



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



BIODETERIORO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO POR EFECTO DE AGUAS RESIDUALES

(AUTOR)

ARIEL JOSE SUAREZ GALVIS

1094279101

HABID DE JESUS NUÑEZ OROZCO

1118852334



INGENIERIA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER

2021



SC



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



**BIODETERIORO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO POR EFECTO DE AGUAS
RESIDUALES**

(AUTOR)

ARIEL JOSE SUAREZ GALVIS

1094279101

HABID DE JESUS NUÑEZ OROZCO

1118852334

**TRABAJO DE GRADO EN LA MODALIDAD DE MONOGRAFÍA, PARA OPTAR AL
TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR:

JORGE LUIS ORTIZ CARRILLO

INGENIERIA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER

2021



SC



TABLA DE CONTENIDO

Introducción	9
Objetivos	11
Objetivo General	11
Objetivos Específicos	11
Capítulo I: Generalidades	12
Sistemas de Alcantarillado	12
Tipos de Sistemas de Alcantarillado	12
Alcantarillado sanitario	12
Alcantarillado pluvial	13
Alcantarillado combinado	13
Componentes de la Red de Alcantarillado	13
Acometidas	14
Alcantarillas	14
Colectores	14
Aliviadores de tormentas	14
Emisarios interceptores	14
Cunetas	15
Imbornales	15
Biodeterioro	15
Tipos de Biodeterioro	15
Aguas Residuales	16
Tipos de Aguas Residuales	16



Aguas residuales domesticas	17
Aguas residuales industriales	17
Aguas residuales agrícolas	17
Capítulo II: Antecedentes de Los Sistemas de Alcantarillado.....	19
Primeros Sistemas de Alcantarillado.	19
Capitulo III: Implementación de la Ingeniería Civil en los Sistemas de Alcantarillado.	22
Aplicación de la Ingeniería Civil	22
Diseño de Una Red de Alcantarillado	23
Trazado de la red	23
Trazado radial	24
Trazado perpendicular	25
Trazado en abanico.....	25
Trazado por interceptores	26
Diseño hidráulico	27
Capitulo IV: Materiales Utilizados Para la Construcción de Los Componentes De Una Red o Sistema De Alcantarillado	29
Concreto	29
Componentes del concreto	29
Cemento.....	29
Composición química	30
Oxido magnésico	30
Álcalis.....	30
Azufre	30



Cloruros	31
Fósforo	31
Clasificación de los cementos Portland.....	32
Agregados.....	33
Agua	33
Aditivos	34
Capítulo V: Deterioro del concreto.....	35
Formas de Deterioro.....	36
Ataques por congelación	36
Ataques químicos	36
Ataques por ácidos	36
Ataque por bases.....	37
Ataques por sales.....	37
Ataque por aguas	37
Ataque por gases.....	38
Ataques por sulfatos	39
Ataque por sustancias orgánicas.....	39
Ataques por reacción del agregado.....	40
Ataque por reacción álcali – sílice.....	40
Reacción carbonato- álcali.....	41
Ataques por desgaste superficial	41
Ataques por altas temperaturas.....	42
Deterioro biológico de Materiales Inorgánicos	42



Materiales Inorgánicos que Pueden Estar Sujetos a Ataques Biológicos	43
Materiales minerales.....	43
Materiales metálicos	43
Mecanismos de deterioro	43
Daños Físicos.....	44
Salinización	44
Biopelículas	44
Contaminación Biológica	45
Capítulo VI: Biodeterioro en el concreto como material de construcción en sistemas de alcantarillados	46
Organismos que deterioran el concreto.....	47
Bacterias	48
Hongos.....	49
Algas y líquenes	50
Corrosion del concreto inducida microbiologicamnete.....	53
Vulnerabilidad de los Sistemas de Alcantarillado	56
Conclusiones.....	58
Referencias Bibliográficas	60



TABLA DE FIGURAS

Figura 1 La Cloaca Máxima de Roma	20
Figura 2 Perfil de alcantarillado principal, Hamburgo, Alemania, 1857.....	21
Figura 3 Modelo de trazado radial	24
Figura 4 Modelo de trazado perpendicular	25
Figura 5 Modelo de trazado en abanico.....	26
Figura 6 Modelo de trazado por interceptores	27
Figura 7 Formula de Manning	28
Figura 8 Esquema del proceso de corrosión del concreto	55



Lista de tablas

Tabla 1 Compuestos del Cemento Portland.....	32
Tabla 2 Resumen de algunos efectos de los microorganismos sobre los materiales de construcción.	51
Tabla 3 Resumen de las alteraciones físicas generadas por los microorganismos sobre los materiales de construcción.	52



Introducción

Los sistemas de alcantarillado están compuestos por tuberías y otras estructuras que se encargan de guiar y evacuar las aguas de tipo residual y pluvial, es decir, aquellas que están contaminadas por diversos agentes y las que son producto de las lluvias. Esto con el objetivo de satisfacer uno de los servicios de saneamiento básico a los cuales tiene derecho una población, los sistemas de alcantarillado, ya que este mecanismo cumple la función de salvaguardar la salud pública que puede verse afectada por los contaminantes y patógenos presentes en las aguas residuales. Por lo tanto, es de vital importancia la correcta construcción y mantenimiento del alcantarillado, pues como toda estructura, no es inmune al deterioro y su durabilidad puede verse afectada por factores físicos, químicos o fisicoquímicos.

En este orden, el deterioro en los sistemas de alcantarillado se debe al efecto que causa un ente externo de diversa naturaleza a sus componentes. Así, por ejemplo, uno de los materiales que se usa para hacer estos sistemas es el hormigón o cemento, cuyas propiedades de endurecimiento se deben a las capacidades hidráulicas del cemento, por lo tanto, es natural que el hormigón endurecido esté influenciado por la presencia o acción del agua en su propia estructura, así como por su interacción con fuentes externas de agua. El deterioro, también, puede darse bajo el fenómeno fisicoquímico de la retracción que siempre ocurre en los materiales cementosos, este comienza a una edad temprana incluso antes de que el hormigón haya endurecido y continúa gradualmente hasta las últimas fases del endurecimiento, durante largo tiempo, causando con ello un ciclo de vida corto para el concreto mismo, es por ello que también representa diferentes retos para la implementación en los sistemas de alcantarillado.

De igual modo, se hace importante que para la realización de estas estructuras deban estudiarse las condiciones del área donde se desea construir, luego de ello estudiar cuales son las



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



condiciones estructurales para así actuar de manera oportuna frente a los fenómenos que puedan causar el deterioro de este. A razón de ello, debe evitarse que los sistemas de alcantarillados padezcan de fallas, ya que con estas se perjudica a la sociedad en general, pues es uno de los servicios más importantes para una comunidad.



SC



Objetivos

Objetivo General

Analizar cuáles son los factores de las aguas residuales que provocan biodeterioro en los sistemas de alcantarillado

Objetivos Específicos

- Demostrar el grado de vulnerabilidad de los sistemas de alcantarillado ante el biodeterioro.
- Identificar los componentes biológicos y químicos de las aguas residuales.
- Comparar los diferentes procesos de biodeterioro que sufren los sistemas de alcantarillado.



Capítulo I: Generalidades

Sistemas de Alcantarillado

López Ricardo (2003), define el sistema de alcantarillado como “una serie de tuberías y obras complementarias, necesarias para recibir y evacuar las aguas residuales de la población y la escorrentía superficial producida por la lluvia” (p.339). En ese orden de ideas, Carmona (2013), clasifica tres tipos de sistemas de alcantarillados, dependiendo su procedencia: pluvial, combinado y sanitario.

Tipos de Sistemas de Alcantarillado

Los sistemas de alcantarillado son esenciales para el desarrollo pleno de una comunidad, ya que este servicio permite que desaparezcan las aguas negras en las calles, ayuda al saneamiento de la población y evita la aparición de numerosas enfermedades. Por otra parte, en la actualidad ya hay diferentes sistemas de alcantarillados. (López, R., 2003). en los cuales se encuentran:

Alcantarillado sanitario

Este sistema se caracteriza por ser una red generalmente de tuberías, a través de la cual se deben evacuar en forma rápida y segura las aguas residuales. Es decir, es un sistema que se encuentra diseñado para recolectar exclusivamente las aguas residuales domésticas e industriales. (López, R., 2003).

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. En otras palabras, este es un sistema que consiste simple y llanamente en la evacuación de la escorrentía superficial producida por las precipitaciones. (López, R., 2003).

Alcantarillado combinado

Este es un sistema que consiste en conducir simultáneamente las aguas residuales, domesticas e industriales, y las aguas de lluvia que se especifican en los sistemas mencionados anteriormente. (López, R., 2003).

