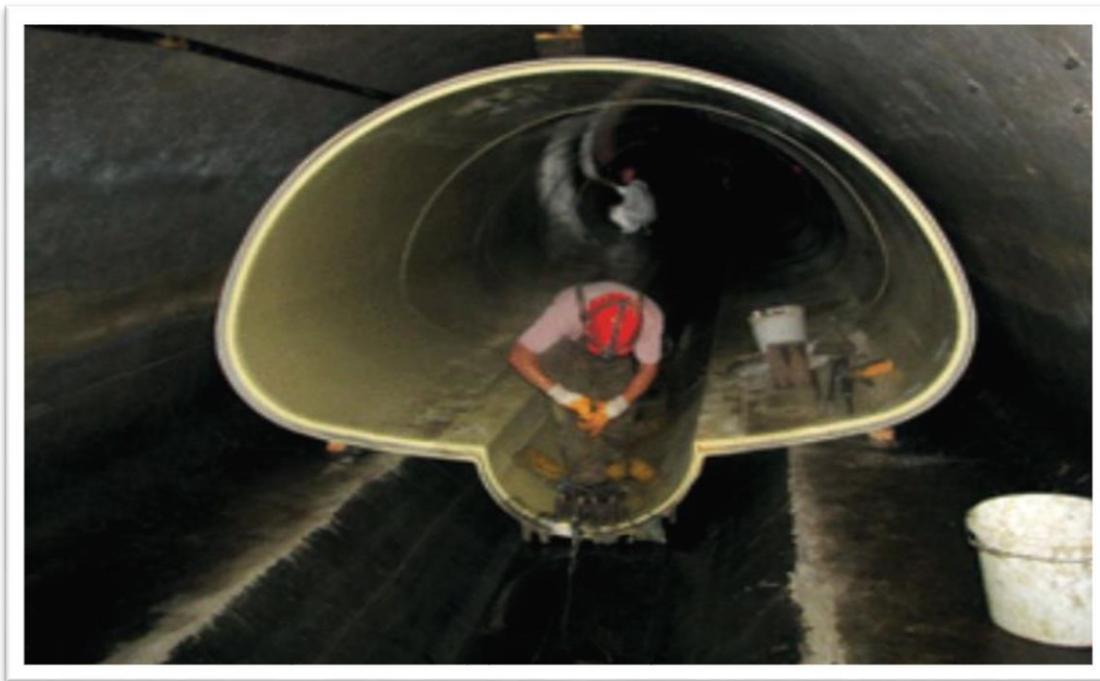
- ✓ Eficiente para las tuberías - pero limitado al diámetro <3 m
- ✓ Fabricado específicamente para cada proyecto
- ✓ Requiere bypass
- ✓ Deja todas las bocas de inspección y el pozo húmedo sin tratar.

Tubo de plástico reforzado con fibra:

La idea:

- ✓ Refuerzo estructural de tuberías de alcantarillado
- ✓ Solución a la infiltración / exfiltración
- ✓ Revestimiento de polímero que proporciona resistencia a la corrosión por ácido sulfhídrico

**Figura 35** Tubo de plástico reforzado con fibra



Fuente: Science Direct (2014)

La realidad:

- ✓ El método de rehabilitación muy costoso.
- ✓ Sólo forma regular.
- ✓ Punto débil - detalles de unión.
- ✓ Tiempo de ejecución muy alto.

- ✓ No utilizable en pozos de registro, pozos húmedos, etc.

Nitrato de calcio para impedir la formación de ácido sulfhídrico:

La idea:

- ✓ El nitrato de calcio precipita los sulfatos
- ✓ Esto evitará la formación de ácido sulfhídrico

**Figura 36** Nitrato de calcio en alcantarillas



Fuente: Science Direct (2014)

La realidad:

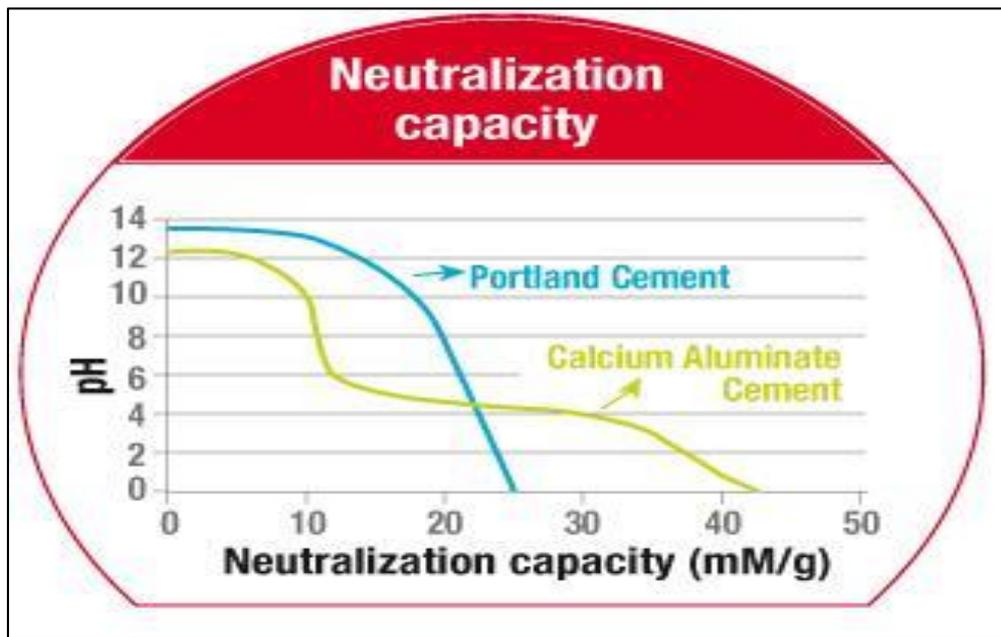
- ✓ 24h/24h Alimentación continua de reactivos químicos.
- ✓ Un enfoque costoso para los propietarios.
- ✓ No repara la degradación anterior.
- ✓ No siempre es efectivo.

- **100% CAC tecnología de mortero:**

La Teoría:

1. Primera barrera; alta capacidad de neutralización, superior a la del cemento Portland.

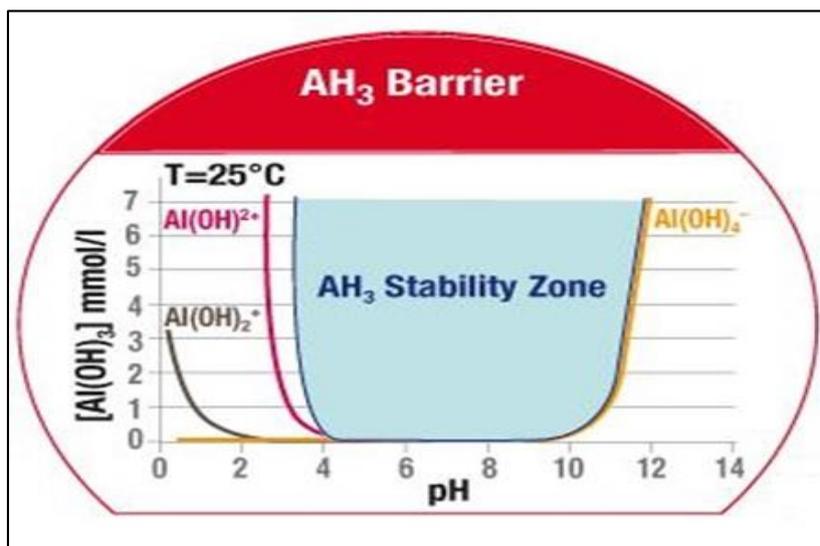
Figura 37 100% CAC tecnología de mortero - A



Fuente: Science Direct (2014)

2. Segunda barrera: El hidróxido de alúmina permanece químicamente estable a pH alrededor de 3 – 4., se forma por el gel de alúmina  $\text{AH}_3$ , cuando el pH cae debajo de 10, este gel es estable e insoluble, esto ayuda a bloquear futuras agresiones.

