



Impacto y Tratamiento de la Biocorrosión y el Biodeterioro en Materiales de Construcción

Monografía como trabajo de grado por el título de Ingeniero Civil

JUNIO 2022

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

INGENIERIA CIVIL

IMPACTO Y TRATAMIENTO DE LA BIOCORROSIÓN Y EL BIODETERIORO EN
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Autor

Jorge Andrés Virgüez Álvarez

Director

Luis Ortiz carrillo

Ingeniero micro ambiental

Programa de ingeniería civil

Departamento de ingenierías civil, ambiental y química

Facultad de ingenierías y arquitectura



Universidad de pamplona

Pamplona, junio de 2022

Agradecimientos

En esta etapa de mi vida Dios ha sido mi mayor fortaleza y ha sido el que ha permitido que todo sea posible hoy días antes de terminar mi estudio como profesional seme pasan por la mete todos los procesos que he tenido que superar desde el inicio de mi formación y sin duda no han sido fácil, pero me han enseñado que cuando uno quiere lograr las cosas todo es posible, la disciplina y voluntad para superar cada uno de los procesos son dos factores fundamentales.

En todo el proceso de mi formación he recibido apoyo de muchas personas que han querido que logre superarme especial mente mi madre, mis hermanos y amigos ellos han sido muy importantes en cada una de mis metas ya que en algunas circunstancias como toda persona sentimos que no podemos lograr nuestros objetivos y siempre es de mucho valor una voz de apoyo que nos suba el ánimo para seguir adelante.

Además, ha sido muy importante la formación aportada por parte de la docencia y todo el cuerpo que dirige la institución ya que aparte de sus horas laborales nos brindan el apoyo ante cualquier inquietud que se nos presente y están muy atentos del desarrollo y avance de todos los estudiantes de la mejor manera, he sido muy afortunado en compartir y recibir conocimientos con muchos maestros que cuentan con una amplia experiencia y sus aportes son de mucha importancia para nuestra formación profesional.

Tabla de contenido

Resumen.....	9
Introducción	10
1. BIOCORROSIÓN.....	12
2. TIPOS DE CORROSIÓN	14
2.1 Corrosión electroquímica.....	14
2.2 Corrosión generalizada	15
2.3 Corrosión galvánica	15
2.4 Picaduras generadas por microorganismos.....	16
2.5 Ataque corrosivo por cavitación	16
2.6 Biocorrosión en los materiales por acción de la erosión	17
3. BIODETERIORO	19
4. SISTEMA DE DETERIORO Y CORROSIÓN POR MICRORGANISMOS	20
5. FACTORES AMBIENTALES QUE ACELERAN LA CORROSIÓN GENERADA POR MICRORGANISMOS	21
5.1 Humedad en el proceso de corrosión	22
5.2 Temperatura y su relación con el deterioro.....	23
5.2.1 Cambios en la temperatura como factor de deterioro	24
5.3 El viento como generador de corrosión	24
5.4 Nutrientes que aceleran la reproducción de agentes	24
5.5 Factores que se relacionan con la aceleración de la corrosión inducida por seres vivos.....	25

6. SUPERFICIES Y MATERIALES AFECTADOS POR LOS MICRORGANISMOS	26
6.1 El Concreto bajo el ataque de microorganismos.....	26
6.1.1 <i>El concreto bajo el deterioro por acción de los microorganismos</i>	28
6.1.2 <i>Ácido sulfúrico en el concreto</i>	29
6.1.3 <i>Acciones del sulfuro de hidrogeno en el concreto</i>	29
6.2 Ataque de microorganismos al Acero de refuerzo.....	32
6.3 Ataques en la madera	34
6.3.1 <i>madera afectada por bacterias</i>	34
6.3.2 <i>La madera bajo el ataque de los hongos</i>	35
6.3.3 <i>Ataque en la madera por hongos cromógenos</i>	36
6.3.4 <i>Hongos de pudrición en la madera</i>	37
6.3.5 <i>Métodos de curado en la madera</i>	37
7. TRATAMIENTOS PREVENTIVOS Y DE CONTROL DE LOS MICRORGANISMOS....	39
7.1 Eliminación de microorganismos por medio de la limpieza.....	39
7.1.1 <i>Aplicación de la limpieza mecánica de las superficies</i>	39
7.1.2 <i>Limpieza química para el control de microorganismo</i>	40
7.2 Biocidas como mecanismos de control de la biocorrosión.....	41
7.2.1 <i>Efectividad de los Biocidas ante el control de microorganismos</i>	42
7.2.2 <i>Biocidas oxidantes para el tratamiento de microorganismos</i>	42
7.2.3 <i>Biocidas no oxidantes para el control de microorganismos</i>	43
7.2.3.1 <i>Glutaraldehído:</i>	43
7.2.3.2 <i>Quats:</i>	44

7.3	Elección del producto y su aplicación	44
7.4	Protección catódica en la construcción	45
7.5	Protección anódica	45
7.6	Inhibidores	45
7.7	Recubrimientos superficiales para prevenir la MIC	45
7.7.1	<i>Recubrimientos orgánicos.....</i>	46
7.7.2	<i>Recubrimientos metálicos en superficies expuestas a la biocorrosión</i>	46
7.8.3	<i>barreras no metálicos contra la corrosión inducida por microorganismos.....</i>	47
7.8.4	<i>Barreras superficies metálicas en pro de la protección corrosiva.....</i>	47
7.8.5	<i>Mitigación de la biocorrosión con recubrimientos de zinc</i>	47
7.8.6	<i>Revestimiento galvanizado por inmersión</i>	48
7.8	La tecnología del galvanizado al caliente para barreras físicas	50
8.	BIOPELÍCULAS	51
8.1	Relación de las biopelículas y los metales en la construcción.....	52
9.	MICROORGANISMOS QUE AFECTAN LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	53
9.1	Bacterias que afecta los materiales de construcción	55
9.1.1	<i>Bacterias Sulfato Reductoras y Productoras de Ácido en los materiales de construcción .</i>	55
9.1.2	<i>Ferrobacterias en los materiales de construcción</i>	56
9.1.3	<i>Bacterias Formadoras de Gel en los materiales de construcción.....</i>	56
9.1.4	<i>Bacterias colonizadoras en los materiales de construcción.....</i>	56
9.1.5	<i>Bacterias encargadas de reducir el nitrato en los materiales de construcción</i>	57
9.2	Líquenes	58
9.3	Hongos	58

9.3.1 Túneles de hongos.....	59
9.3.2 Géneros de hongos.....	59
9.4 Biodeterioro por acción de las plantas en los materiales de construcción.....	59
9.4.1 Ataques por las plantas por acción de las plantas en los materiales de construcción	60
9.4.2 Daños a materiales y estructuras y por acción de las plantas	61
10. CONSECUENCIAS EN OBRAS AL IMPLEMENTAR MATERIALES SALPICADOS POR MICROORGANISMOS	62
10.1 Consecuencias económicas por implementar materiales salpicados por microorganismos .	62
10.2 Consecuencias en la salud de las personas debido a la biocorrosión.....	63
10.3 Consecuencias legales por implementar materiales salpicados por microorganismos	64
10.4 Responsabilidad civil	65
11. NORMAS RELACIONADAS CON LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	67
12 CONCLUSIONES	68
13 BIBLIOGRAFÍA	69

Índice de Figuras

Figura 1 : Sistema de corrosión electroquímica con ánodo, cátodo y electrolito	18
Figura 2 : Desarrollo de los microorganismos en acero	19
Figura 3 : Factores del medio ambiente que potencian la corrosión	21
Figura 4 : Generación de sulfuro de hidrogeno en entornos corrosivos	30
Figura 5 : Curado con brocha	37
Figura 6 : Comport. de los microorganismos sobre los materiales de construcción.	47
Figura 7 : Sistemas de protección del acero por galvanización	50
Figura 8 : Biopelículas compuestas por SRB	53

Índice de Tablas

Tabla 1. Comportamiento de los microorganismos sobre los materiales de construcción...	37
Tabla 2. Resumen de las alteraciones físicas generadas por los microorganismos.....	54

Resumen

La finalidad del siguiente documento es relacionar la corrosión inducida o generada por diferentes microorganismos con los materiales de construcción por lo tanto se analizarán todas las problemáticas, consecuencias, así como las medidas y procesos que debemos de implementar para tratar estas problemáticas, y evitar consecuencias futuras negativas a causa de esta corrosión. Además, mencionaremos los factores ambientales que ayudan acelerar la reproducción de los microorganismos en los materiales, y la importancia de saber elegir los materiales considerando su funcionalidad y el entorno donde este se valla a implementar ya que de eso depende la vida útil de los materiales y los procesos de curado que se le apliquen para mejorar su resistencia ante el ataque de microorganismos. Así como los diferentes agentes que componen la biocorrosión y causan el biodeterioro de forma rápida en las diferentes superficies.

Palabras claves: Biocorrosión, Biodeterioro, materiales, construcción.

Introducción

Los datos implementados en esta monografía cuentan con una base bibliográfica donde se podrá analizar la seguridad de cualquier información, se implementarán los artículos científicos y libros científicos en sus últimas versiones o actualizaciones para que la información proporcionada sea reciente, el tema principal será la corrosión y el deterioro producidos por microorganismos y se abarcan muchos factores relacionados buscando aclarar y proporcionar información de fundamento a las personas que lean este documento.

El lector podrá encontrar toda la información relacionada a la corrosión inducida por diferentes seres vivos, así como las medidas que se deben de tener en cuenta al momento de prevenir, controlar y darle una solución definitiva a los ataques por los microorganismos, así las personas que lean este archivo estar prevenidas e implementaran las medidas necesarias para la protección de los diferentes materiales de construcción ya que es fundamental para asegurar el cumplimiento de una obra como su vida útil y su adecuada funcionalidad.

Toda persona que se dedique a la construcción debe tener claro la importancia de los factores climáticos para el desarrollo de las obras, así como la implantación de los materiales, almacenamiento de los mismos y los procesos constructivos que son parte fundamental en la construcción así como la calidad de los materiales, es por esta razón que se debe analizar la forma de evitar la corrosión en las construcciones y especialmente en los materiales iniciales que puede generar graves consecuencias que serán analizadas en el presente documento.

1. BIOCORROSIÓN

Los factores biológicos se catalogan y se conocen por la palabra bio y esta palabra es la que cataloga la corrosión generada por microorganismos. La biología es una de las partes de la ciencia que analiza los seres vivos y sus procesos metabólicos, seres vivos que atacan de manera progresiva cualquier superficie sin importar su composición, estos microorganismos se adhieren a las superficies y sus ataques se desarrollan de afuera hacia dentro debilitando de manera directa los materiales, estos sucesos los podemos analizar de una manera más periódica en la mayoría de metales y sus aleaciones que se implementan para el desarrollo de la construcción ingenieril. La corrosión inducida por microorganismos es una de las diferentes corrosiones que podemos observar en los materiales que se encuentran en un estado inerte y al ser alcanzados por microorganismos se empieza un proceso metabólico. Según Arenas Salcedo, (2013) :

La corrosión es el proceso electroquímico que consiste en una reacción anódica que involucra la ionización del metal en la reacción de corrosión y la reacción catódica basada en la reducción de especies químicas. Estas reacciones electroquímicas pueden ser influenciadas por actividad bacteriana, especialmente cuando el microorganismo está en contacto directo con la superficie del metal formando así, una biopelícula. El resultado de esta actividad corrosiva es conocido como biocorrosión o MIC. (p.25)

Esta es una de las corrosiones que más afecta la naturaleza de los materiales en la construcción y su funcionalidad original así como sus propiedades mecánicas como la resistencia y capacidad portante.