Componentes de la Red de Alcantarillado

Todo sistema tiene una serie de componentes que le permite el buen desarrollo de este, en el caso de las redes de alcantarillado estos componentes les sirven para funcionar correctamente, de igual modo las tuberías deben tener una cierta pendiente que es la encargada de calcular los datos que garantizan al agua una velocidad suficiente que no posibilite la sedimentación de los materiales sólidos que se ven transportados. (López, R., 2003). Por consiguiente, para que una red de alcantarillado pueda cumplir plenamente con su función tiene que contar con los siguientes componentes:

Acometidas

Este componente se destaca por ser aquel en las cuales se derraman las aguas residuales de procedencia doméstica originadas en las edificaciones en la red pública general. (López, R., 2003).

Alcantarillas

Consiste meramente en transportar de manera subterránea las aguas residuales, es decir, canalizan el agua conduciéndolo hacia un colector. (López, R., 2003).

Colectores

Es un componente el cual se caracteriza por ser una cañería de sección más grande, así mismo, se encargan de recoger las aguas de las alcantarillas y las transportan a los principales colectores. (López, R., 2003).

Aliviadores de tormentas

Estos son depósitos donde el agua originaria de los colectores se retiene, esto se da cuando por acción de la lluvia es muy caudalosa, de igual manera, sirve para evitar inundaciones. (López, R., 2003).

Emisarios interceptores

Consiste en conducir y transportar las aguas que se encuentran reunidas por los colectores hasta la depuradora o hasta verterlas en el medio natural.

Por otra parte, aunque estos cinco componentes son esenciales en la red de alcantarillado, hay que tener en cuenta que existen otros componentes que también se destacan en la red.

(López, R., 2003). Entre ellos están:

Cunetas

Estos son aquellos que se encargan de recolectar y concentrar las aguas de la lluvia en las vías y los terrenos que coincidan con estos. (López, R., 2003).

Imbornales

Son estructuras que se encargan de recoger de las vías el agua de baldeo y de la lluvia. (López, R., 2003).

Biodeterioro

Cuando hablamos de biodeterioro nos referimos a cualquier cambio indeseable en las propiedades de un material, causado por la actividad de los organismos. El término biodeterioro es usado por muchos autores como sinónimo de biocorrosión, pero esta preferentemente indica procesos de naturaleza electroquímica de disolución de metales; sin embargo, ambos son iniciados o acelerados por microorganismos (Guamet et al., 2008, p.34).

Tipos de Biodeterioro

El biodeterioro hace referencia a los cambios o daños que sufre un material a causa de diversos agentes biológicos como algas, hongos y bacterias; puede producirse en una gran variedad de materiales ya sea madera, papel, metal, etc. Así mismo, existen varios tipos de

biodeterioro, los cuales se manifiestan de manera particular y dependen de las condiciones del medio, como la humedad. (Guiamet et al., 2008)

Según Guiamet et al. (2008), los tipos de biodeterioro son el estético, el químico, el físico y el fisicoquímico. El estético y el químico pueden manifestarse, por ejemplo, como manchas en paredes y papeles, el físico se da cuando los musgos atraviesan las piedras y causan agujeros en estas, y el fisicoquímico cuando las plantas vasculares penetran los sustratos a través del crecimiento de sus raíces (aspecto físico) y por la acidez de estas y diversos productos de excreción (aspecto químico).

Aguas Residuales

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA (2014), define aguas residuales como “aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado” (p.2).

Tipos de Aguas Residuales

Son aquellas que están contaminadas por diversos agentes o contaminantes producto de la acción del hombre, de modo que pueden categorizarse según los desechos que contengan, los que a su vez tienen origen en diversas actividades diarias que se desarrollan continuamente. OEFA (2014). Así pues, algunos tipos de aguas residuales son:



Aguas residuales domesticas

Estas aguas son provenientes de las viviendas y “suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas” (Espigares & perez,1985, p. 2).

Aguas residuales industriales

Son producto de las diferentes industrias por lo que sus componentes son igualmente variados, pues dependen de la actividad industrial concreta ya que en cada una se usan distintos productos o materias primas que eventualmente y tras una serie de procesos y transformaciones serán desechos. “Contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal” (Espigares & perez,1985, p. 2).

Aguas residuales agrícolas

Como su nombre lo indica, proceden de actividades agrícolas, por tanto, suelen tener desechos de tipo orgánico e inorgánico como lo son los fertilizantes, pesticidas, abonos, etc. Igualmente, “los residuos agrícolas contienen altos niveles de nitratos, fosfatos, amonio y sulfuros” (Espigares & perez,1985, p. 5).

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante recalcar que debido a los diferentes desechos que componen las aguas residuales, independientemente de su clasificación, en todos ellos se evidencia la presencia de microorganismos que se incrementan gracias a la presencia de elementos como el azufre o el fosforo. Hay que mencionar, además, la denominada corrosión acida o corrosión por ácido sulfúrico, que es un tipo de deterioro que se produce por acción de



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



agentes microbianos presentes en el ambiente del alcantarillado, por lo que produce daños significantes y agresivos y, según Rivera (2015) se da “frecuentemente en los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de todo el mundo” (p.7).



SC





Capítulo II: Antecedentes de Los Sistemas de Alcantarillado

Primeros Sistemas de Alcantarillado.

Los sistemas de alcantarillado son instrumentos que se han venido usando desde tiempos antiguos y han evolucionado de manera continua, permitiéndole volverse un servicio fundamental en la sociedad. Por ello, es importante revisar sus comienzos y lugares de origen en donde haya registro de su uso pues, este servicio no comenzó como una fuente de aumento en la comodidad o para mejorar una forma de vida, sino que se implementó como consecuencia de las epidemias de cólera.

Es entonces, que desde 1832, Europa fue invadida por el cólera, en estas se vio que las personas tuvieron miedo de la enfermedad e insistieron en la utilización de programas de alcantarillado. En este punto, ya la mayoría de las ciudades disponían de un sistema de cloacas destinadas a la evacuación de las aguas de lluvia, por lo que la conexión a éstas de las bajantes de los edificios configuró de origen redes de tipo unitario en la mayoría de los casos.

Por otro lado, en la antigua Roma los primeros intentos de alcantarillas fueron construidos en el siglo VII A.C por Tarquinius Superbus, los cuales consistían en canales a cielo abierto que evacuaban aguas residuales hacia el río Tíber, lo que causó la contaminación de esta fuente hídrica y, por consiguiente, graves problemas de salud a los habitantes. Estos sistemas con el tiempo evolucionaron y así, por ejemplo, idearon estructuras más elaboradas que contenía una cubierta de piedras, con gran parecido a las actuales, cuyo recorrido empezaba en las letrinas, seguía hasta el alcantarillado principal y finalmente llegaba a un afluente cercano, como ríos o arroyos. De modo que, en los siglos II y I A.C, con un diseño y características un poco más

modernas se dio lugar a la máxima cloaca de Roma, que se trataba del colector más grande entre los diversos colectores de aguas residuales, por lo que se le considera hasta el día de hoy como una gran proeza de la arquitectura y la ingeniería hidráulica (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas, 2017)

Figura 1

La Cloaca Máxima de Roma



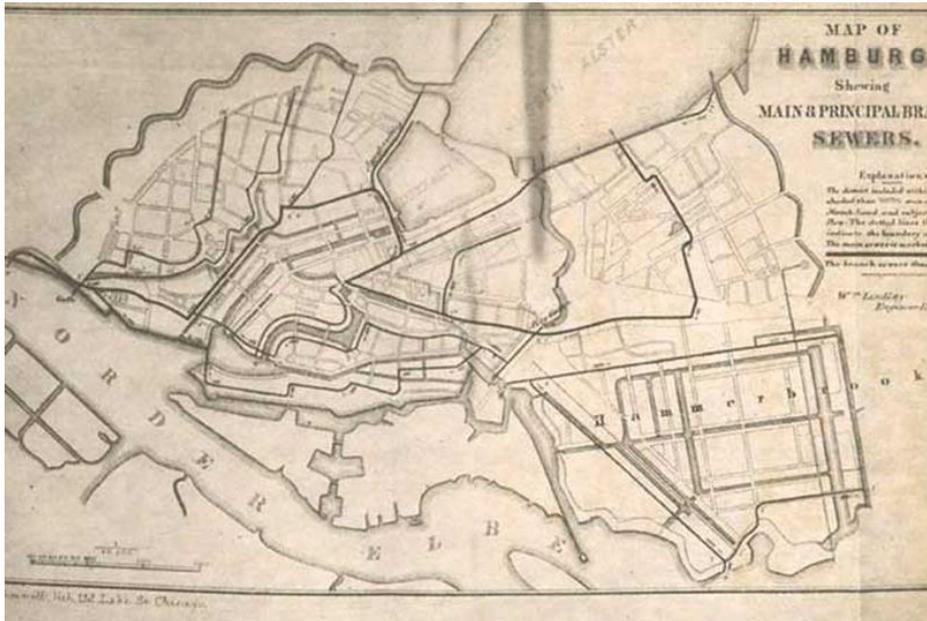
Fuente: (Aquaefundación, s.f)

Ahora bien, las crisis han sido las causantes de la implementación de los sistemas de alcantarillado, baste como muestra, cuando se presentó el gran incendio de Hamburgo en Alemania, este incendio se dio en el año 1842 y ocasionó la destrucción de la cuarta parte de la ciudad misma, y gracias a ello se tuvo que emplear la reconstrucción de un nuevo sistema de alcantarillado, aunque fue una crisis lamentable lo que si es cierto es que permitió la evolución

del alcantarillado, porque a partir de esto contaría con un solo circuito de drenaje de aguas negras. Así mismo, gracias a la eficiencia de este nuevo modelo de alcantarillado pronto inspiró al resto de las grandes urbes europeas y estadounidenses (We are water foundation, 2017)

Figura 2

Perfil de alcantarillado principal, Hamburgo, Alemania, 1857.