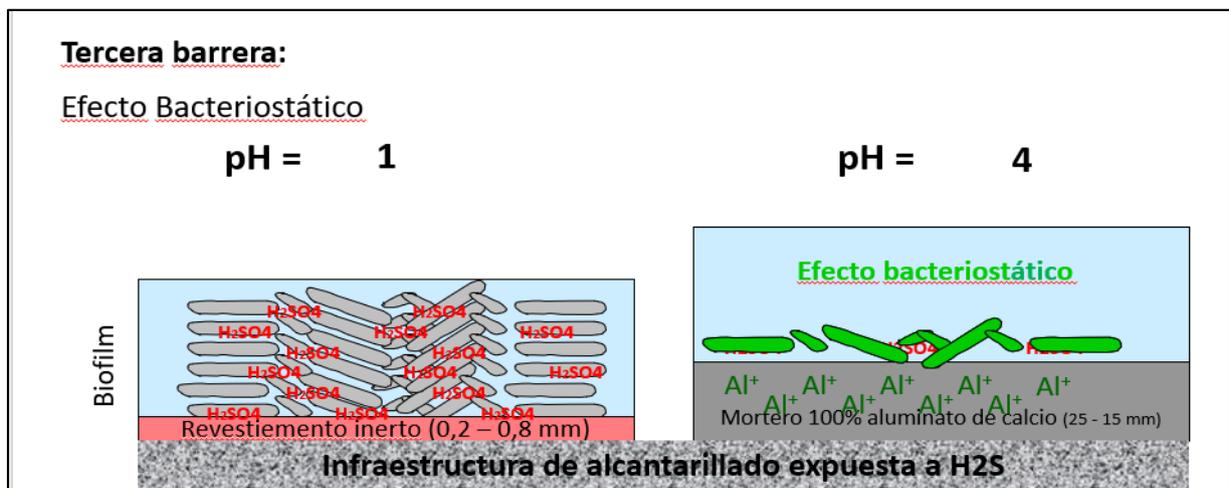
Figura 38 100% CAC tecnología de mortero – B



Fuente: Science Direct (2014)

3. Tercera barrera: Efecto bacteriostático. Si comparamos una protección superficial como una resina polimérica, el biofilm se genera por encima bajando drásticamente el pH, si el recubrimiento polimérico no presenta daños podría proteger al hormigón, pero si existentes pequeñas fallas o la protección anti ácida disminuye producto de un deficiente curado, el ácido pasará a través corroyendo la estructura. Esto se ha observado en muchos casos en todo el mundo.

**Figura 39** 100% CAC tecnología de mortero – C



Fuente: Science Direct (2014)

En resumen: ¿Cómo funciona el sistema?

1. Superior capacidad de neutralización que el cemento Portland.
2. Precipitación del gel de alúmina AH, cuando el pH < 10.

Gel AH<sub>3</sub> estable hasta pH 4.

Es una barrera para posteriores ataques.

3. Efecto bacteriostático:

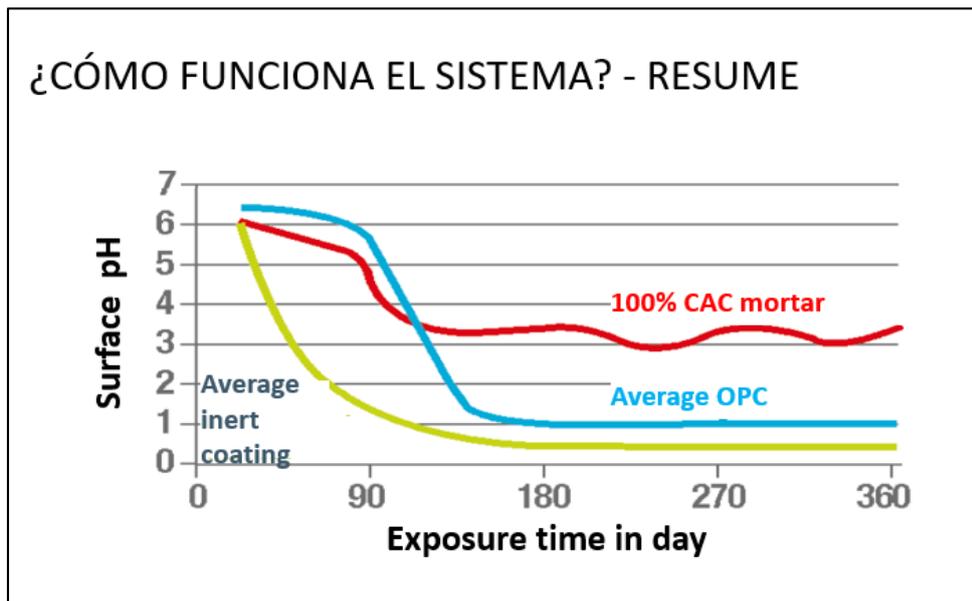
Inhibición del crecimiento de la bacteria cuando (AL) aumenta.

Se para la oxidación del azufre.