Desde la literatura se define la biocorrosion como una de las diferentes corrosiones con la particularidad de que es generada por microrganismos, por lo tanto se conoce como corrosion influida microbiologicamente esta tiene la capacidad de corroer las superficies de diferentes materiales debido a una serie de reacciones electroquimicas, reacciones que son compuestas por diferentes agentes como bacterias, algas, hongos y algunos otros que desarrollan de una manera mas rapida los factores en la corrosion. (Dominici, L. E. 2021)

2. TIPOS DE CORROSIÓN

La corrosión es una de las patologías que se crean en los diferentes materiales y superficies de construcción, una de las consecuencias que se pueden considerar en los elementos donde se desarrolla la corrosión es la pérdida de sus propiedades mecánicas y fisicoquímicas y esto provoca una grana falla en el momento de construir .Esta particular forma de corrosión inducida por microorganismos las podemos observar en la mayoría de los casos en las superficies y materiales que se almacenen en la intemperie o en diferentes porcentajes de humedad.

2.1 Corrosión electroquímica

La corrosión electroquímica se genera por la relación de los metales y medio ambiente o, en este proceso lo que ocurre es un cambio de electrones desde un material de valencia cero aun material externo que funcione como un aceptor de electrones, por lo tanto, ocurre una gran liberación de iones metálicos en el entorno y se observa el deterioro de la superficie por lo general los metales. En este sistema ocurre la oxidación anódica y la reducción catódica como un conjunto de reacciones que se presentan y se desarrollan en la superficie metálica o muy cerca de las mismas.

Cuando se tienen sistemas aireados las acciones catódicas indican reducción de oxígeno, cuando se trata de reacciones anoxicas podemos analizar un desprendimiento de hidrogeno. El tiempo es un factor importante en el tema de la corrosión en este caso las velocidades de la acción anódica se reducen gradualmente ya que los factores que general la oxidación se pegan a la superficie generando una capa que protege y proporciona una barrera cuya función principal es la difusión de los reactivos. (Haya, IB y Sunner, J. 2004)

La química y morfología en los metales juegan un papel importante ya que de ellas depende la estabilidad de los metales y se conoce la susceptibilidad de estos metales a la corrosión. En la biopelículas se forman actividades microbianas muy importantes sobre la superficie metálica que pueden tener consecuencias en la cinética de la parte catódica y anódicas, esta biopelículas tiene la capacidad de cambiar la química de una gran variedad de capas protectoras, acción que lleva a una corrosión de forma rápida y descontrolada en los metales (Haya, IB y Sunner, J. 2004)

2.2 Corrosión generalizada

Los materiales de construcción como los metales y sus aleaciones son donde más se evidencia la corrosión uniforme que afecta los materiales de manera directa provocando desgaste y acabamiento, generalmente donde la temperatura se encuentra elevada, pero como se da el debilitamiento de estas superficies se dice que el principal síntoma de debilitamiento de los metales es la oxidación.

2.3 Corrosión galvánica

Este tipo de corrosión no la observamos en entornos comunes se suele presentar cuando los elementos o especialmente dos metales diferentes se encuentran conectados entre sí eléctricamente en este proceso se desarrolla lo que se conoce como potencial eléctrico, algunos estudios e investigaciones hacen referencia que el elemento que tenga menor su potencial eléctrico es el material que más rápido se verá afectado por la corrosión.

2.4 Picaduras generadas por microorganismos

Las picaduras en los materiales es uno de los diferentes ataques que proporcionado por los microorganismos y se evidencia en una zona puntual del material o superficie. Las picaduras que genera esta corrosión en los materiales son de profundidades considerables, algunos analicen han hecho relevancia que este tipo de corrosión en la mayoría de casos donde no se elaboran planes de mitigación estas picaduras por lo general penetran el espesor de los diferentes materiales.

2.5 Ataque corrosivo por cavitación

En el momento de construir se deben de evitar cavidades que muchas veces se generan entre un material y otro elemento, en especial si uno de ellos es un metal ya que se genera una diferencia de oxígeno entre los mismos, este fenómeno puede generar el desarrollo corrosivo por cavitación, considerando el almacenamiento de partículas de suciedad en el medio que ayudan a potencializar el proceso de daño. Según arenas salcedo (2013):

La corrosión por cavitación se produce en cualquier metal y bajo cualquier circunstancia, las cavidades formadas son por lo general suficientemente largas contener el líquido, pero no lo suficiente para que este fluya (3,18 mm). Los materiales que ocasionan las cavitaciones no son siempre metálicos; este mecanismo puede ser activado por la madera, plástico, caucho, vidrios, concreto, asbesto y resinas, además de microorganismos los cuales han sido reportados como causantes de corrosión por cavitación. (p.8)

Este es un tipo de corrosión que se puede prevenir teniendo algunas consideraciones en el momento de crear el diseño este debe evitar espacios reducidos, donde se puedan depositar partículas que generen suciedad, se debe de dar un adecuado uso a la soldadura, evitar las cavidades o formación las juntas ya que en estos espacios pueden ser propicios para el almacenamiento de microorganismos.

2.6 Biocorrosión en los materiales por acción de la erosión

Cuando se habla de la biocorrosión, no se consideran que las fuerzas mecánicas que se producen en una erosión tengan alguna relación con los microorganismos que afectan los materiales. Según arenas salcedo (2013):

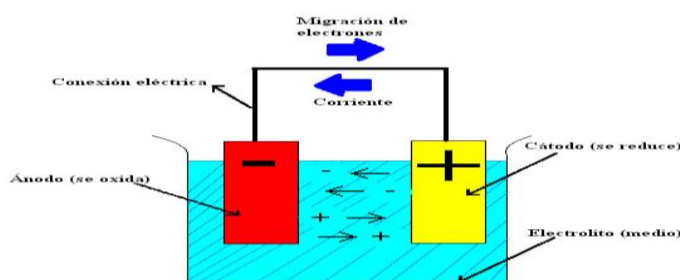
El termino erosión se refiere al deterioro de un material debido a fuerzas mecánicas. Cuando los agentes causantes de la erosión contribuyen al aumento de la velocidad de corrosión se dice que el material presenta corrosión por erosión. Este mecanismo de corrosiones causado por el flujo de un líquido o de un gas que se puede volver más severo si el fluido en contacto con el componente mecánico corrosivo. Este mecanismo se ve afectado por la velocidad de flujo, turbulencia, presencia de partículas sólidas suspendidas y la temperatura entre otras. Es importante recordar que este mecanismo de corrosión remueve la película protectora de las superficies metálicas mediante fuerzas mecánicas, por lo cual queda expuesta la zona del metal sin película, acelerando el proceso de corrosión. (p.9)

Es decir que algunas fuerzas mecánicas pueden debilitar los materiales donde los microorganismos tienen más facilidad en penetrar estos elementos generando un daño acelerado dentro del material o superficie.

Para poder analizar de una manera más grafica la corrosión tomaremos en cuenta la ilustración *1. Sistema de corrosión con ánodo, cátodo y electrolito*, en la cual podemos identificar los sistemas en los cuales se origina la corrosión inducida microbiológicamente, en la imagen se puede apreciar que el proceso de corrosión se origina debido a la migración de desplazamientos de los materiales y estos desplazamientos están directamente relacionado con el porcentaje de humedad. Por lo tanto,

analizaremos los compuestos de una pila o celda donde se está presentando la corrosión electroquímica donde se le da solución a los sistemas de oxidación que se fundamenta en la liberación de electrones y en la captación de electrones, la oxidación y disolución se originan por medio del ánodo y la región anódica donde a la vez tiene lugar el proceso de oxidación sobre la región catódica. La corriente que se mueve en el sistema es una deriva de la velocidad de flujo de electrones, también es dependiente de la resistencia del circuito.

Figura 1. Sistema de corrosión electroquímica con ánodo, cátodo y electrolito



Fuente: <https://mantenancela.blogspot.com/2011/09/corrosion-y-su-control-parte-i.html>

3. BIODETERIORO

Considerando algunas investigaciones relacionadas con el biodeterioro podemos relacionarlo con el cambio que se genera en la estructura de los materiales y superficies a causa de la vida que se puede generar de los diferentes microorganismos entre ellos podemos encontrar los hongos filamentosos que son los microorganismos que más actúan en el proceso de deterioro por su biología.

El deterioro se puede producir por acción de los cambios de temperatura por acción de sol, estos cambios de temperatura se relacionan de manera instantánea en los cambios en la saturación en el vapor del agua los cuales son los tiempos donde se observa húmeda y los tiempos donde se analiza el secado de la roca o ciclos.

Figura 2. Desarrollo de los microorganismos en acero



Fuente: (identificación de corrosión microbilógicamente inducida en ductos de conducción de hidrocarburos <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/17175/25-1-16607.pdf?sequence=1&isAllowed=y>).

4. SISTEMA DE DETERIORO Y CORROSIÓN POR MICRORGANISMOS

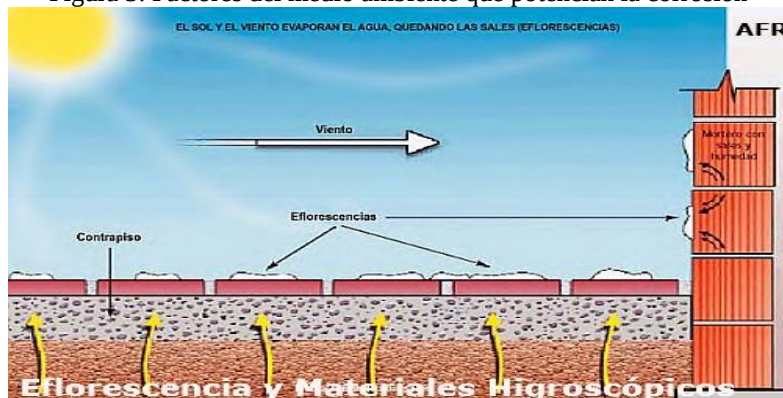
El medio ambiente está compuesto por factores naturales, entre ellos miles de seres vivos como diferentes microorganismos que para sobre vivir desarrollan un metabolismo que afecta diferentes elementos que son implementados para las actividades de construcción y desarrollo lo que pone a las personas en una tare difícil y es buscar la forma de controla y tatar estos diferentes agentes que afectan las propiedades de muchos elementos.

Hay una gran variedad de agentes micro orgánicos que afectan los materiales de construcción sim embargo los más estudiados son las algas, los hongos y bacterias, a estos microorganismos son los que se relacionan directamente con la corrosión inducida, existen agentes que no han sido clasificados con certeza lo que nos permite considerar que hay muchos agentes en el medio ambiente esperando por ser investigados y catalogados en los diferentes grupos lo que atrasa la implementación de soluciones y planes que eviten los impactos negativos que estos desempeñan en las construcciones.

Todo el material implementado en la construcción tiene el riesgo de ser afectados por los agentes vivos, unos materiales tienen más resistencia que otro por lo tanto hacen el proceso de formación de biopelículas y penetración de los agentes un poco más lenta, algunos materiales son afectados por una particular especie de microorganismos y es inmune a otras especies dependiendo de factores como su permeabilidad, resistencia y composición química su entorno.

5. FACTORES AMBIENTALES QUE ACELERAN LA CORROSIÓN GENERADA POR MICRORGANISMOS

Figura 3. Factores del medio ambiente que potencian la corrosión



Fuente: <https://blogsaverroes.juntadeandalucia.es/conectandoima/2020/01/31/corrosion-y-oxidacion/>

Los factores ambientales que se relacionan con los sistemas de biocorrosión y biodeterioro son la nieve, lluvia y el viento estas condiciones naturales afectan de manera negativa las construcciones. Otro factor que tiene una gran relación con la corrosión es la humedad y los cambios de temperatura y luz solar, estos aspectos se relacionan con los agentes y su formación, ya que para algunos microorganismos es más acta la humedad para su desarrollo y se debilitan en altas temperaturas o viceversa por ende se deben de estudiar los factores ambientales para determinar el tipo de agente presente y sus posibles planes de control.