Fuente: (We are water foundation, 2017)



Capítulo III: Implementación de la Ingeniería Civil en los Sistemas de Alcantarillado.

Aplicación de la Ingeniería Civil

La Ingeniería Civil es hoy fundamental para la sociedad, a raíz de ella ciudades pueden desarrollarse y tiene muchas funciones, como el diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras, entre otros. Ahora bien, esta disciplina a través del diseño se va a encargar de ofrecer una buena primera impresión y para ello deben cumplirse los requisitos exigidos para que un proyecto pueda tener buena funcionalidad.

En el caso correspondiente de una red de alcantarillado, esta debe garantizar desde su diseño, beneficios para la sociedad en general, así mismo, para su construcción deben usarse los materiales correctos, con el fin de que la red no se encuentre expuesta al deterioro rápido que se puede dar por diferentes razones.

Igualmente, a la hora de ejecutar la construcción de cualquier sistema, incluido el de alcantarillado, deben realizarse una serie de estudios o revisiones preliminares correspondientes a la zona, normativas, personal, etc. Por ejemplo, en la construcción de un alcantarillado pluvial deben hacerse estudios generales, de tipo pluviales y de suelo; los estudios pluviales consisten en identificar “el flujo o caudal total de agua generado por las lluvias presentes en el sector con el fin de diseñar el alcantarillado de un diámetro adecuado con la capacidad de captar y evacuar la cantidad de agua esperada” (Sánchez, 2018, p.27), y los estudios de suelo, “se realizan con el fin de conocer las características y el estado actual del suelo en cuanto a capacidad de soporte, nivel freático y material que lo compone, entre otros factores” (Sánchez, 2018, p.27)

Diseño de Una Red de Alcantarillado

Tradicionalmente se ha dicho que el diseño para un sistema de alcantarillado consta de dos partes, en primer lugar, se tiene el trazado de la red que hace referencia a la configuración de las tuberías y, en segundo lugar, está el diseño hidráulico. El primer proceso no cuenta, estrictamente, con unos parámetros establecidos, sino que se da mayormente por la experiencia del ingeniero a cargo, a diferencia de este, el segundo proceso está obligado a cumplir con ciertos parámetros hidráulicos dictados por la ley y por lo tanto es una metodología organizada que sigue un criterio matemático riguroso. (Torres, 2013).

Teniendo en cuenta lo presentado anteriormente, podría decirse que la mayor variabilidad en el proceso de diseño surge de la parte del trazado, ya que en esta puede haber múltiples criterios de elección de cierta ruta para drenar aguas residuales de la ciudad. Sin embargo, existen ciertas premisas que siguen los diseñadores del sistema de alcantarillado y algunas otras que cambian dependiendo las condiciones topográficas que se tengan en el sitio (Torres, 2013).

Trazado de la red

El trazo de una red de alcantarillado se inicia con la determinación del sitio o de los sitios de vertido, a partir de los cuales puede definirse el trazo de colectores y emisores, de igual modo, el trazado se hace tratando de imitar el drenaje natural que tenga la cuenca y siguiendo la topografía del terreno. Así mismo, una vez terminado el trazado se procede a realizar el diseño hidráulico de la red siguiendo los parámetros y restricciones establecidos.

Ahora bien, dentro los trazos de una red existen otros trazos que son importante, esto es porque cada proyecto de alcantarillado es distinto debido a que la topografía de un lugar es

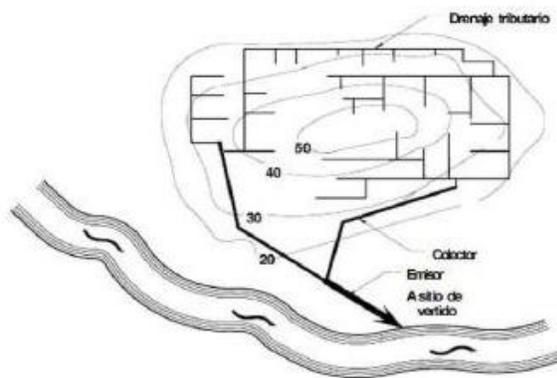
variable, de igual forma se debe tener en cuenta que, el primer trazado que se debe realizar es el trazado de los colectores principales ya que establecerán la ruta principal de drenaje del agua y por lo tanto la ruta de mayor caudal, así mismo, entre los diferentes tipos de trazados están los siguientes: Radial, perpendicular, en abanico y por interceptores.

Trazado radial

Este es implementado cuando la topografía facilita las condiciones para que el agua drene del centro de la población hacia la periferia. Esto hace que se deba implementar más de un colector perimetral, los cuales recojan el agua pluvial que llegue a esos sectores extremos y finalmente los conduzcan hacia el interceptor principal (Torres,2013).

Figura 3

Modelo de trazado radial



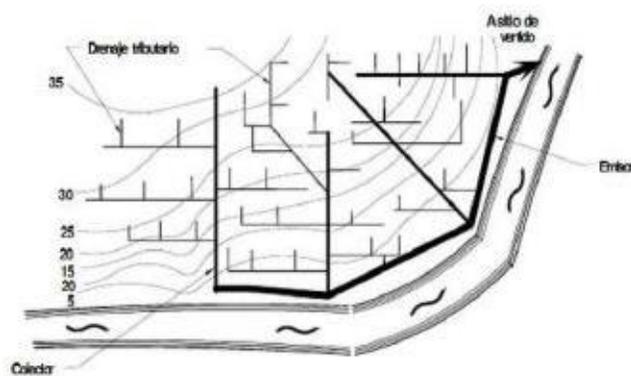
Fuente: (Torres, 2013)

Trazado perpendicular

Este se relaciona con este nombre ya que en este los colectores van perpendiculares a las corrientes y estos descargan a un interceptor principal o a la corriente misma (Torres,2013).

Figura 4

Modelo de trazado perpendicular



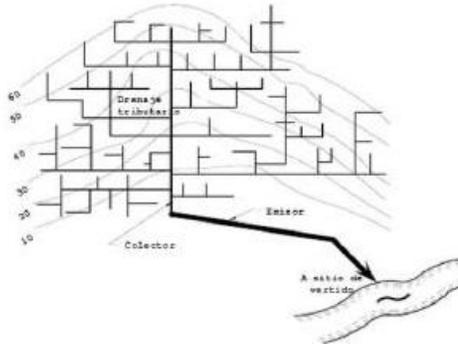
Fuente: (Torres, 2013)

Trazado en abanico

Se caracteriza porque solo es aplicable cuando se tienen poblaciones ubicadas en valles. Con este trazado lo que hace meramente es concentrar toda el agua hacia la mitad del valle por medio de colectores secundarios y luego conectarlos todos bajo un ducto principal el cual transporta las aguas hacia el interceptor. (Torres,2013).

Figura 5

Modelo de trazado en abanico



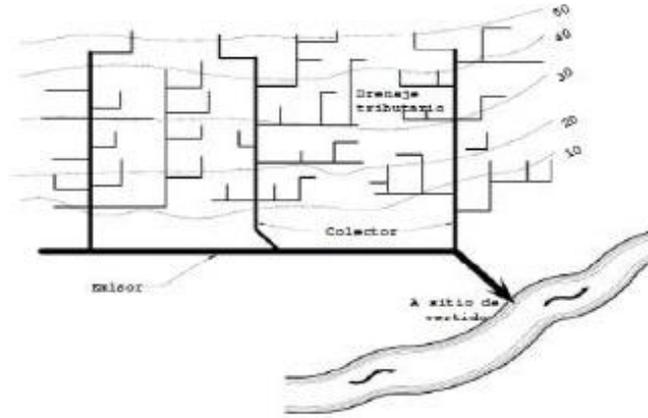
Fuente: (Torres,2013)

Trazado por interceptores

Se hace bajo condiciones topográficas muy específicas, las cuales tiene como características principales que las curvas de nivel son casi paralelas entre sí. En estos casos lo ideal es poner los colectores transversalmente a las curvas de nivel (Torres,2013).

