



El uso de microorganismos para la elaboración de materiales de construcción

Monografía como trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil

Junio de 2022

Universidad de Pamplona

Ingeniería Civil



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



El uso de microorganismos para la elaboración de materiales de construcción

Autor

CRISTIAN MAURICIO VERA PATIÑO

Director

ING. JOSÉ LUIS ORTIZ CARRILLO

Programa de Ingeniería Civil

Departamento de Ingeniería Civil, Ambiental y Química

Facultad de Ingenierías y Arquitectura



Universidad de Pamplona

Pamplona, Junio de 2022



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



*Dedico este escrito a mi familia por todo el amor y cariño
que he recibido de ellos durante toda mi vida.
A mis padres por nunca dejar de confiar en mí
y apoyarme en todo momento,
por lograr que mi camino sea más fácil,
pues sin ellos hubiera sido extremadamente difícil...
por ayudarme a realizar mi sueño, que más que mío,
es también suyo.*

Cristian Mauricio Vera Patiño



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Agradecimientos

Primero que todo agradecer a Dios por permitirme llegar a cumplir una meta más en mi vida, la cual no ha sido fácil, ya que mi proceso de formación ha estado lleno de dificultades. Sin embargo, cumplir el sueño de ser profesional de ingeniería civil, ha requerido de mis virtudes, destrezas, esfuerzos y perseverancia. Así mismo, agradecer a mis padres y demás familiares, por su trabajo, dedicación, y apoyo emocional, fueron ese motor que me impulsaron a la culminación de todo este trabajo, a cada uno de nuestros amigos y compañeros de la universidad que siempre tienen una palabra alentadora para no desfallecer. Finalmente, resaltar el gran trabajo que realiza la Universidad de Pamplona, por brindar la oportunidad a que un joven como yo ingrese a esta prestigiosa institución y formar parte de este grandioso claustro. Resaltando siempre su equipo de trabajo docentes, y asesores del trabajo de grado, que se esmeran por brindar acompañamiento y asesorías, impartiendo conocimientos, y paciencia para poder formar líderes comprometidos con el desarrollo personal y profesional.

Cristian Mauricio Vera Patiño



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



TABLA DE CONTENIDO

1. PROLOGO	8
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.2 OBJETIVOS	9
1.2.1 General	9
1.2.2 Específicos	9
2. RESUMEN	10
3. INTRODUCCIÓN	12
4. DESARROLLO	13
4.1 CONCEPTOS	13
4.1.1 ¿Qué son los microorganismos?	13
4.1.2 Identificación de los microorganismos	14
4.1.3 Clasificación de microorganismos	16
4.1.4 Bacterias	16
4.1.5 Arqueas	19
4.1.6 Hongos y Levaduras	20
5. EL PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS EN LA CREACIÓN Y LA CONSERVACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	22
5.1 ¿Pueden los microorganismos impactar y empezar a crear nuevos materiales de construcción?	22
5.2 Utilización de microorganismos en la conservación de edificios y materiales de construcción.	23
5.2.1 Biomineralización, precipitación de carbonato de calcio	23
5.2.2 Usos de la biomineralización (Hormigón)	24
5.2.3 Biomineralización y propiedades fisicoquímicas del hormigón	25
5.2.4 Resistencia a la compresión	25
5.2.5 Porosidad	26
6. ¿CÓMO Y EN QUE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PODEMOS IMPLEMENTAR LOS MICROORGANISMOS?	26
6.1 En el Concreto: Elaboración de mezclas de Concreto con propiedades autorreparadoras a base de microorganismos	26
6.2 Cemento: Bacterias productoras de Biocemento	30
6.3 Pavimentos rígidos: Uso de microorganismos eficientes en la fabricación de pavimentos rígidos.	32



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



6.4	Mezcla de asfalto reforzada con algas.	34
6.5	Aditivos: Aplicación de la tecnología ME (Microorganismos eficientes) en la construcción y aditivos plastificantes y superplastificantes	37
6.6	Ladrillos: Ladrillos duraderos utilizando bacterias, biomasa, agregados, nutrientes, minerales	39
6.7	Aceros: Mortero Modificado con microorganismos marinos para evitar la corrosión de los aceros.	41
6.8	Agua y Suelo	43
6.8.1	Estabilización de suelo con bacterias	43
6.8.2	Metabolismo microbiano para la descontaminación de aguas	43
7.	ANÁLISIS Y CONCLUSIONES	46
8.	BIBLIOGRAFÍA	49