Se detienen la producción de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Se estabiliza el pH entre 3 y 4.

**Figura 40** 100% CAC tecnología de mortero – D



Fuente: Science Direct (2014)

#### 4.4.3 Comparativos de durabilidad del sistema tradicional Vs. Sistema mortero 100% CAC en observaciones de campo reales:

##### Sistema tradicional:

- ✓ City of Ormond Beach, Florida, USA: Problema recurrente de deterioro debido a la corrosión biogénica - Cada 5 años, había que llevar a cabo una renovación.
- ✓ Palm Beach County, Florida, USA: La evaluación de campo con mortero mejorado con micro sílice compensada por contracción de 1 componente se deterioró en menos de 10 años.
- ✓ Austin, Texas, USA: Las paredes de la estación de bombeo fueron "protegidas" con 6 capas de epoxi diferentes en un período de 7 años.
- ✓ SIAAP Sewer, Paris, France: El mortero de reparación tradicional disponible localmente dura menos de unos pocos años - y se ha reportado una fuerte corrosión.

- **Sistema mortero 100% CAC:**

- ✓ City of Ormond Beach, Florida, USA: Reparado en 1994; inspeccionado regularmente - 14 años después - aún en excelentes condiciones.
- ✓ Trignac-St-Nazaire, France: La estación de bombeo, reformada en 1996, sigue en buenas condiciones - 20 años después.
- ✓ Palm Beach County, Florida, USA: Sólo el mortero de aluminato de calcio y el revestimiento de HDPE, durante esta inspección de campo, estaban en buenas condiciones después de 10 años de servicio.
- ✓ Gosford, Australia: El pozo de registro reparado en 2001 e inspeccionado regularmente sigue en buenas condiciones 8 años después.
- ✓ Austin, Texas, USA: En 2004, reformado y hasta ahora no se ha informado de ningún daño.

**Tabla 7** Cronograma de ejecución de trabajos para reparación de sistema de AASS en la solución tradicional.

SOLUCIÓN TRADICIONAL																								
No.	Actividad	Acción	Producto	Primera semana							Segunda semana							Tercera semana						
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	Preparación de superficie	Hidrolavado min. 500 bar		■	■	■																		
2	Protección de reforzamiento	2 kg./m2	Mortero estructural: EN 1504-7	■	■	■																		
3	Reparaciones puntuales	Reparación de ratoneras	Mortero de reparación: EN 1503-3		■	■																		
4	Reperfilado y resanteo	Espesor medio 20 mm.	Mortero de reparación: EN 1503-3			■	■	■	■															
5	Tiempo de curado									■														
6	Barrera temporal de vapor	3 mm. / 6 kg. / m2	Mortero epoxy-cementicio							■	■	■	■											
7	Recubrimiento protector	2 X 500 gr.	Recub. Epoxy: EN 1504-2								■	■	■											
8	Tiempo de curado antes de la entrega											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		

Elaborado por: Jarrín (2024)

Las reparaciones con el sistema de mortero 100% CAC brinda un ahorro de 2 semanas en tiempos de ejecución de trabajos comparado con el sistema tradicional de reparaciones.

**Tabla 8** Cronograma de ejecución de trabajos para reparación de sistema de AASS en la solución mortero 100% CAC.

SOLUCIÓN MORTERO 100% CAC																									
No.	Actividad	Acción	Producto	Primera semana							Segunda semana							Tercera semana							
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
1	Preparación de superficie	Hidrolavado min. 500 bar																							
2	Protección de reforzamiento	2 kg./m2	Mortero estructural: EN 1504-7																						
3	Reparaciones puntuales	Reparación de ratoneras	Mortero de reparación 100% CAC																						
4	Reperfilado y resanteo	Espesor medio 25 mm.	Mortero de reparación 100% CAC																						
5	Tiempo de curado																								
6	Barrera temporal de vapor	3 mm ./ 6 kg. / m2	Mortero epoxy-cementicio																						
7	Recubrimiento protector	2 X 500 gr.	Recub. Epoxy: EN 1504-2																						
8	Tiempo de curado antes de la entrega																								

Elaborado por: Jarrín (2024)

**Tabla 9** Ensayos de resistencia a la compresión a 1 día

# Ensayo	Altura	Ancho	Largo	Masa	Carga	Resistencia
1	50 mm.	50 mm.	50 mm.	0,28	69,06 Kn	27,62 Mpa
2	50 mm.	50 mm.	50 mm.	0,278	72,65 Kn	29,06 Mpa
3	50 mm.	50 mm.	50 mm.	0.274	74,62 Kn	29,85 Mpa