Figura 6

Modelo de trazado por interceptores



Fuente: (Torres, 2013)

Diseño hidráulico

Existen varios parámetros a tener en cuenta respecto al diseño hidráulico, como lo son la hidráulica de los conductos, coeficiente de rugosidad, sección llena y propiedades hidráulicas de los conductos circulares. La hidráulica de conductos se centra en los tipos de flujo (flujos en tubería llena o flujos en tubería parcialmente llena) y en el uso, que emplea el sistema de alcantarillado, de la gravedad para transportar aguas residuales. Por su parte, en el coeficiente de rugosidad y la sección llena o tubo lleno, se usa la fórmula de Manning; en las propiedades hidráulicas de los conductos circulares, las relaciones hidráulicas fundamentales surgen a partir de que la conducción puede trabajar parcialmente llena o totalmente llena (Merchán, 2019).

Figura 7

Formula de Manning

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Fuente: Merchán, 2019

En donde:

v: Velocidad media del flujo en m/s.

n: Coeficiente de rugosidad (fricción).

R: Radio hidráulico total de la tubería en m

S: Pendiente en m/m.



Capítulo IV: Materiales Utilizados Para la Construcción de Los Componentes De Una Red o Sistema De Alcantarillado

Teniendo en cuenta que muchos de los componentes de conforman una red o sistema de alcantarillado son fabricado en concreto reforzado, se ve la importancia entonces de conocer los materiales que componen dicho concreto, con la finalidad de conocer también cómo reaccionarían estos, al estar expuestos a diferentes ambientes.

Concreto

El concreto hidráulico es una mezcla entre cemento, agregados, agua y en algunos casos aditivos; es actualmente el material más utilizado en la industria de la construcción por su duración, resistencia, economía y facilidad de producción. (Gutiérrez, 2003).

Componentes del concreto

Cemento

el cemento portland es un material que tienes propiedades adhesivas, cohesivas y aglutinantes que permite formar el concreto. (de Guzmán, 2001).

Por otra parte, de acuerdo con Gutiérrez, (2003) El cemento Portland se define, como el producto obtenido al pulverizar el Clinker con adición de yeso. El Clinker resulta de la calcinación hasta una fusión incipiente de una mezcla debidamente dosificada de materiales silíceos, calcáreos y férricos.

Composición química

Los principales materiales que componen el cemento son la cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Estas al interactuar con el horno rotatorio forman compuestos más complejos. (de Guzmán, 2001).

Oxido magnésico

El óxido de magnesio se puede encontrar en piedra caliza (como dolomita) o escoria de alto horno. Este se combina hasta un 2% en la fase de clínker principal, el sobrante resulta como periclasa. La reacción de hidratación entre la periclasa y el agua es muy lenta, y ocurre cuando ha terminado la reacción de endurecimiento del cemento restante; esta hidratación del MgO conduce a un aumento de volumen, lo que conduce al agrietamiento o incluso a la desintegración del hormigón endurecido. Por lo tanto, es importante tener un control de la cantidad de este componente, siendo el valor máximo permitido entre 5 y 6%. (de Guzmán, 2001).

Álcalis.

Los óxidos de sodio (Na_2O) y potasio (K_2O) que se encuentran en la marga y la arcilla se denominan álcalis; si se usa carbón como combustible de combustión, también pueden ser proporcionados por el contenido de cenizas del carbón. (de Guzmán, 2001).

Azufre

Casi todas las materias primas del cemento contienen azufre combinados con sulfuro (pirita y marcasita). El azufre en el horno se gasifica en forma de SO_2 y se combina con álcali para producir sulfato alcalino gaseoso, que se deposita en la parte fría del horno y en la mezcla

de piedra caliza-arcilla. Los sulfatos alcalinos incorporados en la fase de clínker contribuyen a la resistencia inicial del cemento. Sin embargo, un alto contenido de azufre no combinado puede causar altas emisiones de dióxido de azufre o costras en el horno, lo que dificulta el avance de los materiales. El cemento requiere una cantidad mínima de sulfato de calcio, como yeso molido en la mayoría de los casos, para ajustar su tiempo de fraguado; sin embargo, para evitar la expansión del sulfato, la cantidad máxima permitida de SO_3 es limitada. (de Guzmán, 2001).

Cloruros

El cloro presente en la materia prima reacciona con el oxígeno y el álcali del horno para formar cloruro gaseoso, que luego precipita, se deposita en el horno y produce costras, interrumpiendo así el funcionamiento normal. Cuando el contenido de cloro es de aproximadamente el 0,015% del peso del crudo, esto puede evitarse mediante la transferencia de gas. En el pasado, se agregaba cloruro al cemento de alta resistencia para aumentarlo en la etapa inicial; a través del tiempo se demostró que el cloruro promueve la corrosión del acero, por ende, este hábito ya no es permitido. Siendo así, el cloro (Cl) máximo permitido de 0,1%. (de Guzmán, 2001).

Fósforo

El contenido de fósforo no debe ser superior a 0.5%, porque puede disminuir fuertemente la resistencia inicial del concreto.

Tabla 1

Compuestos del cemento portland

Nombre	Fórmula	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Fuente: tomado de (de Guzmán, 2001)

Clasificación de los cementos Portland

De acuerdo con Guzmán (2001), teniendo en cuenta las características y comportamiento del cemento; y el gran conocimiento que se tiene a cerca de este, se ha podido fabricar cementos para situaciones específicas. La clasificación utilizada en Colombia se encuentra en la norma NTC 30, basada en las normas ASTM. Es la siguiente: II

- Cemento Portland tipo 1. Este tipo de cemento es utilizado normalmente en concreto que no requieren propiedades especiales, es decir, para uso general.
- Cemento Portland tipo 1M. A diferencia del cemento tipo 1, este adquiere mayor resistencia.
- Cemento Portland tipo 2. Es adecuado para obras de concreto que están expuestas a presencia moderada de sulfatos, ya que resisten a estos.
- Cemento Portland tipo 3. Es utilizado cuando se necesita alta resistencia inicial.

- Cemento Portland tipo 4. Bajo desprendimiento de calor.
- Cemento Portland tipo 5. Resiste altamente a la acción de los sulfatos.
- Cemento Portland Blanco. No contiene óxido de hierro, de ahí la coloración este. Es usado normalmente para decoración.

Agregados

Son materiales inertes de forma granular de origen natural o artificial. Presentan resistencia propia y garantiza adherencia con la pasta de cemento. Generalmente no reaccionan químicamente con ningún compuesto de la pasta de cemento. Sin embargo, poseen propiedades hidráulicas que proporcionan resistencia mecánica al concreto. (de Guzmán, 2001).

El agregado constituye entre un 70 y 80% del concreto, por tanto, es muy importante ya que las características del concreto en estado fresco como en estado endurecido dependerá de la calidad de los agregados. (de Guzmán, 2001).

Agua

permite que el cemento pueda desarrollar su propiedad aglutinante mediante la hidratación de las partículas del cemento, dando así la posibilidad de fraguar, endurecer y adquirir resistencia. (de Guzmán, 2001).

“El agua utilizada en la elaboración del concreto y mortero debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas.”

(Gutiérrez, 2003, p. 46)



En concreto reforzado el agua de mar incrementa el riesgo de corrosión del acero de refuerzo, especialmente en países tropicales y su uso se restringe a situaciones inevitables.

Aditivos

“Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado” (Kosmatka, Panarese, & Bringas, 1992, p. 135), esto con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas del concreto. (de Guzmán, 2001)

Capítulo V: Deterioro del concreto

El deterioro del concreto se da debido a la exposición de este al medio ambiente, donde el clima, los agentes químicos, el agua, al estar en contacto por un tiempo prolongado con la estructura, pueden causar deterioro o cambios en las propiedades del concreto. (Stuart, s.f, citado de Quintero, 2010).

A lo largo de la vida útil de las estructuras de concretos, estas presentan reducciones en sus capacidades de servicio y resistencia, debido a diferentes acciones que pueden ser externas y/o internas (Bastidas, 2006).

Las condiciones externas pueden ser funcionales y ambientales. Las funcionales hacen referencia al uso de la estructura, como por ejemplo almacenamiento de productos químicos y biológicos, mientras que las segundas se refieren a la exposición de dichas estructuras al medio ambiente. (Bastidas, 2006).

Por otra parte, las acciones internas se dividen en intrínsecas e inducidas. La primera de estas hace referencia básicamente a los cambios de volumen del elemento estructural; y la segunda, es decir, las inducidas se refiere al cambio de algunas propiedades mecánicas que es propiciada por el hombre, como, por ejemplo, el reforzamiento o mejoramiento de la resistencia. (Bastidas, 2006)

Castro, G. V., Vasquez, M. C., & Guarniz, W. G. (2011). Define las causas internas como aquellas que presentan un cambio volumétrico en el concreto, debido a la reacción química que se produce entre el cemento y el agua, causando así daños severos en el concreto; además

este mismo tipo de reacciones pueden producir un aumento en la temperatura del concreto, que al enfriarse producen grietas y fisuras a este.