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Microorganismos	13
Ilustración 2. Bacterias.....	14
Ilustración 3. Arqueas	15
Ilustración 4. Eucariontes.....	15
Ilustración 5. Crecimiento de colonias de Actino bacterias en medio de cultivo.	17
Ilustración 6. Estructura de la Bacteria	18
Ilustración 7. Arquea.....	20
Ilustración 8. Levadura Pigmentada	21
Ilustración 9. Hormigón Autorreparable.....	27
Ilustración 10. Representación simplificada del proceso de precipitación de carbonato cálcico. 30	
Ilustración 11: Aparición de grietas en el hormigón autorreparable y actuación de precipitación de calcita llevada a cabo por las bacterias	30
Ilustración 12: La calcita que producen las bacterias biocalcificadoras cristaliza sobre los clastos (partículas minerales) silíceos. El proceso compacta el material y mejora su resistencia frente a agresiones ambientales.....	32
Ilustración 13: Posidonia oceánica.....	35
Ilustración 14: Mezcla de asfalto con Posidonia oceánica.....	36
Ilustración 15: Ladrillos a base de microorganismos marinos.....	41



1 PROLOGO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La idea principal y fundamental de este escrito monográfico es dar a conocer una mejor perspectiva a la implementación o el uso de microorganismos en la creación de biomateriales o mejoramiento de las propiedades en los materiales de los procesos de construcción ya que podría ser una solución para nuestro presente y futuro sobre las problemáticas tanto ambientales como constructivas en el área ingenieril.(Rivera Serna, 2015)

La construcción de hoy en día es uno de los campos más desarrollados en todo el mundo, siendo una de las actividades económicas que más mueve el mundo entero, brindado capacidad de trabajo a millones de personas por su gran demanda siendo así portadora de múltiples trabajos de mano de obra, según la página oficial del Dane solamente en Colombia para el sector de la construcción se ha tenido un incremento del 17,3% del valor agregado de la construcción (Dane, 2021).

Uno de los mayores problemas que siempre se ha mantenido para la ingeniería a nivel tanto local como internacional ha sido el rendimiento, durabilidad, propiedades en sus materiales de construcción y el impacto ambiental de la extracción, elaboración y uso de los mismos, puesto que a lo largo de los años se ha logrado determinar que los materiales de construcción suelen presentar fallas tanto en sus propiedades (su durabilidad, biodeterioro por culpa de la porosidad y sus frecuentes formaciones de grietas a lo largo de toda su vida estructural) como lo es el caso del concreto que también su extracción de materia prima es una de las más contaminantes del mundo.



1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

Considerar las investigaciones realizadas a través de un análisis de los capítulos definidos a través de la monografía de como la implementación o el uso de microorganismos pueden impactar y favorecer en la elaboración o mejoramiento de propiedades (Físicas, Mecánicas, Químicas y Biológicas) de los materiales de construcción.

1.2.2 Específicos

- Investigar y conocer los distintos microorganismos usados en la implementación del biocemento para mejorar las propiedades del concreto.
- Interpretar y explicar los resultados basados en distintos artículos sobre el mejoramiento que han dado los microorganismos en los materiales de construcción.
- Estar al tanto de cuales materiales de construcción pueden ser impactados por los microorganismos y como estos pueden ayudar a mejorar su elaboración y contrarrestar la contaminación.
- Analizar los resultados expuestos por otros autores para identificar que tan positivo o negativo ha sido implementar el uso de dichos microorganismos en estos materiales.



2 RESUMEN

La mejora de la industria de la construcción y sobre todo sus materiales ha sido una de las variables que ha impulsado la ampliación de las investigaciones y análisis a nivel mundial, así como la utilización y consumo de recursos naturales de la tierra que afectado en gran nivel el medio ambiente .(Turner, 2015)

En cuanto al desarrollo de la construcción, la capacidad de los sistemas naturales se convierte en la actualidad en la presencia de nuevos materiales bio-motivados o bio-inspirados, que mezclan ciclos orgánicos y procesos biológicos de diseño ingenieril.

Por ello en el presente trabajo se dara a conocer que son los microorganismoss ,su papel a la hora de crear, conservar y/o modificar los materiales de contruccion.