El deterioro físico es tan común en todos los materiales que en la actualidad se desconoce un material que sea totalmente inerte a las reacciones bioquímicas y químicas que lo lleven a que se genere el deterioro en su composición física.

Por otro lado, las temáticas expuestas se centran en la forma de mitigar los aspectos negativos de la corrosión, mas no se considera una medida estándar para implementarla de forma definitiva en estos procedimientos.

5.1 Humedad en el proceso de corrosión

La humedad Como factor principal se deposita sobre los diferentes materiales y superficies que se encuentren en la intemperie, y se puede penetrar en los elementos o superficies generando condiciones actas para la generación de agentes que atacan de adentro hacia afuera la estructura de los materiales.

Dentro del proceso de biocorrosión, la humedad es un factor determinate ya que puede potencializar en el biodeterioro en diferentes superficies. Para Ayón et al. (2005):

La humedad relativa es uno de los aspectos más importantes porque el vapor de agua existente en la atmósfera, al condensarse sobre la superficie de las estructuras metálicas, se convierte en el medio conductor necesario para que se produzca la corrosión electroquímica. No es necesario que exista saturación de la atmósfera, con valores entre el 50-60% de humedad, el vapor puede condensase por absorción, condensación capilar y/o deliquesencia. La temperatura puede provocar efectos que parecen contradictorios, pero que están directamente relacionados con los valores de humedad. Cuando la atmósfera es húmeda, sobre todo cercanas a la saturación, un aumento de su temperatura suele aumentar la velocidad de corrosión. (p. 4)

Debemos de considera que la temperatura ambiente se reduce y es normalmente baja en horarios de la madrugada, y que la corrosión es más fuerte en las zonas donde se presenta condensación en los diferentes materiales y superficies y es mucho más débil o menos acelerada en los horarios donde la temperatura es mayor y la húmeda se reduce.

Una de las maneras de prevenir la permeabilidad de la humedad en nuestras superficies es el tipo de recubrimiento que implementemos y su espesor.

Es difícil formular recubrimientos de superficies orgánicas que sean completamente impermeables a la humedad. Las películas más delgadas de un recubrimiento permiten el paso de más humedad que las películas más gruesas. Las partes de la película de menor espesor o las roturas producidas mecánicamente tienden a convertirse en ánodos en los cuales empieza la oxidación. El óxido de hierro ocupa mucho más volumen que el metal puro a partir del cual se forma, y se expansiona aún más cuando absorbe agua. La atracción de agua es tan grande que la aspira a través de una película de pintura, de manera que cuando hay óxido en el sustrato la transmisión de humedad es mayor que la que pasa debido a la permeabilidad normal de la película. Las zonas de óxido se extienden gradualmente y se hinchan bajo la capa de pintura hasta que esta se rompe. (Ayón et al., 2005, p. 5)

Por lo tanto, la impermeabilidad de los materiales, superficies y recubrimientos nos brindan una gran ventaja para reducir la velocidad de corrosión bajo las acciones de la humedad.

5.2 Temperatura y su relación con el deterioro

La temperatura cumple una labor significativa en el proceso de inicialización de la corrosión en los materiales, se consideran que para algunos microorganismos y en algunas superficies el aumento de temperatura ayudar a acelerar el proceso de corrosión aun que se debe considerar que para algunos materiales y microorganismos el aumento de la temperatura ayuda a disminuir la aceleración de la corrosión ya que algunos seres se fortalecen mucho más con la acción de la humedad. Otro factor

importante es identificar si hay presencia de partículas de oxígeno en el sistema o entorno ya que los microorganismos como las bacterias se pueden identificar como anaeróbicas y aeróbicas.

5.2.1 Cambios en la temperatura como factor de deterioro

La temperatura y sus variaciones en el ambiente permiten que los materiales y algunas superficies pierdan aceleradamente sus propiedades como su color, textura, rugosidad, peso, y sus propiedades mecánicas como la resistencia, la capacidad portante, su rigidez y demás propiedades que se debilitan dejando obsoleto el material debilitando la construcción. Una vez los microorganismos tomen el control de los materiales se van esparciendo por toda la obra debilitándola y generando una gran amenaza para su estabilidad, por lo tanto, se deben de realizar controles periódicos para mitigar y controlar estas acciones corrosivas.

5.3 El viento como generador de corrosión

Dentro de los elementos del medio ambiente que más potencia la corrosión inducida se encuentra el viento, por este medio circulan partículas de suciedad y químicos que aceleran la corrosión y ayudan a la generación o creación de Biopelículas y a la reproducción de gran variabilidad de microorganismos que atacan la superficie o material donde se almacenen o se den estas condiciones

5.4 Nutrientes que aceleran la reproducción de agentes

La presencia de nutrientes o las condiciones óptimas son fundamentales para la formación de diferentes especies que en su etapa de formación crean una película debido al almacenamiento de partículas orgánicas, residuos orgánicos y demás suciedad que circula en el aire transformando la superficie de nuestros materiales en un entorno apto para su metabolismo.

5.5 Factores que se relacionan con la aceleración de la corrosión inducida por seres vivos

- La acidez de la superficie influye en el tipo de microorganismo a reproducirse y muchas veces la acidez ayuda a que no se presente la biocorrosión
- Sales disueltas en la superficie.
- Capas protectoras o recubrimientos.
- Mantenimiento químico de la superficie
- Presencia de oxígeno o no en la superficie
- Material orgánico en la superficie
- Presencia de nitrógeno en la materia

6. SUPERFICIES Y MATERIALES AFECTADOS POR LOS MICRORGANISMOS

Se considera que la mayoría de elementos o materiales pueden verse afectados por los diferentes agentes corrosivos si no se les aplica las medidas de prevención necesarias para evitar estos ataques corrosivos, al igual que tener presente las condiciones ambientales para su almacenamiento y funcionalidad. En el siguiente documento se hablará de los materiales más comunes y más implementados en la construcción y los ataques que pueden recibir por parte de agentes de su entorno.

6.1 El Concreto bajo el ataque de microorganismos

En desarrollo de la construcción a nivel mundial el concreto ha sido el material más implementado en cada una de las obras y su implementación en todo el mundo es cada vez mayor, su preparación o tono puede variar dependiendo el uso que se le vaya a aplicar la resistencia que se desee obtener o simplemente el gusto de la persona, a este se le pueden aplicar muchos aditivos que cumplen una función adicional ya sea mejorar o darle más manejabilidad, o ya sea darse fraguado más rápido, darle mayor resistencia, fuerza de compresión, mayor permeabilidad y muchas más propiedades mecánicas con el fin de mejorar su comportamiento y resultado bajo el uso o funcionamiento. (Rivera Serna, 2015)

El concreto es una mezcla de materiales en el cual el cemento es uno de los principales elementos que lo componen, así como lo es el agua, la arena y otros aditivos que se le pueden aplicar para mejorar sus propiedades físicoquímicas y propiedades mecánicas, pero a pesar del gran beneficio que nos brinda en la industria de la construcción acarrea una gran problemática ambiental ya que produce una gran cantidad de CO₂ que son liberados a la atmósfera, se han realizado muchos

estudios para combatir esta problemática ambiental y la opción más ocurrentes es la de aumentar la durabilidad del concreto para así reducir su producción y a la vez la producción de CO₂.

Los microorganismos y su actividad en el concreto con un poco de apoyo o en combinación con factores climáticos puede ser un impacto significativo en la resistencia, durabilidad, y estabilidad de este elemento. En la literatura se puede observar una gran variabilidad de estudios que hablan de diferentes organismos que provocan el biodeterioro en el concreto, así como las algas, hongos, líquenes, bacterias entre otros. Los impactos en los materiales en este caso en el concreto pueden darse de diferentes maneras dependiendo el agente que este adherido en la superficie, por lo tanto para considerar una medida de prevención se deben considerar otras variables o un análisis del agente en particular que esté presente en la estructura para así diagnosticar como podemos manejarlo.

Las estructuras que más son afectadas por la corrosión inducida por microorganismos son las redes de saneamiento y sistemas de distribución de agua potable. Según Rivera Serna (2015):

Se consideran un gran gasto económico en la implementación y realización de obras para brindarle los servicios básicos a las diferentes poblaciones, las cuales se deben de someter a periódicos mantenimientos y costos de operación actividades que hacen que los costos se eleven, aun así, son de vital importancia estas medidas ya se trata del servicio básico de la población y de estos depende la calidad de vida de muchas personas, en dado caso de que se presente una falla se presentan problemas de salubridad. En general todas estas estructuras que transporten algún tipo de desecho, fluido, lixiviados o que estén sumergidas en el mar son más afectadas por el ataque de diferentes microorganismos debido a la naturaleza de lo que transportan o de su entorno. Hablando de las estructuras de concreto

se ha analizado que son demasiado propensas al ataque de los microorganismos con una desventaja notable ya que su desgaste promueve y fortalece la corrosión. (pp. 6-7)

Por lo tanto, se considera de vital importancia la implementación de medidas que eviten este desgaste en el concreto y la penetración de microorganismos. Dentro de esas medidas se podría implementar una barrera o capa protectora por algún compuesto que evite el contacto directo con los microorganismos.

6.1.1 *El concreto bajo el deterioro por acción de los microorganismos*

El concreto es un compuesto al cual le podemos mejorar o variar su composición para obtener versiones más resistentes. Según Rivera Serna, (2015):

Su composición puede variar significativamente, ya que según el uso que se le quiera dar y la calidad que se quiera obtener, se le adicionan diferentes tipos y concentraciones de aditivos como cenizas volantes, escorias de horno alto y humo de sílice, en busca de mejorar diferentes propiedades mecánicas como la fuerza de compresión, la permeabilidad. (p.6).

Es decir que al momento de crear un concreto se debe de tener presente la resistencia que necesitamos dependiendo el uso y el entorno donde vallamos a implementarlo para luego saber elegir la dosificación que nos cumpla lo los requerimientos.

6.1.2 Ácido sulfúrico en el concreto

Es el compuesto que más afectan las materias de construcción en especial el concreto y genera grandes consecuencias en poco tiempo. Según Rivera serna (2015):

Una de las corrosiones que más daño hacen en el sistema de alcantarillado es la que genera el ácido sulfúrico ya que son muy agresivos y son de origen biogenico convirtiéndose en una de las formas de biocorrosión más duras de combatir esto se debe a la difícil ecología de microorganismos que se desarrollan en estos ambientes. Se dice que la corrosión inducida por microorganismo en el concreto puede ser analizada de diferentes etapas ya que se considera que muchos microorganismos podrían afectar las estructuras de este compuesto. (p.7)

Por lo tanto, se sugiere mejor la estructura del concreto por medio de su dosificación para lograr una mejor resistencia ante los ácidos, además realizar una capa protectora que le permita mejorar su capacidad de oponerse a la corrosión.

6.1.3 Acciones del sulfuro de hidrogeno en el concreto

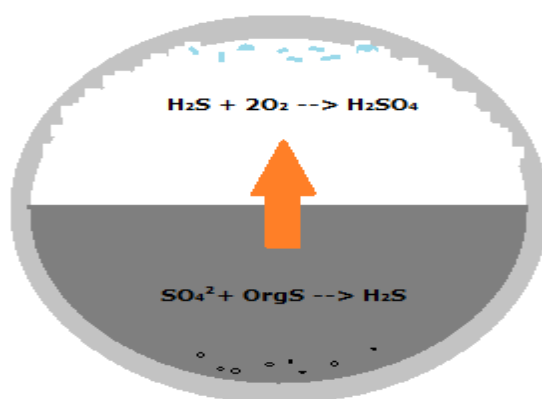
Algunos compuestos como el sulfuro de hidrogeno se desarrolla en ambientes sin presencia del oxígeno y en superficies donde se presentes residuos orgánicos. “El ciclo del azufre que se desarrolla en los sistemas de alcantarillado, inicia con la transformación del sulfato, común en este tipo ambientes, a sulfuro de hidrogeno H_2S ” (Monteny et al., 2000) citado por (Rivera serna, 2015, p.8).