Debido al uso y al tiempo, en el recubrimiento del concreto se encuentran una serie de agentes nocivos como el CO₂ carbonatación, cloruros, aguas con sulfatos y gases agresivos, todos esos pueden ser causales de la oxidación del acero que compone al concreto, provocando fisuras y desprendimientos. (Castro et al., 2011). En ese orden de ideas, se tienen diferentes formas de deterioro, las cuales se mencionan a continuación

Formas de Deterioro

Ataques por congelación

Este tipo de ataques se presenta en estructuras que están expuestas a climas extremos, como por ejemplo sometidos a temperaturas por debajo de 0 grados centígrados, al pasar de estado líquido a sólido produce esfuerzos que finalmente pueden desencadenar en fisuras y agrietamiento debido al incremento de volumen. (Castro et al., 2011).

Ataques químicos

Ataques por ácidos

Es producido por la reacción entre un ácido y un compuesto generalmente hidróxido de calcio el cual se encuentra en la pasta de cemento hidratada. (Wilbur & Watson, s.f, citado por Quintero Martínez, 2010)

Ataque por bases

Causa de desprendimiento de iones de hidróxido por las bases, estos pueden reaccionar con el bióxido de carbono, provocando cristalización y expansión en el interior del concreto. (Castro et al., 2011).

Ataques por sales

Estos son producto de la reacción entre los ácidos y las bases. Algunos ejemplos de sales son: el amonio, el aluminio, hierro, magnesio; los cuales atacan al concreto, unos de manera más agresiva que otros. (Castro, et al., 2011).

Ataque por aguas

De acuerdo con (Castro et al., 2011). Existen diferentes tipos de agua que pueden atacar y/o afectar la estructura del concreto; por mencionar las que causan mayor afectación, tenemos:

- Aguas de pantano
- Aguas de mar
- Aguas de desagüe

A continuación, profundizaremos un poco acerca de los compuestos de estas, y la afectación que puede causar en la estructura de concreto expuestas a este tipo de aguas.

Aguas de pantano, las aguas de pantano pueden contener ácido carbónico, ácido sulfúrico, sulfatos, los cuales juegan un papel importante en el proceso de corrosión el acero. (Castro et al., 2011).

También tenemos el ataque por aguas de mar, esta afecta al concreto de varias maneras, una de ellas puede ser debido a la reacción química de la sal del mar con algunos compuestos del concreto, lo cual favorece la corrosión en el acero; también puede causar fallas mecánicas, esto debido al oleaje del mar, que con el tiempo puede causar desgastamiento del recubrimiento del concreto, permitiendo así la exposición del acero; otro motivo es la acción biológica de las especies marinas sobre el concreto; la cristalización de sales debido a la evaporación provocada por el viento. (Castro et al., 2011).

Ataque por aguas de desagües, en estos tipos de ambiente se propicia la acción de la corrosión esto debido a que se forman por acción de las bacterias anaerobias y el azufre que presentan las aguas de desagües; que a su vez es oxidado por las bacterias aeróbicas formando finalmente luego de otros procesos el ácido sulfúrico y por ende la corrosión del concreto. “El concreto atacado presenta un revestimiento de color blanco amarillento sobre su superficie escamosa, la misma que sufre un descascaramiento intermitente que puede producir ablandamiento y desprendimiento del agregado.” (Castro et al., p. 159, 2011).

Ataque por gases

Según (Castro et al., 2011). Los ataques más comunes debido a gases pueden producirse (1) uno por anhídrido carbónico, que al concentrarse con el concreto puede causar daños a este.

“La superficie afectada se tornará blanda y pulverulenta, no pudiendo el daño ser reparado por subsecuente curado o tratamiento.” (Castro et al., p. 160, 2011). Y por su parte, el anhídrido sulfuroso, que por sí solo no causa daños considerables sobre el concreto, pero que al reaccionar con el agua forma el ácido sulfuroso, que a su vez reacciona con el oxígeno y para formar el ácido sulfúrico, causantes de la corrosión del concreto. (Castro et al., 2011).

Ataques por sulfatos

Los ataques por sulfatos se dan de forma expansiva, debido al incremento del volumen de estos, en relación con las sales que intervienen en dicha reacción. Entre los sulfatos que causan mayor daño o que tienen un ataque más agresivo tenemos el sulfato de calcio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de sodio. (Castro et al., 2011).

“El sulfato de sodio reacciona con el aluminato de calcio hidratado para producir etringita con aumento de volumen. Igualmente reacciona con el Hidróxido de calcio para producir yeso cuyo volumen es el doble de los sólidos iniciales.” (Castro et al., 2011).

Ataque por sustancias orgánicas.

Este tipo de sustancias es muy común encontrarlas en los sistemas de alcantarillados y plantas de tratamiento de aguas residuales, pues como bien sabemos es de uso diario tanto en industrias, como en los hogares, las cuales normalmente son deseadas por las tuberías de alcantarillados, las que son de forma líquida.

De acuerdo con (Castro et al., 2011).

Los ácidos orgánicos, acético presenta en el vinagre, láctico presente en leche agria y butírico presente en las grasas agrias atacan al concreto con una severidad que dependen de la concentración y temperatura. Así mismo, El formaldehído en solución acuosa se oxida para formar ácido fórmico el cual es corrosivo al concreto. El ácido tánico y los fenoles son medianamente corrosivos. Los ácidos palmítico, esteárico y oleico, presentes en aceites y grasas, tienen acción corrosiva que los aceites animales. Los aceites vegetales pueden producir deterioro lento de las superficies del concreto. Los aceites animales rancios son corrosivos. Los aceites de pescado pueden ser más corrosivos aun que los aceites animales. (p.160)

Ataques por reacción del agregado.

Ataque por reacción álcali – sílice

A través del tiempo se ha podido observar hinchamientos en diferentes tipos de estructuras de concreto que han sido elaboradas con el mismo cemento, pero diferentes tipos de agregados y viceversa, se llega a la conclusión de que algún componente de los cementos reacciona con algún componente de los agregados (Castro et al., 2011).

Estas reacciones se dan entre hidróxidos asociados a sales disueltas de sodio y potasio, y agregados que contengan sílice, generando un gel que se expande en presencia de humedad, dicha expansión trae como consecuencias agrietamientos en la pasta de cemento y agregados. Este tipo de reacciones se evidencia al observar grietas o fisuras y un fenómeno de hinchazón en el concreto, y exudación en las fisuras. (Piñeros, 2002, citado en Quintero, 2010).

Reacción carbonato- álcali

Esta reacción se produce entre el óxido de calcio y potasio que se encuentra en la pasta de cemento, y algunas impurezas de ciertos agregados, como lo es la dolomita. (Walker et al., 2006, citado de Quintero Martínez, 2010).

Las estructuras que presenten este tipo de reacciones evidenciarán fisuras, grietas y un aspecto de hinchamiento en el concreto; con la diferencia en la reacción mencionada anteriormente de que no se evidencia ningún tipo de exudación de ge por medio de las fisuras (Piñeros, 2002, citado en Quintero, 2010)

Ataques por desgaste superficial

De acuerdo con Castro et al., 2011). Se pueden presentar tres tipos de ataques por desgaste superficial, los cuales son: uno (1) desgaste por erosión, esta se define como la acción abrasiva de sólidos y líquidos en movimientos. Es importante que haya buena resistencia a este tipo de desgastes sobre todo en infraestructuras hidráulicas a que el agua puede transportar algunos sólidos; dos (2) desgaste por cavitación, el cual se debe a la formación de burbujas por el agua en movimiento, el cual al colapsar con el concreto, genera desgaste en la superficie de este, generalmente el movimiento de estas aguas superan una velocidad de 12m/s; tres (3) desgaste por abrasión, el cual se produce por los efectos de abrasión y rozamiento el cual causa un desgaste en el concreto. Existen diferentes causas que disminuyen la resistencia a la abrasión como lo son exudación, procedimientos de acabado, curado, entre otros.

Ataques por altas temperaturas

Las estructuras que presenten este tipo de ataques tienen como consecuencia: “disminución de la resistencia; alargamiento de la longitud inicial; considerable expansión permanente; de elasticidad y dureza; descomposición del agregado con liberación de la cal libre; descascaramiento superficial, todo ello con posible expansión y fisuramiento y desprendimiento de concreto.” (Castro et al., 2011).