Elaborado por: Jarrín (2024)

**Tabla 10** Ensayos de resistencia a la compresión a 5 día

# Ensayo	Altura	Ancho	Largo	Masa	Carga	Resistencia
1	50 mm.	50 mm.	50 mm.	0,277	125,97 Kn	50,39 Mpa
2	50 mm.	50 mm.	50 mm.	0,275	112,36 Kn	44,95 Mpa
3	50 mm.	50 mm.	50 mm.	0.278	107,72 Kn	43,09 Mpa

Elaborado por: Jarrín (2024)

**Tabla 11** Ensayos de resistencias a la tracción (pull off)

# Ensayo	Sustrato	Edad	Resistencia (Mpa)	Promedio
1	Mortero CAC	5 días	1,53	1,33
2	Mortero CAC	5 días	1,25	
3	Mortero CAC	5 días	1,21	

Elaborado por: Jarrín (2024)

Se ensayaron muestras del mortero Sika MonoTop 4400 MIC (mortero 100% CAC) importado desde Francia, único país donde se produce.

Los ensayos realizados fueron de compresión y de tracción (adherencia a sustrato) para certificar sus propiedades y resistencias mecánicas, obteniendo valores de acuerdo a su hoja técnica y acorde a normativa Europea EN 1504.

## CONCLUSIONES

El sistema de alcantarillado de la ciudad de Guayaquil que contiene hormigón se ve afectado en un alto porcentaje por la acción de la corrosión biogénica. Los sistemas tradicionales de reparaciones demandan tiempos extensos, paralizaciones de los servicios, gastos recurrentes y, debido que las reparaciones no son duraderas, en algunos casos se realizan 2 o 3 intervenciones por el mismo daño en el lapso de un año.

No existe un monto específico asignado como presupuesto para las reparaciones del sistema de alcantarillado de AASS, debido a que se repara cuando prácticamente está colapsada la alcantarilla y depende del grado de afectación que tenga. La reparación con mortero 100% CAC, como se ha demostrado beneficia tanto en tiempos de trabajo como en reducción de gastos recurrentes, logrando un ahorro de hasta el 50% por periodo de reparación.

El costo aproximado por metro cuadrado de reparación a un espesor promedio de 20 mm es \$150, el cual incluye el mortero 100% CAC, preparación de superficie y mano de obra, este mantenimiento o reparación tiene una durabilidad de 15 años. Los sistemas tradicionales de reparación están en el orden de \$40 el metro cuadrado, pero se deben realizar en promedio 1 reparación anual. Se concluye que en un lapso de 15 años se obtiene un ahorro de 4 veces con la solución propuesta en comparación con los sistemas tradicionales.

Con el sistema de reparación con mortero 100% de aluminato de calcio se logra realizar reparaciones por la acción de la corrosión biogénica de mínimo 15 años de vida útil, demostrada en la aplicación de sistemas de alcantarillado principalmente en Europa.

Las altas resistencias mecánicas que produce un mortero 100% de aluminato de calcio fue corroborado realizando ensayos con muestras importadas de Francia en laboratorio de la empresa Sika.

## RECOMENDACIONES

Uno de los limitantes del uso de los morteros 100% CAC es la producción local del cemento aluminoso, que es la principal materia prima para la elaboración del mortero, para una producción local se necesita elaborar un pronóstico de consumo para un año de tal forma que las cementeras puedan abastecerse.

La segunda opción para el uso del mortero 100% CAC es la importación directa como producto terminado, teniendo en cuenta los tiempos de importación y consumo debido a que la caducidad de estos morteros es de 12 meses.

En ambos casos, ya sea para la fabricación local o importada, se recomienda a las entidades públicas y privadas que tengan en cuenta el sistema y procedimiento de reparación, evidenciando las ventajas en tiempos de trabajo y su durabilidad para el uso del mismo.