Las bacterias sulfato reductoras se desarrollan en entornos severos sin presencia del oxígeno como lo pudimos ver anteriormente, pero se reproducen en presencia de diferentes compuestos.

Este proceso se da en anaerobiosis, propiciada por la casi inexistente cantidad de oxígeno disuelto en el agua, y por la aparición y acumulación de capas de lodo, consecuencia de la disminución en la velocidad de flujo. Estas condiciones permiten que bacterias sulfato reductoras (SRB) como *Desulfovibrio* spp, transformen el sulfato en H_2S , mientras ocurre simultáneamente la oxidación de compuestos orgánicos o de H_2 (Mohan SV et al., 2005) citado por (Rivera Serna, 2015, p.8).

Este proceso se origina con una mayor aceleración en los sistemas de saneamiento como alcantarillados, así como en los sistemas de agua potable como redes de acueducto, donde las tuberías son en concreto generalmente.

Imagen 4. Generación de sulfuro de hidrogeno en entornos corrosivos.



Fuente: Rivera Serna, 2015

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/18286/u722021.pdf?sequence=1>

La velocidad que tienen algunos compuestos para desarrollarse, así como el ácido sulfúrico depende mucho del entorno o superficie donde se encuentre y que tipo de materia orgánica se presenta en el proceso, así como la acción de la temperatura.

La velocidad de producción del sulfuro de hidrógeno se ve afectada por ciertas variables como la temperatura y el tipo de materia orgánica que circule por el sistema. Por ejemplo, se ha encontrado que la presencia de algunos compuestos como etanol, glucosa y lactato, estimulan la generación de H_2S (Nielsen & Jacobsen., 1998) citado por (Rivera, 2015, P.8).

La temperatura tiene una gran relación con la generación de bacterias anaeróbicas dentro del proceso de corrosión. “El aumento de la temperatura, por otro lado, afecta la rapidez con la que se disuelve el oxígeno en el sistema de alcantarillado, acelerando la aparición de las condiciones de anaerobiosis, requeridas para la acción de las bacterias sulfato reductoras” (Nielsen et al., 2006) citado por (Rivera, 2015, p. 8). La generación de ácido sulfúrico y presencia de bacterias anaeróbicas se presenta en una mayor cantidad en entornos extremos sin presencia de oxígeno donde existe materia orgánica y presencia de residuos.

Tabla 1. Comportamiento de los microorganismos sobre los materiales de construcción.

Actividad	Efecto (s)	Material	Microorganismo
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	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
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: De Turris et al. 2013, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4752971>

En la tabla anterior se elabora una explicación de los materiales pueden ser afectados por las acciones y consecuencias de la Biocorrosión y Biodeterioro, así como los microorganismos que pueden producirse en estas superficies o materiales.

6.2 Ataque de microorganismos al Acero de refuerzo

La corrosión microbiana es uno de los aspectos que más problemáticas causa en la industria de la construcción.

La corrosión puede iniciarse debido a la entrada de cloruro en el hormigón o debido a la despasivación de la fina película protectora de óxido del refuerzo de acero (proporcionada por el entorno del hormigón altamente alcalino) a través de la acción del dióxido de carbono de la atmósfera. La corrosión deteriora no solo la apariencia de la estructura, sino

también su resistencia y seguridad, con la subsiguiente reducción en el área de la sección transversal del refuerzo y con la disminución de la adherencia con el hormigón circundante (Demis S et al., 2010) (Batis G & Rakanta, 2005) citado por (Apostolopoulos et al., 2013, p. 3).

Es decir, una vez el hormigón se debilita los microorganismos alcanzan el acero de refuerzo lo que se convierte en una amenaza severa para la construcción.

Uno de los entornos más agresivos con las estructuras de hormigón y donde más rápido se genera el deterioro. “En las regiones costeras (o ambientes marinos) donde se encuentran altas concentraciones de cloruro, la corrosión inducida por cloruro es la principal fuente de deterioro ambiental de las estructuras de hormigón armado” (Angst U et al., 2009)(Ozbolt J et al ., 2010) citado por (Apostolopoulos et al., 2013, p.3).

Por esta razón una de las medidas de controlar la biocorrosión en el concreto y el acero de refuerzo es bajo la implementación de películas protectoras o recubrimientos altamente resistentes para frenar el ataque de los microorganismos.

En algunos entornos la corrosión por microorganismos no presenta señales de que se está presentado en los materiales especialmente algunos microorganismos, muchas veces se percata del daño cuando ya el material está demasiado afectado en su interior deben de realizar los procesos de control de una forma periódica y constante para evitar el avance de diferentes microorganismos.

Además, sale suceder que en el concreto se presentan cavidades o desarrollo de grietas que afectan la estructura permitiendo la penetración de los microorganismos de una manera más acelerada.

Por lo tanto, la manera de prevenir la exposición del acero de refuerzo al entorno agresivo es por medio del recubrimiento de alta cálda y espesor ya que el acero de refuerzo nos brinda la estabilidad y seguridad en las construcciones.

6.3 Ataques en la madera

La madera es unos de los materiales más importantes en la arquitectura e ingeniería para procesos constructivos por su fácil manejabilidad, resistencia y durabilidad, esta se implementa para objetos pequeños como para elementos de mayor proporción dentro de la construcción. Las propiedades físicas y mecánicas de la madera pueden variar considerablemente ya que hay muchos géneros de árboles maderables, alguno tiene una gran resistencia y densidad y otros son totalmente permeables y con una densidad menor que permite la accesibilidad de manera fácil.

Para implementar la madera en obras de construcción se debe de tener en cuenta la función o la tarea que van a realizar estos elementos para así mismo considerar el tipo de madera a usar como su espesor o resistencia. Al igual se debe considerar el entorno donde se desea implementar ya que está expuesta a los ataques de microorganismos y los cambios de temperatura, humedad, y demás factores climáticos.

6.3.1 *madera afectada por bacterias*

La madera es uno delos materias más atacados por los diferentes seres vivos como insectos y microorganismos entre ellos las bacterias.

Son los primeros microorganismos que colonizan la madera expuesta en ambientes húmedos, han sido encontrados en maderas sumergidas en agua salada y dulce y en contacto con el suelo. El efecto de las bacterias sobre la madera es variado, se ha detectado un aumento en la permeabilidad, como resultado de la degradación de las membranas de las puntea duras, también se ha reconocido la capacidad enzimática para degradar la pared celular; algunas poseen la facultad de atacar maderas que han sido tratadas químicamente con preservantes. En general, se considera que el efecto del ataque de las bacterias sobre la madera es mucho menor que el de los hongos, sin embargo, un ataque bacteria condiciona la madera para la sucesión microbial (Mora y Encinas, 2006) citado por (Berrocal 2012, p.6).

Por lo tanto, se debe de evitar el almacenamiento de las maderas en sitios húmedos o en contacto con el suelo, así como crear construcciones en madera expuestas a la intemperie ya que algunos microorganismos superan los procesos de curado de las mismas y se convierten en una amenaza para la estabilidad y resistencia de estos materiales.

6.3.2 *La madera bajo el ataque de los hongos*

Los hongos entre ellos los mohos hacen parte de la variabilidad de microorganismos que causan en biodeterioro en los diferentes materiales especialmente en la madera cuando está expuesta a las condiciones ambientales. Según Berrocal (2012):

Son los típicos hongos de humedad, no influyen en las propiedades de resistencia mecánica de la madera, solamente se desarrollan en su superficie y no en el interior; producen proliferaciones algodonosas de micelio de diversas tonalidades. Los mohos crean condiciones para el desarrollo de los hongos pudridores, debido a que les otorgan

humedad. Se desarrollan en los depósitos y patios de madera aserrada, cuando el material no se apila correctamente y se impide de esta forma un secado rápido. Pueden ser eliminados fácilmente por medios mecánicos. (p.7)

Dentro de las formas mecánicas podemos considerar la limpieza de la madera con herramientas de trabajo material, una vez se realice la limpieza se debe almacenar en entornos más seguros para evitar la reproducción de los diferentes hongos.

6.3.3 Ataque en la madera por hongos cromógenos

Esta especie de hongos tiene una característica muy particular en los elementos de madera que es el cambio de color a medida que va creciendo el ataque a la superficie.

Son todos los hongos capaces de producir cambios de coloración en los tejidos de la madera, los cuales se alimentan de los azúcares que se encuentran en el tejido parenquimatoso, los desechos metabólicos que se dan en el momento del ataque son coloreados y producen esa pigmentación azulada-negrizca característica, el crecimiento de estos hongos en la madera es muy rápido, de hasta 1 cm en el espesor en 24 horas. El ataque se da en el periodo entre la corta y el almacenamiento de las trozas; bajo condiciones óptimas para el hongo de temperatura (24 y 35 °C) y humedad (> 30%), las maderas de colores claros tienden a mancharse más fácilmente que las maderas oscuras, lo mismo que las maderas menos densas. En algunos casos, los hongos causantes del manchado se asocian con insectos capaces de transportar las esporas a diferentes sitios, propagando la infección (Berrocal, 2012, p.7).

Esto indica que los hongos cromógenos se desarrollan a una ciertas temperaturas y condiciones de húmeda y sus características como tamaño y espesor pueden cambiar en poco tiempo ya que es una cualidad de los mismos, así como las reacciones que generan en la madera.

6.3.4 Hongos de pudrición en la madera

Muchas veces la acción de la biocorrosión no se percata en los elementos de madera sino cuando los forzamos a soportar algún peso o los utilizábamos para alguna tarea específica o calculamos sopeso e ignoramos lo que ocurre en su interior.

Penetran la madera mediante hifas y permanecen ocultos en ella, lo que hace muy difícil reconocerla hasta que ya sea tarde, cuando ya se han dado cambios de color o manifestaciones miceliares. En estados avanzados la madera pierde peso, se estima que una pérdida de peso del 4% representa una disminución en la resistencia físico-mecánica de un 28%. La remoción de los cuerpos fructíferos no detiene la degradación de la madera (Berrocal, 2012, p.7).

Por lo tanto, las medidas de prevención en la madera y los controles se deben de implementar periódicamente para prevenir este tipo de ataques por parte de estos agentes micro orgánicos.

6.3.5 Métodos de curado en la madera

Figura 5. Curado con brocha



Fuente :(<https://es.wikihow.com/impermeabilizar-madera>)

Para proteger la madera del ataque de los microorganismos e insectos se realiza un proceso de curado antes de implementarla en cualquier construcción, especialmente si va estar en contacto con algunas superficies como el suelo, el agua, y a variaciones constantes de temperatura y humedad ya que en estos casos los ataques de microorganismos se reflejan con mayor intensidad debido a su entorno, para prevenir estas afectaciones se implementan un conjunto de sustancias químicas conocidas como preservantes que están compuestos por algunos componentes como fungicidas e insecticidas ,el objetivo principal de los preservantes es sellar o curar la madera para evitar el ataque temprano de diferentes agentes.

Estos elementos, maderables se pueden curar con brocha o por inmersión aplicando diferentes preservantes ya sean pinturas, lacas, aceites todos tiene la finalidad de fortalecer la madera ante el ataque de los microorganismos y evitar la permeabilidad y pudrición a edad temprana de uso.

7. TRATAMIENTOS PREVENTIVOS Y DE CONTROL DE LOS MICRORGANISMOS

En la ingeniería civil se es consciente que la corrosión es un proceso altamente destructivo, y que genera grandes pérdidas económicas, la definición por la cual se le conoce a la corrosión es como un ataque a un material o superficie por el medio que lo rodea y se presenta una reducción de su masa y deterioro de sus propiedades

Cuando se consideran medidas para prevenir el ataque de los microorganismos especialmente las bacterias es fundamental considerar que existen bacterias anaeróbicas es decir que se reproducen en entornos extremos sin presencia de oxígeno y su reproducción es rápida cuando hay residuos o materia orgánica. Por otro lado, existen las bacterias aeróbicas que se desarrollan en entornos más comunes en superficies al aire libre o en entornos donde hace presencia el oxígeno

7.1 Eliminación de microorganismos por medio de la limpieza

Los procesos corrosivos en los diferentes materiales los constituyen diferentes microorganismos, entre ellos algunos que se originan en la parte exterior de los materiales o superficies y es en estos casos donde se pueden aplicar diferentes formas de limpieza.