Deterioro biológico de Materiales Inorgánicos

El deterioro de las estructuras en concreto tanto físico, químico y mecánico; causados por organismos vivos es conocido como biodeterio. En estos casos, el efecto puede apreciarse con la disminución del recubrimiento, lo que conlleva a que se presente el fenómeno de corrosión de una manera más acelerada. (Bastidas, 2006)

Griffin et. al, (1991), citado en Quintero Martínez, A. M. (2010) define el biodeterio como todo daño físico o químico provocado por seres bióticos a algún material orgánico o inorgánico. El daño físico hace referencia a las afectaciones mecánicas que pueden producir los seres bióticos en el material, ingresando a la matriz de este de tal manera que pueda producir desprendimiento de material. Y así mismo, define el deterioro bioquímico como todos aquellos procesos metabólicos de microorganismos en el material, provocando afectaciones a este.

Materiales Inorgánicos que Pueden Estar Sujetos a Ataques Biológicos

Materiales minerales

Stephant et al. (2007), citado en Quintero Martínez (2010) define los materiales minerales como tipo de rocas de producción local que son utilizadas en las construcciones estructurales. Además de eso clasifica en dos los materiales calcáreos que son más propensos a ataques biológicos.

Materiales calcáreos, son aquellos que tienen gran contenido de calcio, y son utilizados como subproductos de acciones metabólicas de bacterias, hongos y algas. (Stephant et al., 2007, citado en Quintero, 2010)

Materiales silicios, estos están compuestos básicamente por sílice, y se pueden clasificar en intrusivos, extrusivos, metamórficos y sedimentarios.

Materiales metálicos

Son materiales que están conformados por elementos metálicos. Son utilizado en la industria de la construcción ya que tienen gran resistencia y ductilidad Los materiales que son mayormente afectados por los microorganismos son el oro, el aluminio, magnesio, hierro y acero. (Stephant et al., 2007, citado en Quintero, 2010)

Mecanismos de deterioro

De acuerdo con Sand (2007), citado en Quintero (2010), los mecanismos de deterioro debido a la acción de organismos bióticos son: el daño físico, la salinización, biopelículas y

contaminación biológica. A continuación, ampliaremos información acerca de cómo se producen los mecanismos de deterioros mencionados anteriormente

Daños Físicos

Los daños físicos es causado principalmente por organismos que cuentan con filamentos en su estructuras, como por ejemplo los hongos que contienen hifas, pero hay otros organismos que tienen la capacidad para penetrar al sustrato del material inorgánico como las cianobacterias (Scheerer et al.,2009 citado en Quintero Martinez 2010), estas se adhieren a las micro fisuras del material en el cual absorben agua y por consiguiente provocan un aumento en su masa celular, generando presión y por ende un agrandamiento de las fisuras. Posteriormente al cumplir su ciclo vital, estas se convierten en alimentos, generando así un ambiente adecuado para que otros microorganismos heterótrofos se alojen, lo que finalmente produce que se aumente la presión en la parte superficial del sustrato y causa desmoronamiento. (Quintero, 2010).

Salinización

Esta se produce debió a la reacción química entre un catión de un material cerámico y un catión producto del metabolismo de un microorganismo. Como la sal es soluble provoca el aumento del agua en el interior del sustrato, por lo que aumentaría el volumen en los poros del material, lo que lo hace susceptible al ciclo del hielo y deshielo y su posterior cristalización.

Biopelículas

“Las biopelículas son una estrategia de supervivencia para los microorganismos que les permite la colonización de ambientes hostiles” (Muro, Castillo, González, & Barrera, 2012).

De acuerdo con Scheerer et al., (2009) la agregación de microorganismos(biopelículas) permite que el ataque biológico sea más agresivo debido al debilitamiento del material, este debilitamiento es debido a los recurrentes ciclos de humedad y sequedad lo cual conlleva a expansiones y contracciones, respectivamente. Esta agregación de organismos produce un cambio en el tamaño de los poros, humedad y dureza superficial, entre otros. Citado en (Quintero, 2010).

La fijación de las comunidades microbianas al sustrato y la formación de las biopelículas se da gracias a la producción de sustancias poliméricas extracelulares (SPE), que consisten esencialmente en una compleja mezcla de macromoléculas que incluyen proteínas, polisacáridos, lípidos y ácidos nucleicos. (Rivera, M, p.14, 2015).

La composición y/o características de las biopelículas pueden variar, es decir, que, dependiendo de los factores como el lugar, las condiciones ambientales, y principalmente por el tipo de microorganismos que conforman dicha biopelícula. (Rivera, M., 2015).

Contaminación Biológica

La contaminación biológica hace referencia a la acumulación de microorganismos y a sus productos de reacciones metabólicas contenidas o adherida a un material o sustrato. La contaminación biológica se podría decir entonces que tiene una repercusión en el sustrato muy similar a las biopelículas. (Quintero, 2010).

Capítulo VI: Biodeterioro en el concreto como material de construcción en sistemas de alcantarillados

Hueck (1965), define el biodeterioro como “cualquier cambio indeseable producida por actividades normales de organismos vivos sobre materiales”

La acción microbiana sobre las estructuras de concreto, junto a algunas condiciones favorables para dichos organismos, actúan de tal forma que afectan de manera significativa la durabilidad (vida útil), y la estabilidad de esta. Es importante aclarar que la afectación depende del tipo de microorganismos que se encuentre en la estructura y como ya se mencionó, de las condiciones ambientales; algunos ambientes que favorecen este tipo de afectaciones son: la humedad, altas concentraciones de ácidos, concentraciones significativas de dióxido de carbono, presencia de sales, y presencia de sulfatos. (Rivera, 2015)

“Por otro lado, las estructuras de concreto reforzado también son propensas al deterioro biocorrosivo inducido por microorganismos, ya que el desgaste de la matriz de concreto que recubre el acero promueve de manera indirecta su corrosión” (Karar & Singh, 2015, citado por Rivera, 2015).

La durabilidad de las estructuras de concreto se ve afectada de la exposición ambiental a la cual se encuentra, de esa manera, en condiciones óptimas, no ve afectada de gran manera la durabilidad a través del tiempo, pero, existen ambientes agresivos en los cuales se ve afectada la durabilidad y la vida útil de dichas estructuras, estos ambientes pueden ser por ejemplo: estructuras en las cuales circulan o transportan aguas residuales, es decir, sistemas de

alcantarillados y plantas de tratamientos; estructuras que están expuestas ambientes marinos, entre otros. (Bastidas, 2006).

Según Gaylarde, 2003 pueden definirse tres tipos de biodeterioro, los cuales se mencionan a continuación

Estético, este hace referencia a todo cambio que provoca un aspecto no deseable

Químico todas aquellas acciones causadas por diferentes organismos que ocasiona la desintegración del concreto y los elementos que lo conforman

Físico son aquellos cambios producidos por la actividad microbiana, los cuales generan un cambio físico en la estructura del concreto.

Organismos que deterioran el concreto.

Los microorganismos son seres vivos que teniendo las condiciones ambientales favorables para vivir y reproducirse, como estructuras de concreto que tengan un pH bajo, haya presencia de agua o humedad relativa considerable, y haya nutrientes esenciales para su metabolismo, pueden empezar a formar biopelículas; lo que a su vez conllevará a casuar deterioro en lugar o estructura en las que se alojan. (Gaylarde et al., 2003, citado de Bastidas, 2006)

De acuerdo con Gaylarde et al., (2003) las bacterias, algas y líquenes, hongos, organismos abrasionadores y perforadores; son los que comúnmente causan deterioro en el concreto. A continuación, profundizaremos sobre cómo afectan dichos organismos al concreto.

Bacterias

Las bacterias que más influyen en el deterioro del concreto son las cianobacterias, nitro bacterias, bacterias sulfo-reductoras, bacterias sulfo-oxidantes.

Cianobacterias: las cianobacterias o algas azules son microorganismos fotoautótrofos (la fotosíntesis es su principal fuente de energía). Crecen muy fácilmente en aguas alcalinas, que tienen un pH entre 6 y 9. (Roset, J., Aguayo, S., & Muñoz, M. J., 2001)

“La acción química de las cianobacterias no afecta considerablemente al concreto, sin embargo, la excreción de material orgánico sirve de nutriente para hongos y bacterias heterotróficas que son más agresivos con el concreto” (Gaylarde, 2003 citado de Bastidas, 2006, p. 12).

Por otra parte, se tiene que causan un mayor daño físico, debido a que algunas bacterias de este tipo se alojan en las fisuras del concreto, que al entrar en contacto con el agua aumentan su masa muscular causando presión y por tanto aumentando el tamaño de las grietas. (Gaylarde, 2003).

Nitrobacterias: son bacterias heterotróficas y anaerobias. Una de las funciones principales de estas es convertir el amonio que encuentran en el ambiente, en nitrato de calcio, siendo este el responsable de volver soluble uno de los componentes del concreto, afectándolo así de manera considerable. (Bock, 1990, citado de Bastidas, 2006).