## BIBLIOGRAFIA

- AIPEX, A. I. (2020). *Asociacion Iberica de poliestireno extruido AIPEX*. Obtenido de <https://aipex.es/poliestireno-extruido-xps/descripcion-y-propiedades-del-xps/>
- Alvarez, J. (2019). *Universidad de Cartagena*.
- Amores, M. (2014). *Repositorio Universidad Politecnica del Litoral*. Obtenido de <file:///C:/Users/ericka/Downloads/D-70037.pdf>
- Anwar, A., Liu, X., & Zhang, L. (2022). Biogenic corrosion of cementitious composite in wastewater sewerage system—A review. *Science Direct, Process Safety and Environmental Protection*, 545-585.
- Arengo, V., Cruz, J., & Pilar, C. (2023). Anteproyecto de viviendas sociales con Steel Framing en Corrientes. Comparación con sistema húmedo tradicional. *Arquitecto ISSN 0328-0896*.
- Avula, Y., Restrepo, S., & Jimenes, J. (2016). Obtenido de [file:///C:/Users/ericka/Downloads/320832-Article%20Text-456661-1-10-20170421%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ericka/Downloads/320832-Article%20Text-456661-1-10-20170421%20(1).pdf)
- Ayala, D. (2023). Estudio de la resistencia a la corrosión de revestimientos poliméricos modificados con nanoparticulas de oxidos de silicio y de hierro. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 23.
- Cadena, F. (2014). Corrosión Metálica en Ambientes Exteriores e Interiores en las ciudades de Quito y Esmeraldas. *Revista Politécnica*, 5. Obtenido de [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/articloe/view/118](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/articloe/view/118)
- Chavez, R. (2015). *Repositorio Universidad Tecnica de Ambato*. Obtenido de <file:///C:/Users/ericka/Downloads/Tesis%20891%20Ch%C3%A1vez%20Viera%20Roberto%20Ismael.pdf>
- Chinchón, S. (2018). *Publicaciones Universidad de Alicante*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/32322378.pdf>
- Consejo superior de investigaciones científicas. (1996). Obtenido de [file:///C:/Users/ericka/Downloads/1716-Article%20Text%20\(mandatory\)-3820-1-10-20150513.pdf](file:///C:/Users/ericka/Downloads/1716-Article%20Text%20(mandatory)-3820-1-10-20150513.pdf)
- CONSULSTEEL. (2015). Obtenido de <https://consulsteel.com/wp-content/uploads/Manual-de-Procedimiento-Consul-Steel.pdf>
- Dannemann, R. (2012). *Repositorio Universidad de Chile*.

- Dobón, B. (2019). *Repositorio Universitat Politecnica de Valencia*. Obtenido de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/115062/memoria\\_44533185.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/115062/memoria_44533185.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Doménech, A., & Perales, S. (2008). LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE: UNA ALTERNATIVA A LA GESTIÓN DEL AGUA LLUVIA. *ResearchGate*, 15.
- Duque, Z. (2007). A review of corrosion by biogenic sulphide in the oil industry. *Scielo*. Obtenido de [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-07702007000400018](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702007000400018)
- Econet. (2020). *ECONET*; Obtenido de <https://econetdesatascos.com/cuando-se-construyeron-las-primeras-alcantarillas-de-la-historia/>
- El oficial-Informacion que construye*. (2016). Obtenido de <https://www.eloficial.ec/especial-sistemas-constructivos-nuevos-sistemas-de-construccion-sustentables-y-de-alta-tecnologia/>
- Engineer Industrialized building and the structural. (1996).
- Fernandez, G. (2014). *Repositorio Universidad Nacional Autónoma de Mexico*. Obtenido de [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/MONROY%202014.%20Problem%C3%A1tica%20de%20los%20sistemas%20de%20alcantar.PDF](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MONROY%202014.%20Problem%C3%A1tica%20de%20los%20sistemas%20de%20alcantar.PDF)
- Gonzalez, R. (2012). La responsabilidad civil por daños al medio ambiente. *Dialnet*. Obtenido de <file:///C:/Users/ericka/Downloads/Dialnet-LaResponsabilidadCivilPorDanosAlMedioAmbiente-3866244.pdf>
- Granja, P., & Tapia, S. (2013). *Repositorio Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7085/1/UPS-QT05866.pdf>
- Guidice, A., & Pereyra, M. (2009). *TECNOLOGÍA DE PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS - COMPONENTES, FORMULACIÓN, MANUFACTURA Y CONTROL DE CALIDAD*. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional Argentina. Obtenido de [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/151137/CONICET\\_Digital\\_Nro.f7b5f952-494e-4d30-9c15-bb40589e5979\\_B.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/151137/CONICET_Digital_Nro.f7b5f952-494e-4d30-9c15-bb40589e5979_B.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Hernandez, C. (2013). *Universidad Politecnica de Valencia*. Obtenido de <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/34787/Hern%C3%A1ndez%20>