7.1.1 Aplicación de la limpieza mecánica de las superficies

Algunos microorganismos se pueden eliminar de manera mecánica como algunos hongos algas ya que son visibles y se reproducen en la parte exterior de los materiales o superficies.

La limpieza mecánica se puede utilizar para eliminar los depósitos formados como resultado de la biocorrosión y, si se aplica correctamente, son eficaces para eliminar la mayoría de los depósitos biológicos, así como óxidos de la superficie del metal. Varios

métodos de limpieza se pueden aplicar como el uso de esferas de goma para intercambiadores de calor, raspadores mecánicos en tuberías de producción o líneas de inyección y chorreado con arena, gravilla o agua. La limpieza mecánica también puede implicar el uso de cepillos, paños, lijas o cinceles. (Héctor y Videla, 2002, p.3)

Es decir, en el momento de eliminar los microorganismos de los materiales la limpieza mecánica es el primer método que debemos implementar para deshacernos de los de los seres vivos que se pueden observar a simple vista y de los diferentes compuestos como residuos orgánicos y demás.

7.1.2 Limpieza química para el control de microorganismo

Algunas suciedades y microorganismo no se remueven o se eliminan con el proceso de la limpieza mecánica, por lo tanto, se tiene que implementar la limpieza química para remover los agentes vivos y suciedades de la superficie

La limpieza química de los sistemas debe ir precedida de una limpieza mecánica con raspadores, cepillos o bolas. Después de eso, los tratamientos de limpieza química con polímeros sintéticos podrían ser un método de control eficaz para dispersar los depósitos de incrustaciones. Los poliacrilatos, polimaleatos y copolímeros de poliacrilamidas parcialmente hidrolizadas se usan comúnmente como dispersantes químicos y su efectividad está relacionada con sus pesos moleculares. Ocasionalmente se utilizan dispersantes naturales como taninos y carboximetilcelulosa. Sin embargo, estas sustancias requieren concentraciones más altas para lograr una buena dispersión de depósitos de incrustaciones y puede contribuir a la formación de espuma. Además, los

polímeros naturales se degradan más fácilmente por contaminantes microbianos que los polímeros sintéticos (Héctor y Videla, 2002, p.3).

Es decir, la limpieza química y mecánica se complementa entre sí para obtener un mejor resultado en la eliminación de microorganismos en las superficies donde se desarrollen películas y generación de microorganismo.

7.2 Biocidas como mecanismos de control de la biocorrosión

Dentro de los controles para tratar los microorganismos un método que se implementa normalmente es la aplicación de Biocidas.

Un ejemplo del tratamiento químico aplicado para prevenir y controlar la corrosión microbiológica es el uso de biocidas. Los biocidas son compuestos individuales o una mezcla de compuestos capaces de matar microorganismos o inhibir el crecimiento microbiano. Los compuestos biocidas pueden ser inorgánicos, tales como cloro, ozono, bromo, etc., orgánicos, incluidos isotiazolonas, compuestos de amonio cuaternario, aldehídos, es decir, glutaraldehído y acroleína, etc. (Héctor y Videla, 2002, p.3-4)

Una de las características que se tiene en cuenta en el momento de elegir un Biocida es que elimine cualquier tipo de microorganismo por lo tanto se debe de implementar los que estén compuestos por fungicidas para controlar los insectos y microorganismos y alguicidas para el control de algas y hongos.

7.2.1 Efectividad de los Biocidas ante el control de microorganismos

En el momento de implementar los biocidas debemos de tener en cuenta el tipo de microorganismos que deseamos controlar y conocer la dosis adecuada para ellos se deben realizar pruebas en el sistema o laboratorio.

7.2.2 Biocidas oxidantes para el tratamiento de microorganismos

En los Biocidas oxidantes se encuentra una gran variedad de compuestos que brindan una gran solución el proceso de eliminación de los microorganismos.

Son agentes capaces de oxidar la materia orgánica, por ejemplo, el material de la célula, enzimas o proteínas que se asocian a las poblaciones microbiológicas dando como resultado la muerte de los microorganismos. Las ventajas de los biocidas oxidantes son: que pueden ser analizados fácilmente en la propia instalación; su coste y que son fáciles de neutralizar para la supervisión microbiológica, así como en las aguas de vertido. Sus principales desventajas son que pueden ser corrosivos y, particularmente en el caso de los derivados del cloro y del bromo, su actividad biocida depende del pH y tienen poca penetración en el biofilm. Un caso aparte es el dióxido de cloro que no cumple con estas propiedades descritas para los derivados del cloro: su actividad biocida no depende del pH, no es corrosivo y tiene poder de penetración en el biofilm. Su eficacia dependerá principalmente de la dosis utilizada, del tiempo de contacto, de la temperatura, de la concentración y tipo de contaminación microbiológica presente en el agua y del pH (Adroer ,2018, p.1).

Es decir, se deben de considerar los factores positivos y negativos en el momento de aplicar un biocida y tener presente el proceso de aplicación, al igual que las dosis implementadas para no obtener consecuencias.

7.2.3 *Biocidas no oxidantes para el control de microorganismos*

Una de las formas de asegurar una limpieza efectiva es implementar el tipo de biocida que mejor actué en contra de los microorganismos.

Los biocidas no oxidantes pueden ser más efectivos que los biocidas oxidantes debido a su control general de bacterias, algas y hongos. Además, este tipo de biocidas tienen una mayor persistencia, ya que muchos de ellos son independientes del pH. Frecuentemente. Se utiliza una combinación de biocidas oxidantes y biocidas no oxidantes

para optimizar el control microbiológico. (Héctor y Videla, 2002, p.5)

Por lo tanto, la implementación de una mezcla de los dos Biocidas nos genera beneficioso para el control del microorganismo de manera general.

7.2.3.1 *Glutaraldehído:*

Los Biocidas se componen de algunos componentes entre ellos el componente activo que le da esa efectividad en el momento de eliminar los microorganismos. “El glutaraldehído se utiliza como el ingrediente activo en una gran variedad de biocidas comerciales aplicados al control hongos, algas y bacterias incluidas las bacterias reductoras de sulfato en biopelículas bacterianas” (Héctor y Videla, 2002, p. 5).

Es decir que se puede implementar en muchos ambientes diferentes debido a su amigabilidad con diferentes temperaturas.

7.2.3.2 Quats:

Los quats es un biocidas que proporciona una gran prevención ante la presencia y generación bacteriana en los materiales, este compuesto actúa como detergente que actúa sobre los microorganismos y evita la formación de películas y generación de microorganismos en las superficies.

Los QUATS pueden contener una variedad de aditivos, incluidos hidróxido de potasio, alcohol, agua, etc. Tanto el alcohol como el agua se utilizan principalmente como diluyentes. Además, el alcohol tiene ciertas propiedades biocidas y una buena capacidad de penetración. (Héctor y Videla 2002, p. 6)

Por lo tanto, brinda importantes beneficios en el control de microorganismos y se identifica entre los Biocidas más implementados para eliminar y prevenir las bacterias y demás microorganismos.

7.3 Elección del producto y su aplicación

Para elegir de manera correcta un producto para realizar un control de microorganismos se debe de saber que genero de microorganismo nos afecta nuestra superficie, así como también las propiedades y características de nuestro material, al igual que la dosis y la manera de aplicación del preservante.

7.4 Protección catódica en la construcción

La protección catódica en las construcciones es un método para prevenir el ataque del microorganismo. Este sistema es independiente de la estructura, además se estima que los gastos no serían tan elevados. Ya que consiste en un sistema de corriente externa a la estructura para prevenir la penetración de diferentes microorganismos.

La protección catódica requiere de consideraciones económicas, al igual de un análisis de factibilidad ya que no es acto aplicar este sistema cualquier tipo de construcción.

7.5 Protección anódica

Esta particular forma de proteger las superficies consiste en crear una capa protectora sobre el material con una capa de óxido con el propósito de que no se corroa, algunos materiales tienen esta capacidad como lo es el aluminio que al entrar en relación con el aire tiene la capacidad de crear una capa protectora de óxido que actúa como una barrera ante la corrosión.

7.6 Inhibidores

Estos son componentes o sustancias químicas que nos brindan un beneficio en el momento de combatir la corrosión, ya que al ponerla en el medio corrosivo en una concentración moderada actúa de manera positiva reduciendo la aceleración del ataque de los microorganismos en la superficie metálica donde es aplicado.

7.7 Recubrimientos superficiales para prevenir la MIC

Los recubrimientos de la superficie es uno de los métodos más seguros para prevenir el ataque corrosivo en los materiales de construcción especialmente en ambientes severos.

El uso de recubrimientos como método de protección contra la corrosión inducida microbiológicamente está enfocado a la aplicación de productos no tóxicos a base de los siguientes compuestos: silicona, resinas epoxi y compuestos fluorado. En general, el recubrimiento es un buen método de protección siempre que sea continuo. Cualquier discontinuidad en el recubrimiento crea un sitio preferencial para que ocurra un ataque localizado. (Héctor y Videla, 2002, p.6)

Esto indica que el recubrimiento debe ser en la totalidad de la superficie. Si queda un área sin la capa protectora el ataque de los microorganismos se centrará en ese punto específico y el daño será mayor.

7.7.1 Recubrimientos orgánicos

Los recubrimientos orgánicos son los más implementados en muchas partes debido a su fácil accesibilidad, entre ellos tenemos las pinturas que cuentan con una resina tipo epoxica o epoxi, su función cuando es aplicada para cubrir las superficies es mejorar la resistencia ante la corrosión, se puede aplicar en diferentes superficies como el acero, metales, madera y demás. Las pinturas epoxicas están compuesta por dos elementos que actúan entre sí para formar una barrera totalmente resistente.

7.7.2 Recubrimientos metálicos en superficies expuestas a la biocorrosión

Dentro de los métodos más efectivos de proteger los metales, es a través de la pintura especial y por medio de algunas técnicas de pintado en polvo y pin que logran adherirse a la superficie formando una resistente capa protectora.

Figure 6. Recubrimiento industrial para prevenir la biocorrosion



Fuente : (en impulsora ctx somos especialistas en la aplicación de recubrimientos industriales)

7.8.3 barreras no metálicos contra la corrosión inducida por microorganismos

Estos compuestos pueden ser orgánicos y su principal objetivo crear un aislamiento sobre el metal. Dentro del grupo de esto elementos metálicos se encuentran, tintas de cementos, porcelanas silicatos, recubrimientos cerámicos o vítreos capaces de resistir la corrosión aislando los ataques de los microorganismos.

7.8.4 Barreras superficies metálicas en pro de la protección corrosiva

Las técnicas de prevención ante el ataque del microorganismo en los materiales de construcción, son fundamentales para mejorar la resistencia de las superficies. “La aplicación de recubrimientos anticorrosivos sobre superficies metálicas es una práctica ampliamente aceptada ya que estas barreras físicas dificultan la exposición de los metales a condiciones corrosivas” (ST vagge, vs Raja, Nayanan) citado por (Ubong Eduokÿ et al.2018, p.1). Este sistema ha permitido obtener excelentes resultados en la preservación los materiales de construcción.