“Las bacterias sulfato reductoras, son organismos que realizan un proceso desasimilatorio de sulfato, que ocurre de forma natural dentro del ciclo del azufre. El proceso desasimilatorio genera como subproducto H₂S, sustancia corrosiva”. (Monroy, Y. Y., 2014)

Aunque la acción de estas bacterias no afecta directamente al concreto, la producción de ácido sulfhídrico es aprovechado por las bacterias sulfo- oxidantes para producir ácido sulfúrico, el cual está relacionado con la corrosión del concreto. (Roberts et al., 2002 citado en Bastidas, 2006).

Bacterias sulfato- oxidantes: son bacterias aerobias y heterotróficas. Pueden vivir en ambientes de pH con rangos muy variados, desde 2 hasta 9. Necesitan de la presencia de oxígeno para sus procesos vitales, lo que hace que oxide el H₂S producido por las bacterias sulfato reductoras, convirtiéndolo en ácido sulfúrico, que al reaccionar con la pasta de cemento forma el yeso, y este a su vez, al reaccionar con el aluminato hidratado de calcio, forma el sulfoaluminato de calcio, el cual puede junto con otros productos de esas reacciones, degradar químicamente el concreto. (Bastidas, 2006).

De acuerdo con Rivera, M. (2015). “La corrosión causada por ácido sulfúrico de origen biogénico, es una de las formas de deterioro más importante y agresiva, y ha sido reportada frecuentemente en sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales a nivel mundial.”

Hongos

“Pueden producir daños mecánicos a la microestructura del concreto, por la penetración de las hifas. Además, deterioran químicamente al concreto mediante la generación de ácidos orgánicos e inorgánicos que precipitan sales.” (Bastidas, 2006, p. 14)



Estos hongos están presentes en ambientes agresivos, en la medida en que tengan materia orgánica disponible para la realización de sus procesos metabólicos.

Algas y líquenes

Las algas pueden sobrevivir a cualquier tipo de ambiente, siempre y cuando en estos haya luz y humedad. Estas necesitan de algunos compuestos del cemento como lo es el magnesio y el calcio para poder realizar sus procesos metabólicos, lo que causa en la pasta de cemento algún tipo de fisuras y cavidades que permite una reducción de su resistencia. (Bastidas, 2006).

Por su parte, de acuerdo con Sánchez de Guzmán (2002), los líquenes son una simbiosis entre un alga y un hongo. Es normal encontrar micro perforaciones en estructuras que han sido colonizadas por líquenes.

Llega un punto en el que el biodeterioro al no ser controlado a tiempo es más notorio, debido a que las biopelículas ya formadas en ese ambiente, permiten la creación de nuevos organismos más grandes, que a su vez causan daños más notorios en las estructuras de concreto por medio de procesos químicos y físicos, estos son los organismos abrasivos y perforadores (Piedrahita, 2004)

Tabla 2

Resumen de algunos efectos de los microorganismos sobre los materiales de construcción.

Actividad	Efectos	Material	Organismos
Presencia física	Decoloración, Retención de Agua	Todos	Todos
Presencia física	Incremento del crecimiento de organismos heterotróficos	Cualquier superficie limpia	Algas, bacterias fotosintéticas
Enzimas hidrolíticas	Ruptura de componentes, degradación de aditivos de cadena corta	Madera, superficies pintadas, polímeros, mortero, concreto	Hongos, Bacterias Hongos filamentosos
Crecimientos filamentosos Disgregación de materiales	Disgregación de materiales	Piedra, concreto, mortero, madera	Hongos, actinomicetos, cianobacterias, algas
Producción de ácidos	Degradación	Piedra, concreto, mortero	Hongos, bacterias
Movilización de iones	Debilitamiento y disolución	Piedra, concreto, mortero	Todos

Actividad	Efectos	Material	Organismos
Quelación de iones constituyentes	Debilitamiento y disolución	Piedra, concreto, mortero	Productores de ácidos orgánicos (Por ejemplo, hongos)
Captura de iones H ⁺ por las células	Degradación alcalina	Piedra	Algas, cianobacterias
Liberación de Polioles (Por ejemplo: glicerol, polisacáridos)	Disrupción de capas de silicatos	Piedras silíceas	Todos

Fuente: tomado de (de Turris, de Romero & Fernández,2013)

Tabla 3

Resumen de las alteraciones físicas generadas por los microorganismos sobre los materiales de construcción.

Microorganismos	Alteraciones
Bacterias autótrofas	Costras negras, pátinas negras-marrones, exfoliación, pulverización

Microorganismos

Alteraciones

Bacterias heterótrofas Costras negras, pátinas negras-marrones, exfoliación, cambio de color (decoloración).

Cianobacterias. Pátinas y láminas de varios colores y consistencia

Hongos Manchas coloreadas y parches, exfoliación, picaduras

Algas Pátinas y láminas de varios colores y consistencia.

Líquenes Costras, parches y picaduras.

Fuente: tomado de (de Turris, de Romero & Fernández,2013)

Corrosion del concreto inducida microbiologicamnete

Las condiciones que se desarrollan un sistema de alcantarillado son propicias para que el pH del concreto se vea afectado disminuyendo este, dando paso a que microorganismos como bacterias productoras de ácido se adhieran a dichas estructuras, provocando entonces la corrosión del concreto. (Okabe, Odagiri, Ito, & Satoh, H. 2007).

Los microorganismos que producen ácido sulfúrico son los responsables de estimular la degradación de las tuberías de concreto por medio de un proceso conocido como corrosión del concreto inducida microbiológicamente. Este proceso se lleva a cabo en tres etapas, las cuales se mencionan a continuación. (de Turrís, de Romero & Fernández,2013)

La primera etapa se origina con la disminución del pH del concreto, que normalmente es de 13 y pasa a un pH de 9, esta etapa ocurre en la parte superior de la tubería de concreto (corona), esto producto de la reacción del dióxido de carbono y ácido, los cuales son originados debido a la condensación de humedad en el ambiente. Cabe aclarar que este no es un proceso biótico, si no abiótico, que no es generado por procesos metabólicos de los microorganismos. (de Turrís, de Romero & Fernández,2013)

La segunda etapa consiste en que distintos microorganismos colonizan la parte superior de la tubería donde se condensa la humedad y de esa manera estos organismos utilizan el azufre por mencionar el sulfuro de hidrogeno, y otros compuestos producidos por las aguas residuales que circulan por dichas tuberías, para hacer más ácido el pH, consecuencia de esto, se produce una disminución del pH hasta por debajo del neutro. Se cree que microorganismos oxidantes de azufre como por ejemplo Thiobacillus neapolitanus y Thiobacillus thioparus continúan produciendo aún más ácido hasta alcanzar un pH 3 por debajo de 3, siendo este el límite de pH más bajo para continuar su desarrollo. (de Turrís, de Romero & Fernández,2013)

Más allá de esto, una población de microorganismos oxidantes de azufre acidófilos, tal como Acidithiobacillus thiooxidans, y las bacterias acidófilas heterotróficas tales como Acidiphilium cryptum se establecen y continúan la oxidación del sulfuro de hidrógeno (H₂S) a ácido sulfúrico. Los microorganismos oxidantes de azufre acidófilos autotróficos pueden

Según un estudio realizado en 2002 por la Administración Federal de Carreteras (FHWA),¹⁷ se estima que la corrosión de los metales genera anualmente unos 36 mil millones de dólares de daños al sistema de agua y alcantarillado en los Estados Unidos. La MICC es probablemente un mecanismo de deterioro menos conocido y documentado que la corrosión del acero o las fugas en las juntas al que deben enfrentarse los usuarios. Una mejor comprensión de la MICC y del complejo ecosistema de bacterias que la propician debería permitir a los ingenieros mejorar las prácticas de diseño de los nuevos sistemas y rehabilitar las estructuras existentes. El Comité 201 del ACI, Durabilidad del Concreto, está trabajando para mejorar el conocimiento de este problema mundial (Lines, Rothstein, Rollins, & Alt, 2021, p.8)

Vulnerabilidad de los Sistemas de Alcantarillado

En la construcción de sistemas de alcantarillados, las tuberías tienen como material clave el metal, el cual es propenso a la corrosión, que es el daño o deterioro que sufren los metales debido a reacciones químicas o electroquímicas, siendo las últimas las más propensas a producir este fenómeno. En cuanto a lo que caracteriza a una reacción electroquímica, es decir, reacciones de reducción-oxidación, es la presencia de 3 factores: (1) unos electrodos (un ánodo y un cátodo), (2) un electrolito, como medio conductor, que en la mayoría de los casos corresponde de una solución acuosa, y (3) una conexión eléctrica entre los electrodos (ECCA, 2011, como se citó en Salazar, 2015).