Se hara una busqueda minunciosa de articulos, revistas, tesis, etc, em donde podamos analizar en que materiales los mircroorganismos pueden actuar o de forma parcial o de forma total en la mejora de sus propiedades.

Tras un análisis del estado de la biotecnología en cuanto a la construcción de nuevos materiales constructivos que la favorezcan, en este trabajo se examinarán los conocimientos actuales sobre el potencial de este campo en cuanto al uso de microorganismos en los materiales en la industria de la construccion y la implementacion de distintos biomateriales que pueden estar impactando vitalmente sus capacidades y propiedades, especialmete en el desarrollo de materiales y sistemas constructivos.

Para ello se estudiará el uso de microorganismos como bacterias, hongos y algas, en la mejora de propiedades de materiales convencionales como el concreto, el cemento, pavimentos



rígidos, ladrillos, aceros, agua y suelo, y también en la creación de nuevos materiales constructivos de características similares a los existentes pero con la ventaja de que sus procesos de producción son más sostenibles y en la incorporación de algunos de estos microorganismos dentro de nuevos sistemas constructivos.(Guadalupe et al., 2007)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



3 INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos cien años, la humanidad ha multiplicado por ocho su utilización de materiales de construcción, lo que implica que actualmente se consumen casi $60(10^{12})$ kg de materiales de forma constante (Rivera Serna, 2015). Los resultados de esta gigantesca utilización no sólo radican en el consumo dinámico de componentes no refinados, sino que además tienen como objetivo un importante efecto ambiental relacionado con las técnicas de extracción de estas materias primas no sostenibles.

Las industrias de la construcción representan prácticamente la mitad de la utilización absoluta de materias primas, siendo la acción monetaria más "destruccionista".

Esta información se considera significativa porque se supone que dentro de muy poco tiempo la población total aumentará en varios miles de millones de personas y, por lo tanto, el desarrollo de un nuevo marco será esencial, lo que ampliará la utilización de materias primas, así como la creación de residuos.

Posteriormente, la utilización de materiales de construcción y estrategias de desarrollo más razonables aborda un compromiso importante con la gestionabilidad de la industria constructora. Para ello, se debe pensar en los flujos de energía y materiales, satisfaciendo las necesidades de la sociedad con activos accesibles localmente y con menos material y energía. Una forma creativa de abordar esta cuestión es ver la capacidad de los marcos regulares como un activo para el desarrollo, lo que ha impulsado materiales e "innovaciones" completamente biodegradables que tienen un rendimiento extraordinario.



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

4 DESARROLLO

4.1 CONCEPTOS

4.1.1 ¿Qué son los microorganismos?

Se supone que están por todas partes, pero no podemos notarlos a simple vista. Existían incluso antes de que se desarrollara el medio ambiente de la Tierra, y hoy en día dependemos de los microorganismos para adquirir diferentes elementos útiles para la alimentación, los medicamentos y materiales que utilizamos en nuestro día a día.

Los microorganismos se organizan por sus formas, tamaños o propiedades y pueden ser beneficiosos o perjudiciales para otros seres vivos (De Los Ángeles et al., 2017)

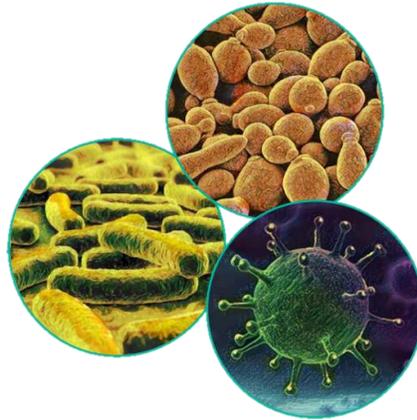


Ilustración 1. Microorganismos

Fuente: Adaptado de ¿Qué son los microorganismos? (M. De los Angeles & Contreras, 2017)

Flickr (<https://flic.kr/p/aronSf>).

Estas diminutas criaturas, tan pequeñas que es difícil notarlas a simple vista, se encuentran por todas partes. Fueron los primeros y, durante un tiempo, los principales tipos de vida en el

mundo hace bastante tiempo. Sin los microorganismos, la vida no sería imaginable hoy en día, ya que gracias a ellos se produjo parte del entorno de la Tierra.