7.8.5 Mitigación de la biocorrosión con recubrimientos de zinc

El zinc es una aleación de los metales especial para los recubrimientos ya que ayudan a fortalecer la resistencia de las superficies ante la penetración de los microorganismos, este procedimiento nos

ayuda evitar sistemas convencionales en el momento de proteger las superficies. Estos revestimientos proporcionan una mayor preservación de los materiales y los fortalece ante los ataques de diferentes microorganismos, duran un tiempo considerado dando mayor vida útil a los materiales.

7.8.6 Revestimiento galvanizado por inmersión

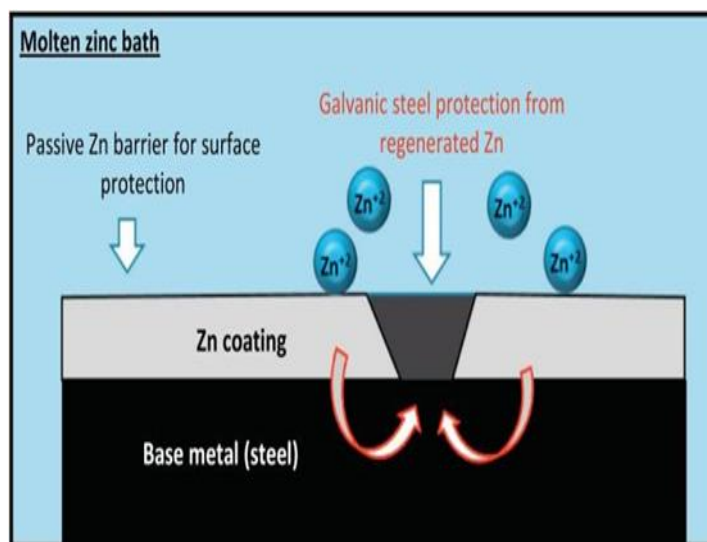
La aplicación de recubrimientos anticorrosivos sobre superficies metálicas es una práctica ampliamente aceptada ya que estas barreras físicas dificultan la exposición de los metales a condiciones corrosivas.

Para la mayoría de los grados de acero utilizados en estructuras de hormigón armado, el revestimiento galvanizado se ha convertido en una técnica de protección fiable para mejorar la vida útil estructural y la aplicabilidad (ST vagge, vs Raja, Nayanan) citado por (Ubong Eduokÿ et al.2018, p.1).

Es decir que ha generado importantes resultados en el momento de proteger los materiales metálicos.

La protección de los metales a través de diferentes barreras protectoras les brindan una mejor capacidad de resistencia ante la biocorrosión por ejemplo las barreras que si implementan de zinc fundido al caliente. Por medio de las barreras implementadas de zinc bajo un buen procedimiento de recubrimiento, permiten que la superficie este totalmente fuera del alcance de los microorganismos.

Figura 7. Sistemas de protección del acero por galvanización



Fuente: (Ubong Eduokÿ et al. ,2018) <https://doi-org.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/10.1016/j.engfailanal.2018.07.008>

Los recubrimientos de zinc crean una barrera que rechaza la entrada de iones corrosivos que se encuentren en el entorno y quieran penetrar la superficie protegida.

El recubrimiento de Zn forma una barrera física contra el flujo de iones corrosivos hacia el metal a base de acero; (b) tras el daño, la capa de Zn también se puede regenerar fácilmente en el acero, protegiéndolo aún más mediante anodización de sacrificio; (c) El Zn parece proteger también el metal base al corroerse antes que el acero. La corrosión es inminente a cierto pH y tras la exposición prolongada de HDGS a medios con alta conductividad eléctrica (Ubong Eduokÿ et al. 2018, p. 2).

Este proceso ante la corrosión es fundamental para la prevención del desarrollo de los microorganismos. Se debe considerar controles periódicos ya que el recubrimiento puede debilitarse en un periodo de indefinido dependiendo el entorno y el PH de los materiales.

7.8 La tecnología del galvanizado al caliente para barreras físicas

Dentro de los procesos que se implementan en las superficies para aumentar la resistencia a la corrosión la galvanización en caliente es un sistema que brinda mayor seguridad a la superficie protegida.

Los productos de la tecnología de galvanizado en caliente se utilizan ampliamente como componentes de estructuras de ingeniería en la mayoría de las instalaciones de construcción, fabricación, procesamiento de petróleo/químicos y municipales. Los sustratos HDGS implementados en torres de enfriamiento y sistemas de distribución de agua son significativamente resistentes a la corrosión y la bioincrustación, pero aun así se degradan con una exposición prolongada. Como cualquier otro metal industrial con riesgo de daño por corrosión, independientemente de su diversa aplicabilidad, existe una necesidad apremiante de identificar sistemas efectivos de mitigación de la corrosión para sustratos HDGS. En este trabajo, se investiga el comportamiento de picaduras inducido por microbios de láminas de acero galvanizadas por inmersión en caliente expuestas a un cultivo de SRB (LP kasansky et al., 2012) citado por (Ubong Eduokÿ., et al 2018, p.2).

Por lo tanto, se analiza que todas las superficies expuestas a bacterias y demás microorganismo es decir en un entorno altamente agresivo, los revestimientos suelen perder su resistencia en un tiempo considerado por lo que se recomienda mantenimiento y curados para fortalecer la capa protectora.

8. BIOPELÍCULAS

Las asociaciones microbianas, generalmente compuestas por bacterias y hongos generan la producción de sustancias polimerías extracelulares que tienen la función de ayudar a la unión de las comunidades microbianas y la generación de biopelículas; es importante determinar que estas sustancias están compuestas principalmente por diferentes macromoléculas que tienen proteínas, ácidos nucleicos y polisacáridos lípidos. Las propiedades de las biopelículas, así como su formación dependen de algunos factores como el tipo de bacterias su fisiología de los agentes que la conformen, al igual que de su entorno como humedad y demás factores ambientales. La matriz está conformada por diferentes microorganismos con sus sistemas de metabolismo que pueden agregar variedad de compuestos insolubles, lo cual genera cambios en las condiciones electroquímicas sobre la superficie metálica, hay una gran variedad de procesos mediante los agentes pueden corroer los diferentes metales y superficies metálicas. (Rivera, 2015)

Figure 8. Biopelículas compuesta por SRB



Fuente: (Arenas salcedo, 2013) <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/17175/25-1-16607.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Por ejemplo, la corrosión provocada por microorganismos es debido a los cambios en los compuestos electroquímicos formando los procesos microbiológicos adyacentes a la superficie del metal, en las variaciones nombradas se puede mencionar la concentración de iones, los porcentajes

del PH, la relación de óxido y su reducción y las variaciones de las superficies metálicas. Todas estas modificaciones dependen del tipo de metal y de las propiedades y características de la comunidad bacteriana que conforman las biopelículas adheridas a la superficie. (Rivera, 2015)

8.1 Relación de las biopelículas y los metales en la construcción

Las biopelículas de microorganismos, al igual que las bacterias que se adhieren a los metales, por lo general esto altera las reacciones anódicas y catódicas en las superficies metálicas. “Cuando las bacterias se adhieren a la superficie metálica éstas empiezan a formar una película que consiste en células inmovilizadas al sustrato frecuentemente en bebidas en una matriz polimérica que contiene 95% de agua” (Arenas, 2019. p. 28).

Estos sustratos producen a una biocorrosión acelerada y la posterior disolución de estos materiales metálicos.

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. La composición y las propiedades de las biopelículas varían debido a factores ambientales como la humedad, la fisiología y el tipo de bacterias que conformen la comunidad microbiana. La actividad metabólica de los microorganismos que conforman la matriz conduce a la liberación de diferentes productos insolubles, lo cual cambia las condiciones electroquímicas sobre la superficie del metal. (Rivera 2015, p.14)

Es por ello que se hace necesario determinar la formación de las biopelículas ya que pueden cambiar las concentraciones químicas del metal y esto hace que se presente deterioros o deformidades en las superficies.

9. MICROORGANISMOS QUE AFECTAN LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

La causa del biodeterioro son un conjunto de actividades químicas dentro de los metabolismos microbianos de los agentes que se da lugar en la célula, donde se presentan algunas funciones específicas.

- Realizar las funciones celulares por medio de la energía química depositada del entorno
- Trasformar los nutrientes axogenos en sustancia compactible con los componentes macromoleculares de la célula bacteriana.
- Generar y desintegrar las moléculas para crear las funciones celulares específicas, ejemplo la movilidad y la atracción de nutrientes, el metabolismo de los microorganismos y sus efectos son de dependencia química y posteriormente influyen en los procesos físicos.

El biodeterioro puede implicar muchos microorganismos donde pueden actuar por separado o habrá algunos que se desarrollaran en conjunto, pueden ser altamente corrosivos debido al gran producción de ácidos orgánicos biogénicos.

En la superficie del concreto se generan muchos microorganismos como se ha identificado en el presente documento los cuales liberan sustancias poliméricas extracelulares, así como la creación de muchos ácidos como el hidrogeno, el sulfuro y el nítrico como resultado de las bacterias nitrificantes, por otro lado, se tiene las bacterias oxidantes de azufre que también dañan permeabilidad y porosidad de los productos estos desarrollos del metabolismo reaccionan de una manera directa con el concreto provocando el biodeterioro.

Tabla 2. 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.
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: De Turris et al. 2013, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4752971>

La corrosión generada por la producción de H_2S es una reacción que la provocan los microorganismos que actúan de manera anaeróbica y por lo tanto aumentan la velocidad de corrosión y la liberación de enzimas específicas como la hidrogenasa; según el resumen anterior las alteraciones se producen por bacterias, hongos, algas y líquenes, eventualmente también se ha identificado algunos grupos de agentes que se definen como hidrogeno independientes, este implementa el hidrogeno agregado en el agua en sus sistemas metabólicos generando una variación en el potencial del medio generando picaduras, exfoliación y pulverización.

Se podría decir entonces que todos los grupos de seres micro orgánicos crean el alimento a partir de la energía y los materiales que contiene hierro, azufre y nitrógeno; por otra parte los seres quimio sintéticos o heterótrofos como hongos y bacterias su única fuente de energía es el carbón orgánico, a diferencia de los microorganismos autótrofos que sintetizan compuestos inorgánicos empleando como fuente de energía el sol.

9.1 Bacterias que afecta los materiales de construcción

Para poder determinar las bacterias que afectan las construcciones se debe identificar los diferentes agentes que forman parte de los diferentes organismos que generan corrosiones agresivas en los materiales.

Es por ello que a continuación en la presente monografía analizaremos algunos grupos de bacterias que generan un alto índice de daño en los materiales de construcción.

9.1.1 Bacterias Sulfato Reductoras y Productoras de Ácido en los materiales de construcción

Las bacterias sulfato reductoras y productoras de ácido son un grupo de bacterias anaeróbicas, están compuestas por gran variedad de microorganismos que generan biocorrosión que funcionan y realizan sus actividades metabólicas en condiciones aeróbicas.

Las bacterias sulfato reductoras son un grupo de bacterias anaeróbicas capaces de reducir a sulfuros compuestos tales como sulfatos, sulfitos, tiosulfatos, al mismo tiempo que el azufre de los hidrocarburos. Las bacterias sulfato reductoras son a menudo consideradas estrictamente anaeróbicas, aunque algunas cepas toleran el oxígeno a bajas concentraciones. Ciertos tipos de bacterias sulfato reductoras son capaces de respirar con el hierro e incluso el oxígeno mezclado con hidrógeno actuando como donadores de electrones (Resa et al., 2008) citado por (Arenas, 2013, p. 36).

De hecho así como las bacterias sulfato reductoras son capaces de reducir a sulfatos compuestos pesados, las bacterias productoras de ácido compiten por fuentes de carbonos grasos y hace que los materiales de construcción pierdan la acides.

9.1.2 *Ferrobacterias en los materiales de construcción*

Las Ferrobacterias son capaces de convertir el dióxido de carbono en materia orgánica a través de la oxidación del hierro ferroso, el cual es almacenado como hematites y goethita como consecuencia de su reacción metabólica.