Dicho lo anterior, en cuanto al biodeterioro de los sistemas de alcantarillado, este puede originarse a su vez por un tipo de corrosión denominada microbiológica, en donde las bacterias son los microorganismos con mayor acción y suele producirse en sistemas de transporte de

líquido, ya que la naturaleza del líquido que se transporta, propicia la acumulación y reproducción de bacterias, las cuales se aglomeran y simultáneamente, propician las condiciones, como variación en la concentración de sales y oxígeno (Salazar, 2015). Dicho líquido, en este caso, son aguas residuales.

Entonces, la biocorrosión se produce debido a la capacidad que poseen algunos microorganismos de formar biopelículas sobre una extensa variedad de superficies y en distintas condiciones. Una biopelícula puede ser definida como un consorcio de microorganismos y sus productos extracelulares, asociados en una interfaz y unidos a una superficie (Davey y O'toole, 2000, como se citó en Rivera, 2015).

Bien es cierto que las aguas residuales cuentan con componentes, físicos, biológicos y químicos, que de una u otra forman afectan de manera directa e indirecta los sistemas de alcantarillado, esto es porque permiten la creación de microorganismos dañinos y hongos que causan la corrosión de los materiales que componen los alcantarillados.

En el caso de los hongos al igual que las bacterias, estos se fijan sobre la superficie de diferentes metales y minerales, generando un microambiente en el cual ocurren una serie de interacciones bioquímicas, que resultan en su transformación de la superficie, cambiando las propiedades originales del material y causando su deterioro. (Konhauser & Kurt, 2009)

Siendo así, que los sistemas de alcantarillados están propensos al biodeterioro por dos causas, las cuales son, los microorganismos, y los hongos los cuales causan casi los mismos efectos de los microorganismos.

Conclusiones

Existen diferentes componentes que ponen en riesgo la red de alcantarillado, es decir, el deterioro de estructuras de metal, concreto, y otros materiales más, que se encuentran dentro del sistema de alcantarillado, es por ello que la vulnerabilidad a la que se encuentran los sistemas de alcantarillados es notoria, en primer lugar están los microorganismos que están acabando con la estructura y en segundo lugar están los hongos que están creando diferentes factores que permiten un alto deterioro de los materiales, permitiendo con el que no haya un eficaz funcionamiento de la red de alcantarillado, así mismo, los componentes químicos de las aguas residuales las cuales afectan de manera directa la estructura de la red.

Sin duda alguna. El biodeterioro es una consecuencia que puede costar que se caigan las redes de alcantarillados, así mismo, la vulnerabilidad en la cual hoy los sistemas de alcantarillado se encuentran es grande, sin embargo, es una situación que puede ser superada siendo así, que se debe intentar establecer la causa del deterioro y determinar los procesos y los microorganismos involucrados, para atacar la fuente del problema.

Los componentes de índole biológica o química, que se encuentran en los diferentes tipos de aguas residuales, por sí mismos o en conjunto con condiciones que ofrece el medio del alcantarillado, incrementan el número de factores determinantes para que se produzca el biodeterioro de los materiales, ya sea en una o varias zonas específicas de la estructura, lo que, a su vez, afecta a todo el sistema en general. Este deterioro tiene distintas manifestaciones, pues puede darse como consecuencia de la acción de los microorganismos, o como resultado de una serie de reacciones químicas o electroquímicas. En cualquier caso, existe un daño y aunque este puede darse a pequeña escala o verse inofensivo, las posibilidades de que se incremente



rápidamente y deteriore el material o se encargue de condicionar el medio para otros fenómenos, no pueden pasar desapercibidas.

Así que, a cada elemento que forme parte de una estructura debe dársele la misma importancia que tiene el sistema en sí, igualmente, cuando se prevén los posibles daños que puede tener un material cuando entre en contacto con agentes contaminantes o se vea afectado por aspectos medioambientales, es importante realizar acciones de prevención en pro de su buen funcionamiento, como en el caso del mantenimiento preventivo de los sistemas de alcantarillado.

Finalmente, en concordancia con los aspectos que producen el biodeterioro, a esto debe identificárseles, por un lado, como aquellos que son producto de acciones de microorganismo o bacterias, y, por otro lado, los que son el resultado de reacciones químicas o electroquímicas. Considerando que ambos usan distintos medios para afectar los materiales, pero, al fin y al cabo, producen deterioro.



Referencias Bibliográficas

Aquae fundación. (s.f). Cloaca Máxima: *gestión de aguas residuales en Roma*.

<https://www.fundacionaquae.org/se-trataban-las-aguas-residuales-la-antigua-roma/>

Cadena Parroquia Cascol, Cantón Paján. Universidad Estatal del Sur de Manabí.

<http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1719/1/UNESUM-ECUADOR-ING.CIVIL-2019-50.pdf>

Carmona, R. P. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Ecoe Ediciones.

Castro, G. V., Vasquez, M. C., & Guarniz, W. G. (2011). Vida Útil en Estructuras de Concreto Armado Desde el Punto de Vista de Comportamiento del Material. *Ingeniería de estructuras*, 16(2), 151-172.

de Guzmán, D. S. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Pontificia Universidad Javeriana.

de Turris, A., Ocando, L., de Romero, M. F., & Fernández, M. (2013). ¿Pueden los Microorganismos Impactar los Materiales de Construcción?: una Revisión. *Gaceta Técnica*, (10), 23-33.



Espigares García, M. y Pérez López, J. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*.
Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones.

https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Guiamet, P. S., Battistoni, P. & Gómez de Saravia, S. G., (2008). *Biodeterioro, ¿dónde estás? Desde la Patagonia difundiendo saberes*, 5(7), 34-38.

https://desdelapatagonia.uncoma.edu.ar/wp-content/uploads/2019/01/11.-Revista-N7_Guiamet.pdf

Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. *Departamento de Ingeniería Civil*.

Konhauser, Kurt O. (2009). *Microbial Weathering. Introduction to Geomicrobiology*. Alberta, Canada: Wiley, p. 192-200.

Kosmatka, S. H., Panarese, W. C., & Bringas, M. S. (1992). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

Lines, S. J., Rothstein, D. A., Rollins, B., & Alt, C. C. (2021). *Corrosión del Concreto Inducida por Microbios*. *Representantes de los Capítulos ACI de Latinoamérica*, 4.



López, R., (2003). *Elementos De Diseño Para Acueductos Y Alcantarillado*. Editorial escuela colombiana de ingeniería. <https://www.udocz.com/co/read/27116/elementos-de-diseno-para-acueductos-y-alcantarillado---ricardo-lopez-cualla>

Merchán Segovia, F. E. (2019). *Diseño de la red de alcantarillado sanitario en la comunidad La Cadena Parroquia Cascol, Cantón Paján* (Bachelor's thesis, JIPIJAPA-UNESUM).

Monroy, Y. Y. (2014). Bacterias sulfato reductoras. Recuperado de:

<http://hdl.handle.net/10654/12039>

Muro, A. L., Castillo, F. Y. R., González, F. J. A., & Barrera, A. L. G. (2012). Biopelículas multi-especie: asociarse para sobrevivir. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (54), 49-56.

Okabe, S., Odagiri, M., Ito, T., & Satoh, H. (2007). Succession of sulfur-oxidizing bacteria in the microbial community on corroding concrete in sewer systems. *Applied and environmental microbiology*, 73(3), 971-980.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*.

https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827#:~:text=Son%20aquellas%20aguas%20cuyas%20caracter%C3%ADsticas,descargadas%20al%20sistema%20de%20alcantarillado



Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas [WWAP], (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO.*

Quintero Martínez, A. M. (2010). Biodeterioro del concreto-estado del arte y análisis con microscopía electrónica de barrido (Bachelor's thesis, Bogotá-Uniandes).

Rivera, M. (2015). *El papel de los microorganismos en el biodeterioro y la Conservación de materiales de construcción: metales y concreto.* [Proyecto de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional Séneca- Universidad de los Andes.

Roset, J., Aguayo, S., & Muñoz, M. J. (2001). Detección de cianobacterias y sus toxinas. Una revisión. *Revista de Toxicología*, 18(2), 65-71.

Salazar Jiménez, J. (2015) *Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales* (Nota técnica). *Tecnología en marcha*, 28(3), p.127-136. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v28n3/0379-3982-tem-28-03-00127.pdf>

Sánchez Avellaneda, J. (2018). *Instructivo del proceso constructivo de una red de Alcantarillado pluvial. Universidad Distrital Francisco José De Caldas.*
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14215/SanchezAvellanedaJohnEdisonAnexo1.pdf;jsessionid=B2F6E358C4D1DC03943E35244EDAB1EF?sequence=>



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Torres Dueñas, L. (2013). *Métodos de diseño en redes de alcantarillado: ¿qué se usa hoy en día?* [Proyecto de grado, Universidad de los Andes] Repositorio Institucional Séneca-Universidad de los Andes.

We are water foundation. (22 de marzo de 2017). Aguas negras, el rastro de nuestra historia.
https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia_281141



SC