4.1.2 Identificación de los microorganismos

A pesar de ser pequeños, entre los organismos hay una amplia gama de formas y tamaños que los separan unos de otros. Según (Smith et al., 2020) en este sentido, su identificación y ordenación reconocible se realizó en un principio en relación de variedad estructural y funcional. Hoy en día, la mayoría de los microbiólogos perciben tres áreas como el tipo de organización de estos seres vivos:

- 1) Bacterias, denominadas al principio “bacterias verdaderas” o eubacterias.



Ilustración 2. Bacterias

Fuente: "Bacterias". Autor: Equipo editorial, Etecé. De: Argentina, 2022.

Flickr: <https://concepto.de/bacterias/>.

- 2) Arqueas (Archaea o arqueobacterias), entre las que se incluyeron inicialmente bacterias que habitan en ambientes extremos.

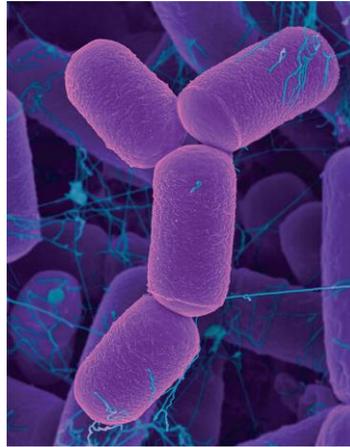
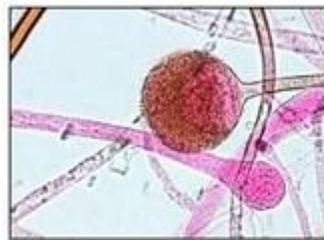


Ilustración 3. Arqueas

Fuente: Fuente: "Bacterias". Autor: Equipo editorial, Etecé. De: Argentina, 2022.

Flickr: <https://concepto.de/bacterias/>.

- 3) Eucariontes (Eucarya), dominio en el que se encuentran hongos, levaduras, algas y protozoarios.



Hongo (moho)



Alga unicelular

Ilustración 4. Eucariontes

Fuente: (De Los Ángeles et al., 2017) ¿Qué son los microorganismos?. Cuadernos de pedagogía, 224, 8-12.



No obstante, los viroides, los virus y los priones también se consideran habitualmente microorganismos. Hasta el momento, se contabilizan alrededor de 70.000 tipos de parásitos, 45.000 de microbios, 30.800 de protozoos y 1×10^{32} de infecciones; además, se anticipa que dependen de 2.000.000 de tipos de crecimientos, y entre 3.000.000 y diez millones de especies bacterianas que aún no han sido reconocidas. Las infecciones son la reunión más abundante, pero no podemos reconocer un enorme número de ellas (especialmente de los mares) a la luz de su increíble versatilidad y cambio constante. Los microorganismos tienen muchos elementos que los describen. (Weng Alemán et al., 2005)

Algunos tienen tiempos de proliferación extremadamente cortos; otros aguantan eficazmente desprendidos de otras células o en circunstancias poco amigables; otros pueden repetirse por división celular, lo que permite engendrar poblaciones hereditariamente indistinguibles o clonables. Algunos microorganismos son útiles, pero otros pueden ser especialmente destructivos para las personas, las plantas o las criaturas. Aquí examinaremos esas distinciones y semejanzas para intentar comprender más fácilmente qué son los microorganismos.

4.1.3 Clasificación de microorganismos

4.1.4 Bacterias

Las Bacterias son criaturas unicelulares que se sitúan en el grupo de los procariotas; esto implica que carecen de núcleo celular y de orgánulos, por ejemplo, mitocondrias, cloroplastos o el artilugio de Golgi, por lo que su material hereditario (ADN) se rastrea libre en el citoplasma.

Según (De Los Ángeles et al., 2017) las bacterias a pesar de su sencilla organización celular, presentan una gran diversidad de formas conocidas como filamentos, cocos, bacilos, vibrios y

espirilos. Las bacterias miden entre 0.5 y 5 μ de longitud; son tan pequeñas que es imposible verlas a simple vista, excepto cuando se agrupan en colonias como en la siguiente imagen.



Ilustración 5. Crecimiento de colonias de Actino bacterias en medio de cultivo.