Las bacterias fijadores de hierro aceleran la reacción que ocurre naturalmente entre el oxígeno y los iones ferrosos para su reproducción, y a la vez para crear almacenamientos extracelulares relacionados a la pared celular como filamentos y tallos; estas bacterias funcionan bajo la ayuda del oxígeno que rompe el equilibrio “el oxígeno moviliza el hidrógeno catódico y estas bacterias entran en acción en el proceso de corrosión”.

9.1.3 *Bacterias Formadoras de Gel en los materiales de construcción*

Este género de bacterias producen masas gelatinosas floculantes y mucoides en los materiales de construcción, los cuales están presentes en muchos microorganismos. Estos seres vivos se caracterizan por generar polímeros creados como los “expolímeros; estos polímeros se pegan a los sustratos y el objetivo de estos a su vez es causar ensuciamiento y crear las bacterias anaeróbicas.

9.1.4 *Bacterias colonizadoras en los materiales de construcción*

Cuando hablamos de colonizar, se refiere a establecer o dar inicio por primera vez a algo; es decir que cuando un microorganismo coloniza una superficie está determinado principalmente por el material, las características y los mecanismos de adherencia microbiana. Es decir se presenta por primera vez la corrosión del material de construcción.

La meteorización comienza con la fragmentación por fuerzas físicas, luego puede darse estrés térmico y las sales producen la propagación de grietas que permiten la colonización por comunidades de microorganismos asociados. El crecimiento y desarrollo de

colonizadores primarios produce depósitos de C y N disponibles para el establecimiento adicional de plantas. Además, las plantas capaces de vivir en grietas establecen interacciones con comunidades microbianas y juntas optimizan los recursos rocosos (orgánicos o inorgánicos), mejoran el ciclo de los nutrientes y aceleran el desarrollo del suelo (Lambers et al., 2009) cita por (Urrego 2021, p. 11).

9.1.5 Bacterias encargadas de reducir el nitrato en los materiales de construcción

Podemos observar que algunas bacterias benefician la superficie porque están en competencia directa con las bacterias de sulfato reductoras que producen ácido que actúan como aceptor de los electrones liberados de la oxidación del hierro para la producción de amonio.

Se ha establecido que la presencia de bacterias reductoras de nitrato (BRN) en las biopelículas puede reducir la corrosión, al competir con las bacterias sulfato reductoras (BSR) productoras de ácido. Ambos tipos de bacterias compiten por la misma fuente de carbono como los ácidos grasos volátiles. Mientras las BSR primero oxidan el propionato y el butirato a acetato, el cual actúa como donador de electrones cuando alcanza una concentración crítica, las bacterias BRN consumen los 3 componentes de manera simultánea (Alasvand & Ravishankar, 2014) citado por (Rivera 2015, p. 16).

Podemos ver que existen bacterias que compiten entre sí porque defienden su alimento, que en este caso sería el carbono y ácidos grasos volátiles presentes en los materiales de construcción.

Por otro lado, diversos estudios sustentan que las biopelículas de bacterias reductoras de nitratos también tienen un papel significativo promoviendo la corrosión de metales como el hierro. La reducción del nitrato puede causar corrosión al igual que sucede con la

reducción del sulfato, al actuar como aceptor de los electrones liberados de la oxidación del hierro para la producción de amonio (NH_4^+) y nitrógeno gaseoso N_2 (Dake Xu, et al., 2013) citado por (Rivera, 2015. P, 16).

9.2 Líquenes

Estos seres viven en una relación simbiótica compuesta por un alga y un hongo dentro de la composición figura un componente fúngico con la función tapar gana parte del cuerpo y los compuestos que serán metabolizados por las algas, algunos de estos son requeridos por los hongos. Según la literatura trabajada los líquenes se pueden desarrollar en una amplia variabilidad de entornos y pueden penetrar varios milímetros en las superficies ejemplo el concreto ya que se sujetan mediante las raíces a la superficie. se desarrollan en las superficies de las rocas y debido a sus características su presencia es evidente, son los microorganismos que más se desarrollan en las superficies externas. (Urrego García, D. M. 2021)

Una de las características de los líquenes es que ayudan a mejorar la climatización debido a la producción de nitrógeno, después de su muerte; esto se detecta en algunos análisis porque los líquenes producen corrosión por picaduras que dejan algunos rastros de grabado debido al sistema metabólico en su descomposición.

9.3 Hongos

En el grupo de los heterótrofos podemos observar los hongos que son microorganismos que se caracterizan por ser unicelulares, estos están relacionados a daños físicos y estéticos de los materiales como de las estructuras de concreto, algunos estudios también los relacionan con algunos aspectos de la salud de las personas como reacciones alérgicas y tóxicas. Estos microorganismos se pueden desarrollar en una amplia variedad de superficies incluyendo la madera, rocas, metales,

concreto lo cual propicia las condiciones para el biodeterioro, otro aspecto a considerar es que pueden generar acciones mutualistas con algunas cianobacterias y algas y líquenes lo que genera que desarrollen diversidad en su morfológicas y metabolismo mejorando su sobrevivencia en diferentes entornos. (Urrego García, D. M. 2021)

El metabolismo de los hongos generalmente son sustrato de carbono inorgánico para mejorar su desarrollo otro factor que potencia su crecimiento son los desechos o células muertas de microorganismos anteriores y presencia de materia orgánica nitrogenada.

9.3.1 Túneles de hongos

En la literatura se ha estudiado el origen de los hongos como parte independiente de los minerales del suelo; se considera que los hongos son una especie huésped, entre los cuales conocemos los hongos come rocas o hongos formadores de roca, pero ¿cómo pueden producirse estos túneles de hongos? Estos hongos se desarrollan en las grietas de las rocas o en los minerales meteorizables, en el proceso de la colonización.

9.3.2 Géneros de hongos

La estructura de los hongos puede transformarse y resistir la superficie de los minerales, así mismo muchos se desarrollan con mayor normalidad en entornos construidos en ambientes interiores y exteriores, entre los cuales se conocen los *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus* *Stachybotrys* que ayudan al deterioro mecánico.

9.4 Biodeterioro por acción de las plantas en los materiales de construcción

Algunos microorganismos tienen un aumento debido a los humos producido por la descomposición de las plantas; esto último porque el deterioro del forraje es un huésped que acelera los microorganismos que afectan las estructuras y algunos materiales de construcción; otras plantas

abren camino para la reproducción de musgos y algas y demás microorganismos aumentando la velocidad de biodeterioro de las construcciones y afectaciones a las superficies. “El biodeterioro de materiales orgánicos e inorgánicos, es un complejo proceso de alteraciones inducidas por la actividad creciente y metabólica de los organismos” (Urrego 2021, p.19).

Por lo cual es importante hacer limpieza a las estructuras ya que las vegetaciones generan daños físicos y químicos severos debido a la afectación directa de sus raíces o la descomposición de las mismas.

9.4.1 Ataques por las plantas por acción de las plantas en los materiales de construcción

Las principales afectaciones originadas por las vegetación en su colonización generan ataques a las diferentes estructuras especialmente en las paredes se desarrollan con rapidez debido a factores abióticos que hacen ideal algunos entornos para su desarrollo estas plantas aceleran el desarrollo de del deterioro en las diferentes superficies además generan condiciones y maduras para la germinación de las semillas, afectando futuramente mucho más la superficie donde se desarrollaran.

Otra forma descolonización por las plantas se genera en superficies horizontales con factores abióticos como el agua, estas plantas por lo general son musgos que capturan los polvos atmosféricos y gases consolidándose la generación de un sustrato idóneo para el nacimiento de otras plantas, lo más problemático del sistema es la penetración a la superficie ya sea materiales o estructuras de concreto por parte de las raíces lo cual genera un gran daño físico y químico por medio de la oxidación de ácidos orgánicos. (Urrego. 2021)

Las plántulas generan ácidos que varían el pH y la intensificación del ambiente meteoriza los materiales de las superficies estas alteraciones físicas de las partículas minerales que exponen las áreas de la superficie a la intemperie, que conllevan a la meteorización mineral o cambios en sus

componentes. Luego, se intensifica la meteorización mineral de las superficies de los materiales de construcción, por hongos y bacterias asociadas, como sucede en la rizósfera; ejemplo de ello, está en las plantas de los manglares, cactus, plantas del desierto y especies arbóreas de bosques templados, en las cuales, también se apoya la hipótesis de que las plantas pueden seleccionar las comunidades de microorganismos para mejorar su nutrición, garantizando el establecimiento y supervivencia en entornos bajos en nutrientes (Uroz et al., 2009) Citado por (Urrego, 2021, p. 28).

9.4.2 Daños a materiales y estructuras y por acción de las plantas

Los daños por vegetación a la infraestructura se originan principalmente por microorganismos que se relacionan directamente con la degradación de estas superficies; pero estos daños se dan principalmente por la descomposición vegetal e igualmente porque las raíces de las plantas producen la pérdida en las estructuras de concreto, ablandamiento y cambios de color en el concreto, oxidación en los metales y hospedaje de nuevas especies de Hongos.

El sistema de desarrollo microbiano se fundamenta en la reproducción de ácidos que aceleran el desgaste de las superficies la disolución de los minerales. Según Turris et al. (2013). “Todos los hongos producen ácidos orgánicos durante su metabolismo y estos conducen a la solubilización o quelación de minerales tales como el Al, K, Ca y Fe del sustrato del concreto y las piedra que contienen silicatos, feldspatos y micas” (pp. 4-5). Teniendo en cuenta la anterior cita se puede decir, que como todos los materiales de construcción son heterogéneos formados por una combinación de diferentes materiales mineralógicamente por lo cual pueden ser afectados por la acción de los microorganismos.

10. CONSECUENCIAS EN OBRAS AL IMPLEMENTAR MATERIALES SALPICADOS POR MICROORGANISMOS

La base fundamental de una obra es la calidad de los materiales y la vida útil de los mismos, por lo cual es importante implementar medidas y procesos de prevención; es fundamental tener en cuenta la ley y el Manual de Técnicas Colombianas NTC para el proceso de la construcción.

En toda construcción los materiales juegan un papel fundamental, ya sea una edificación nueva o una reforma, porque permite la conservación y durabilidad en el tiempo y además permite obtener certificados de respaldos de las aseguradoras. Para tener un punto de regencia es necesario saber las implicaciones personales, económicas, legales y civiles en las que se puede incurrir al utilizar materiales afectados por biocorrosión en una obra.

10.1 Consecuencias económicas por implementar materiales salpicados por microorganismos

En la construcción el realizar una inversión es necesario tener claro que no todos los materiales cumplen con los requerimientos técnicos y de calidad, esto debido a los cambios climáticos y la composición fisicoquímica de los mismos; al momento de construir se lleva a cabo una pérdida económica por los defectos de los materiales y la mano de obra implementada, así mismo por los cambios que se deben realizar por la injerencia de sanciones o reclamaciones sobre los hallazgos.

Estos hallazgos son en su mayoría causados por factores biológicos que son más duros de tratar y se presentan en las materias primas; estos daños en las estructuras obliga a realizar repetitivos mantenimientos los cuales afectan económicamente las inversiones en las obras de construcción.

De la misma forma si los mantenimientos no son efectivos los materiales quedan totalmente obsoletos o fuera de uso porque los microorganismos afectan de manera directa las propiedades físicas, químicas y mecánicas. Es por ello, hay que tener claro la etapa de vida útil de los materiales

porque estos también se enfrentan a un envejecimiento prematuro que los conllevara a una destrucción temprana al estar en una construcción y en un ambiente natural.