- 
- %20Evaluaci%C3%B3n%20del%20contenido%20de%20Sulfuros%20%C3%81cidos%20Vol%C3%A1tiles%20y%20Metales%20Extra%C3%ADos%20Simult%C3%A1neam....pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hidalgo, D., Rivera, L., & Cevallos, A. (2020). *Repositorio Universidad Nacional de Chimborazo*. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/6822/2/PROYECTO%20DE%20INVESTIGACI%C3%93N-TESIS%20CEVALLOS-RIVERA.pdf>
- IMCYC. (2020). *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto*. Obtenido de <https://www.imcyc.com/revista/1999/julio/rectividad1.htm>
- Incose. (2018). *Instituto de la construcción en seco*. Obtenido de <https://www.puertoseco.com.ar/docs/manual-steel-framing-incose-v2018b.pdf>
- INCOSE, I. d. (2018). *Manual de recomendaciones técnicas para la para la construcción con estructuras de perfiles de acero galvanizado liviano conformados en frío (Steel Framing)*. Obtenido de <https://www.puertoseco.com.ar/docs/manual-steel-framing-incose-v2018b.pdf>
- Lozano, E. (2019). *Repositorio Universidad técnica de Ambato*. Obtenido de <file:///D:/Users/fernando/descargas/Lozano%20Fabricio.pdf>
- McGhee, T. J. (1999). *Abastecimiento de agua y alcantarillado: ingeniería ambiental*. MCGRAW-HILL. Obtenido de [file:///C:/Users/ericka/Downloads/pdf-abastecimiento-de-agua-y-alcantarrillado-terence-j-mcghee\\_compress.pdf](file:///C:/Users/ericka/Downloads/pdf-abastecimiento-de-agua-y-alcantarrillado-terence-j-mcghee_compress.pdf)
- Ministerio del Ambiente, Agua y transición ecológica*. (2017). Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/las-descargas-de-aguas-residuales-son-controladas-por-el-ministerio-del-ambiente/>
- Nielsen. (2018). *ATS INNOVA*. Obtenido de <https://atsinnovawatertreatment.com/blog/biogenic-sulfide-corrosion/>
- Ortiz, J. (2021). *Repositorio Universidad de Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/35988/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf>
- Osejos, M., & Verisimo, M. (2018). *UNESUM*. Obtenido de [file:///C:/Users/ericka/Downloads/admOjs,+IIGeo\\_21-41\\_008\\_MiguelOsejos.pdf](file:///C:/Users/ericka/Downloads/admOjs,+IIGeo_21-41_008_MiguelOsejos.pdf)
- Parks, D. o. (2008). *Clean Water Plan*. Obtenido de <https://kingcounty.gov/~media/depts/dnrp/wtd/capital-projects/system->

planning/clean-water-plan/docs/cso/2006\_What-is-  
CSO\_SPANISH.ashx?la=en

- Rodriguez, M. (2017). *Repositorio Universidad de Chile*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/148254/Estudio-experimental-de-la-cinetica-de-corrosion-del-hormigon-mediante.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rondon, E., Szantó, M., & al., e. (2016). *Manuales de la CEPAL - Guía general para la gestión de residuos solidos domiciliarios*. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a5f80abc-8063-4e19-b871-e954f1db5bf6/content>
- Rosales, M. (2015). Manejo del drenaje pluvial mediante control de la fuente de escurrimientos superficiales. 10. Obtenido de <file:///C:/Users/ericka/Downloads/Dialnet-ManejoDelDrenajePluvialMedianteControlDeLaFuenteDe-7129025.pdf>
- Sanchez, J., & Roman, S. (2020). *Repositorio Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19149/4/UPS-GT002985.pdf>
- Sika. (2022). *Sika MonoTop®-4400 MIC*. Obtenido de <https://gcc.sika.com/dms/getdocument.get/879a89bf-02e5-4ee1-8f23-47212a337bd1/sika-monotop-4400mic.pdf>
- Sika Technologies. (2021). *Sika Technologies*. Obtenido de <https://mbcc.sika.com/es-es/quienes-somos/noticias-y-comunicacion/evolucion-de-los-tratamientos-de-proteccion-del-hormigon-en-edars>
- UNE, N. e. (2005). Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0034676>