Fuente: (Panawala, 2017)

Estos microorganismos cuentan con una pared que envuelve a la célula y le proporciona solidez y protección contra el ambiente externo. Está cubierta, es decir, la membrana junto con otras estructuras que rodean y protegen el citoplasma, no es una simple membrana. A diferencia de la gran mayoría de los organismos superiores, las bacterias tienen que enfrentar y soportar condiciones ambientales cambiantes e impredecibles, y en muchas ocasiones hostiles; para sobrevivir a esto, han desarrollado una sofisticada y compleja protección que a la vez permite de manera selectiva el tránsito de los nutrientes que se encuentran en el exterior y de los productos de desecho desde el interior. (Ribas Silva, 2010)

Según (Panawala, 2017) habla que las bacterias son estudiadas por la bacteriología, una rama de la microbiología y que según esta disciplina las ha clasificado de acuerdo a diversos criterios:

-Según su morfología: Bacilos, Cocos, Formas helicoidales.

-Según la composición de su pared celular: Bacterias gram positivas, Bacterias gram negativas.

-Según su nutrición: Bacterias fotoautótrofas, Bacterias quimioautótrofas, Bacterias fotoheterótrofas, Bacterias quimioheterótrofas. (Equipo editorial, 2021)

Estructura de las bacterias

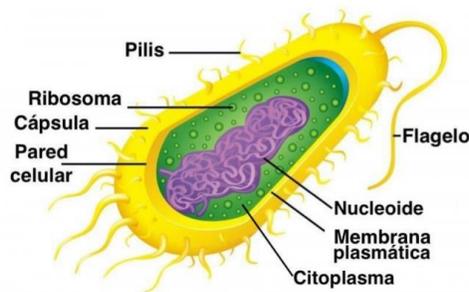


Ilustración 6. Estructura de la Bacteria

(Crispino, M., Mariani, E. y Toraldo, 2013)

Flickr: <https://concepto.de/bacterias/#ixzz7TTqaAvIf>

La estructura unicelular bacteriana suele ser bastante simple. Las bacterias están formadas por una única célula sin una membrana que delimita el núcleo celular y casi sin orgánulos definidos, pero con un nucleoide (región irregular donde se halla el ADN circular de los procariontes) y una pared celular de peptidoglicano que recubre la célula por fuera de la membrana plasmática. (Gavimath, C.C., Mali, B.M., Hooli, V.R., Mallpur, J.D., Patil, A.B., Gaddi, D., y Ravishankera, 2012)



4.1.5 Arqueas

Las arqueas son microorganismos unicelulares procariotas que, pese a ser similares a las bacterias, se separaron hace más de 3.500 millones de años. Son seres vivos unicelulares procariotas, lo que significa que sus células disponen orgánulos celulares ni de un núcleo delimitado en el citoplasma, por lo que el material genético “flota” libremente en él. (Van der Gulik & Hoff, 2017)

En este sentido, las bacterias y las arqueas son los dos dominios de procariotas. El otro dominio eucariota incluye a los animales, plantas, hongos, protozoos, los cuales, siendo tanto unicelulares como pluricelulares, están constituidos por células eucariotas, las cuales adquieren una complejidad mayor y permiten el desarrollo de formas de vida también más complejas.

Y el hecho de que sean unicelulares y con una estructura celular “sencilla” hace que durante mucho tiempo se pensara que arqueas y bacterias eran en realidad un único grupo denominado móneras. De hecho, ni se había introducido el término “arquea”. (Jayashantha, 2015)

Pero todo cambió cuando los estudios genéticos demostraron que, dentro de las móneras, había dos grupos claramente diferenciados que compartían muy pocos genes relativamente hablando (todos los seres vivos compartimos muchos), lo que demostró que estos dos grupos se habían separado de un antepasado común hace más de 3.500 millones de años.

Al llevar tantísimo tiempo separados, no podían, de ningún modo, pertenecer al mismo grupo. De ahí que en 1977 se hiciera una reestructuración de la clasificación de los seres vivos, dividiendo el reino de las móneras en dos: arqueas y bacterias. En este sentido, las arqueas proceden de un tiempo en el que la Tierra era un lugar inhóspito donde, entre muchas otras cosas,



no había oxígeno. Y, mientras que las bacterias fueron capaces de evolucionar y adaptarse a los cambios en el mundo, las arqueas, por decirlo de algún modo, se quedaron más rezagadas. (Brenner et al., 2005)



Ilustración 7. Arquea

Fuente: (Jayashantha, 2015)

Flickr: <https://concepto.de/aqueas/#ixzz7TTqaAvIf>

4.1.6 Hongos y Levaduras

Los microorganismos eucarióticos no sólo son más grandes y estructuralmente más complejos que los procariontes, sino que también tienen un origen evolutivo diferente. El dominio Eucarionte (Eukarya) está integrado por algas, hongos filamentosos y levaduras, hongos mucosos y protozoos.