Para evitar estos daños por factores biológicos es necesario tomar algunas medidas que permitan proteger la biodegradación de las estructuras, Según Dergunova et al. (2019):

La creación e implementación de materiales de construcción y estructuras con mayor resistencia al daño biológico; el uso de recubrimientos protectores o aditivos especiales; desarrollo de medidas constructivas de protección contra daños biológicos; diseño e implementación de medidas de protección contra daños biológicos llevados a cabo en la fabricación de productos y piezas de construcción diseñados para trabajar en un ambiente agresivo; diseño e implementación de objetos construidos con materiales resistentes a biodestructores. (p.6)

Esto indica que si mejoran los materiales permitirán a futuro reducir las pérdidas de los mismos y dinero al momento de ejecutar una obra de construcción.

10.2 Consecuencias en la salud de las personas debido a la biocorrosión

Los procesos de biodeterioración de los materiales de construcción originan esporas o microbios que se ocultan en las paredes, techos y canales de aire que producen enfermedades en las personas. Cuando hablamos de las enfermedades por biocorrosión se deja claro que son producidas por microbios, que producen desde alergias, inflamaciones en las vías respiratorias hasta micosis profundas, enfermedades infecciosas y sistémicas.

Cuando los materiales son afectados por estos microorganismos (microbios) no solo pierden sus propiedades físicas y mecánicas, sino que pasan a generar riesgos para la salud de las personas que se encuentren dentro de la estructuras; así mismo, las estructuras se pueden desplomar totalmente

produciendo afectaciones físicas e incluso la muerte. Para Dergunova et al., (2019) “Los agentes causantes de enfermedades pueden ser microorganismos y sus productos de desecho. De hecho, los procesos de biodegradación en la ciudad se están convirtiendo en una de las principales amenazas para el medio urbano”(p.3).

En este sentido es muy importante realizar un control a los microorganismos y sus productos de desecho por profesionales cuanto se sospeche su presencia.

Para determinar la presencia de microorganismos es necesario estudiar los escenarios sanitarios y epidemiológicos en las zonas residenciales e industriales. Según Dergunova et al., (2019), “Cada vez es más evidente la necesidad del desarrollo e implementación de medidas para la prevención y eliminación de las consecuencias del biodeterioro de los diferentes materiales y diseños” (p. 3).

Esto indica que con el fin de salvaguardar la integridad de los seres humanos y su entorno se deben efectuar medidas de prevención.

10.3 Consecuencias legales por implementar materiales salpicados por microorganismos

En el momento que se construye una obra o infraestructura NO se debe de pensar en las ganancias que dejara el proyecto, sino que se debe seguir lo que está consagrado en la ley, prueba de ello es que el artículo 2060 del código civil, le otorga una garantía de 10 años contados a partir de la entrega de la construcción al propietario, es decir el Constructor debe brindar una garantía por la infraestructura ejecutada.

Si el proceso de construcción no cuenta con los permisos necesarios las consecuencias legales van desde sanciones económicas hasta demolición de la obra; es decir que las construcciones que se adelanten sin las licencias y permisos, no implemente control a los procesos constructivos y a la calidad de los materiales pueden generar cierre y cancelación de la obra; asimismo demandas pecuniarias y civiles.

10.4 Responsabilidad civil

Cuando se asume la responsabilidad por la construcción de una obra, se debe prever que se pueden generar diversos daños que pueden afectar a las personas o bienes materiales e inmuebles, esta problemática genera procesos legales que deben ser resueltos por la ley; así mismo, hay otras problemáticas que provienen de la misma obra ejecutada con la no entrega oportunamente la construcción o entrega de la infraestructura incompleta, que conlleva a interponer una demanda legal con el fin de ser indemnizado por los daños y perjuicios causados en su contra.

Ahora, según la regla tercera del artículo 2060 del Código Civil, tratándose de vicios de construcción el “empresario” o “guardián” responde sin condicionamientos y por vicios en el suelo el edificador responde en aquellos casos en los cuales haya debido conocer del vicio en razón de su oficio. Por vicios de los materiales, según el artículo 2057 del Código Civil, al que remite inapropiadamente la regla tercera del artículo 2060 mencionada, el “empresario” o “guardián” responde sin condicionamientos si fue el quien suministró los materiales, pero si los suministró el propietario de la obra, responde si por su oficio haya debido conocer el vicio o que conociéndolo no haya dado aviso oportuno. (Posada Arango, M, 2019, p.25)

En el desarrollo de un proyecto es fundamental el conocimiento de las diferentes normas y leyes que deben considerarse durante la etapa de planeación, diseño y ejecución de una obra, esto teniendo en cuenta que es de vital importancia conocer que existen vicios en los materiales los cuales pueden ser una problemática que ocasionan responsabilidades civiles. Por lo cual Posada Arango, M. (2019), relaciona que:

En Colombia la responsabilidad civil o por daños y perjuicios que surgen con ocasión de la ruina de un edificio se encuentra normativamente atribuida al “empresario”, expresión que utiliza el artículo 2060 del Código Civil para referirse al sujeto a quien se encarga la construcción del edificio, y el “guardián”, expresión que utiliza la jurisprudencia y la doctrina para referirse a la posición que ocupa una persona como custodio de una cosa o una actividad y que por lo tanto lo hace responsable de los daños que estas cosas o actividades causen. (p.27)

11. NORMAS RELACIONADAS CON LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

En la actualidad es importante tener claro el ataque de los microorganismos en los diferentes materiales de construcción tienen relación con el medio ambiente y las condiciones ambientales específicas producidas por bacterias. La prueba más frecuente es la destinada a la biodegradación de sólidos es la ISO 16929 y para los líquidos la OCDE 301, es importante tener claro que el biodeterioro es producido por bacterias, hongos, algas, líquenes, diatomeas y musgos que se presentaron en presente trabajo.

Ofrecer la seguridad en una construcción está relacionada con bases, columnas, vigas, paredes y techos sanos y que no lleguen a mostrar daños como descascaramientos, fierros corroídos o filtraciones de humedad, pero lo que determina esto es la calidad de los materiales; pero como toda obra está expuesta al ambiente natural lo importante es controlar la biocorrosión y el biodeterioro. Como lo relaciona Turris et al. (2013). “La liberación biogénica de ácidos corrosivos es probablemente el mecanismo destructivo biogeoquímico más conocido e investigado de materiales inorgánicos. Este proceso, denominado biocorrosión cuando se trata de metales, resulta de la liberación de ácidos inorgánicos y orgánicos” (p. 5). Es decir, que en general la normativa resalta que todos los materiales de construcción deben tener una supervisión y almacenamiento, según la norma técnica colombiana NTC 4435.

12 CONCLUSIONES

Se puede concluir que la biocorrosión es un proceso natural que causa impactos negativos en los materiales y edificaciones; teniendo en cuenta las normativas y creando estrategias se pueden mitigar aspectos de corrosión en especial en los procesos constructivos, almacenamiento de los materiales, en la presencia de factores ambientales, en el curado y fortalecimiento de los materiales.

Así mismo, se puede concluir la importancia de considerar los entornos o los factores ambientales en el momento de almacenar materiales o simplemente construir una obra ya que muchos seres vivos y microorganismos se fortalecen con algunas condiciones ambientales y el ataque y deterioración de estos elementos se acelera de manera considerable.

Debe considerarse la selección de los materiales a implantar en la construcción ya que no todos tienen las mismas propiedades fisicoquímicas y mecánicas lo que ocasiona que unos elementos sean más resistentes y de mejor calidad, esta influye de manera directa en el tiempo de deterioro y la resistencia que estos opongan ante el ataque del microorganismo.

En conclusión, los procedimientos de prevención más eficientes en el ataque de los microorganismos son las barreras físicas con algunos componentes que evitan el contacto directo de la superficie con los agentes corrosivos, así como algunos mecanismos de limpieza donde se implementan diferentes químicos que también han generado buenos resultados en la prevención y control de la biocorrosión todo depende del género de los agentes presentes en el entorno o material, así como también de la etapa evolutiva del biodeterioro.

13 BIBLIOGRAFÍA

- Apostolopoulos, C. A., Demis, S., & Papadakis, V. G. (2013). Corrosión inducida por cloruro del acero de refuerzo: rendimiento mecánico y análisis de profundidad de picaduras. *Construcción y Materiales de Construcción*, 38, 139-146. recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Ch-Apostolopoulos/publication/269980376_The_Consequences_of_Chloride-Induced_Corrosion_on_Steel_Bar_and_Reinforced_Concrete_Structures/links/55801e1c08ae47ede114e0b1/The-Consequences-of-Chloride-Induced-Corrosion-on-Steel-Bar-and-Reinforced-Concrete-Structures.pdf
- Arenas salcedo, (2013). Identificación de corrosión microbiológicamente inducida en ductos de conducción de hidrocarburos. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/17175/25-1-16607.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ayón, V. A., Quesada, A. L. R., & Rodríguez, Y. L. (2005). Influencia de los parámetros medioambientales en la corrosión de elementos estructurales metálicos. *Ciencias Holguín*, 11(4), 1-11. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1815/181517866003.pdf>
- Berrocal-Jiménez, A. (2012). Clasificación de daños producidos por agentes de biodeterioro en la madera. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 4(10), pág. 54–62. Recuperado a partir de <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/500>
- 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. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4752971>

- Dergunova et al., 2019. El daño económico del biodeterioro en el sector de la edificación. En IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 698, No. 7, p. 077020). Publicación IOP. Recuperado de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/7/077020/meta>
- Dominici, L. E. (2021). Aplicación de técnicas moleculares en el estudio de la diversidad de comunidades microbianas y control de su desarrollo en un sistema petrolero (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/129251>
- Haya, IB y Sunner, J. 2004. Biocorrosión: hacia la comprensión de las interacciones entre biopelículas y metales. Opinión actual en Biotecnología, 15 (3), 181-186. Recuperado de <https://www.d.umn.edu/biology/documents/Oster3.pdf>
- Héctor & Videla (2002). Prevención y control de la biocorrosión. Biodeterioro internacional y biodegradación, 49 (4), 259-270. Recuperado de [https://doi-org.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/10.1016/S0964-8305\(02\)00053-7](https://doi-org.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/10.1016/S0964-8305(02)00053-7)
- MJ Deepa et al., 2019. Exploración de compuestos de TiO₂ con Mo incorporado para el control sostenido de la biocorrosión en recubrimientos de zinc. *Ciencia de superficies aplicada Volumen* 494, 15, páginas 361-376. Recuperado de <https://doi-org.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/10.1016/j.apsusc.2019.07.086>
- Monteny, J., Vincke, E., Beeldens, A., De Belie, N., Taerwe, L., Van Gemert, D., & Verstraete, W. (2000). Métodos de ensayo químicos, microbiológicos e in situ para la corrosión del hormigón por ácido sulfúrico biogénico. *Investigación sobre cemento y hormigón*, 30(4), 623-634. recuperado de [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00219-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00219-2)

- Pedraza Pardo, A. F. (2021). Proceso de corrosión por CO₂ en ambiente húmedo favorecido por actividad microbiana, en tubería de distribución de nafta para dilución de crudos extrapesados (*Doctoral dissertation, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*). Recuperado de
- Posada Arango, M. (2019). ¿Quién responde por los daños causados con la construcción de edificios que se arruinan? (Doctoral dissertation, Universidad EAFIT). Recuperado de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/16128/Mateo_PosadaArango_2019.pdf;jsessionid=2D657D661D85CD5B10A1964DE434E87A?sequence=2
- Rivera Serna, M. C. 2015. El papel de los microorganismos en el biodeterioro y la conservación de materiales de construcción-metales y concreto. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/18286/u722021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ubong Eduokÿ et al., 2018. Efecto del biocida de benzotiazol en la biocorrosión inducida por SRB del acero galvanizado en caliente. *Análisis de fallas de ingeniería*. Volumen 93, noviembre de 2018. Páginas 111-121. Recuperado de <https://doi-org.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/10.1016/j.engfailanal.2018.07.008>
- Urrego García, D. M. 2021. Mecanismos de degradación de concreto mediados por la simbiosis entre *Leucaena leucocephala* y *Aspergillus niger* establecidos en estructuras urbanas. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79973>