Las algas se distinguen porque contienen clorofila y pueden realizar fotosíntesis oxigénica en sus cloroplastos. Pueden ser unicelulares o formar agregados; aunque la mayoría son microscópicas, algunas pueden llegar a crecer varios metros. (Madigan et al., 2009)

La mayoría de las diversas especies de algas son de color verde, pero unas pueden ser rojas o marrones por la presencia de carotenoides en sus membranas, como la micro alga *Dunalliella salina*. Las algas se encuentran en ambientes acuáticos o de alta humedad y pueden subsistir en ambientes altamente salinos o inclusive ácidos, con pH por debajo de 4 o 5. (Seeley et al., 1991)



Ilustración 8. Levadura Pigmentada

(Demain & Solomon, 2018)

Flickr: <https://unamglobal.unam.mx/estan-vivos-materiales-de-construccion-hechos-de-bacterias-que-se-auto-regeneran-y-reproducen/>

Por otra parte, los hongos se clasifican en unicelulares, como las levaduras del pan y la cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*), o pluricelulares, los cuales se caracterizan por formar cuerpos filamentosos, como los champiñones. Según su tipo de hábitat también pueden ser saprófitos, que



se alimentan de sustancias en descomposición; parásitos, que se alimentan de los líquidos internos de otros seres vivos; o simbioses, que se asocian a otros organismos con beneficios mutuos. Este último es el caso de los líquenes, formados por la simbiosis de un hongo (micobionte) y un alga (ficobionte); el hongo proporciona al alga agua y sales minerales, mientras que el alga suministra al hongo los hidratos de carbono elaborados por ella mediante la fotosíntesis. (Covacevich et al., 2012)

5 EL PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS EN LA CREACIÓN Y LA CONSERVACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

5.1 ¿Pueden los microorganismos impactar y empezar a crear nuevos materiales de construcción?

El deterioro de los materiales de construcción comienza cuando se extrae la piedra caliza de una cantera hasta ser procesada y llegar a ser una mezcla de concreto en una estructura. También se debe a factores naturales normales como el sol, la nieve, el viento, el aguacero, etc., que se suman a la desintegración progresiva de los materiales en partículas más modestas y, por último, en los minerales que los componen. En cualquier caso, el movimiento microbiano puede afectar significativamente a las propiedades de los materiales de construcción, y es aplicable comprender esta acción para elegir adecuadamente las técnicas de control y tratamiento para el mantenimiento y la reconstrucción de estructuras. (C. Saiz-Jimenez, 2019) (Ribas Silva, 2010).

El cemento, los metales, ladrillos, pavimentos, etc., son materiales utilizados en general para el desarrollo de todo el proceso constructivo, desde estructuras hasta organizaciones de apropiación de servicios públicos. Estos materiales son impotentes a los procesos de consumo, y



los gastos relacionados con su mantenimiento y sustitución suman miles de millones al año. Una gran parte de los daños se debe al movimiento de microorganismos, lo que se denomina biodeterioro y puede incluir la presencia de una o varias variedades de microbianos. Normalmente es la conexión de los factores ecológicos y orgánicos lo que impulsa el kilometraje de los diseños. Los microorganismos se suman al ciclo aportando elementos procedentes de su acción metabólica, como los ácidos, o desencadenando respuestas redox a través de la presencia de biopelículas, que cambian los estados de los compuestos del microambiente vecino a la capa exterior del material.

Pero como hay microorganismos que a pesar de ser un problema constituyente para la ingeniería, existen algunos casos en los cuales éstos pueden llegar a representar soluciones, al prevenir o corregir el deterioro de los materiales de construcción, como ocurre en la biomineralización, que ayuda a disminuir la permeabilidad y corrosión del concreto logrando una mejoría importante de sus propiedades. (Department US Transportation Federal Highway Administration, 2013)

5.2 Utilización de microorganismos en la conservación de edificios y materiales de construcción.

5.2.1 Biomineralización, precipitación de carbonato de calcio

La biomineralización es el proceso mediante el cual los microorganismos secretan productos metabólicos que reaccionan con iones o compuestos del ambiente, con la subsecuente deposición de partículas minerales como el carbonato de calcio (CaCO_3), el cual termina por unirse al sustrato (Richard et al., 2003). Existen tres formas cristalinas de CaCO_3 : la veterita que es la menos estable termodinámicamente, la aragonita y la calcita, siendo esta última la más estable y por ende la más deseable para las aplicaciones de la biomineralización. (Shanmukhaprasad et al., 2014)



Los microorganismos involucrados en la precipitación de carbonato de calcio se pueden clasificar en tres grupos principales. En primer lugar, microorganismos como las cianobacterias y las micro algas, mediante el proceso de fotosíntesis, remueven el CO_2 de la capa de agua adyacente a la célula, lo que inducen una variación química en el microambiente por el aumentando el pH. Esto ocasionando un desequilibrio del ácido carbónico, llevando a la producción de carbonato de calcio en presencia de iones calcio.

En segundo lugar, están las bacterias reductoras de sulfato, que son importantes en la mineralización de materia orgánica en condiciones de anaerobiosis. Finalmente, se encuentran las bacterias involucradas en el ciclo del nitrógeno, las cuales son capaces de hidrolizar la urea $CO(NH_2)_2$, a amoníaco (NH_3) y a ácido carbónico (H_2CO_3), los cuales se equilibran en agua para formar bicarbonato (HCO_3^-), amonio (NH_4^+) y un ion hidróxido (OH^-). En esta etapa que se produce un aumento del pH que conlleva un desplazamiento del equilibrio del bicarbonato, dando como resultado la formación de iones de carbonato (CO_3^{2-}) y de iones de calcio (Ca^{2+}) (Hammes et al., 2016). Finalmente el carbonato se precipita como carbonato de calcio ($CaCO_3$) en forma de cristales de calcita, aragonita o veterita.

5.2.2 Usos de la biomineralización (Hormigón)

El hormigón es quizás el material de desarrollo más utilizado en todo el mundo, por lo que la investigación orientada a trabajar sus propiedades y la existencia útil de diseños es una de las extraordinarias dificultades a las que se enfrenta el diseño en la actualidad (Afroughsabet, Vahid Ozbakkaloglu, 2015). La biocementación, o mineralización provocada por microorganismos, se ha concentrado en los últimos tiempos como una opción práctica para trabajar en las propiedades del cemento y para la biorremediación de estructuras antiguas.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



5.2.3 Biomineralización y propiedades fisicoquímicas del hormigón

Se han utilizado diversas estrategias y aditivos para trabajar en las propiedades fisicoquímicas del cemento y, en consecuencia, lograr una vida útil más prolongada de las obras metropolitanas. Una parte de estas opciones incorpora emulsiones plásticas, goma epoxi y tratamiento de la superficie con antiagregantes de agua, por ejemplo, antiagregantes de agua de sílice, por ejemplo, silanos y siloxanos. No obstante, estas opciones tienen varios límites que han frustrado y obstaculizado su aplicación a nivel moderno. Entre estos impedimentos se incluyen la contrariedad de la etapa, la construcción subatómica insegura, los gastos significativos y la emanación de gases nocivos. gastos significativos y la emanación de gases nocivos (Navneet Chahal, Rafat Siddique, 2012). Por lo tanto, la mineralización provocada por microorganismos se considera como una de las metodologías más inteligentes, ya que su utilización mejora varias propiedades principales del hormigón, algunas de las cuales se describen a continuación.

5.2.4 Resistencia a la compresión

Varios exámenes se han centrado en comprender el impacto que la unión de microorganismos en combinaciones sustanciales tiene en la resistencia a la compresión del resultado final. Una revisión dirigida por Abo-El-Enein y colaboradores en 2012, demostró que había una expansión en la resistencia a la compresión de hasta un 33% en un mortero preparado con una proporción de arena-hormigón de 3:1, al que se añadió un cultivo de *Sporosarcina pasteurii* (Abo-El-Enein et al., 2013). Por la misma época, Navneet Chahal y sus colaboradores utilizaron un microorganismo similar en combinaciones sustanciales que contenían varias centralizaciones de cenizas volantes como aditivo y lograron una mejora de la resistencia a la compresión de hasta el 22% (Navneet Chahal, Rafat Siddique, 2012).



La expansión de la resistencia a la compresión se debe a la precipitación de carbonato de calcio durante el desarrollo celular, predominantemente como piedras preciosas de calcita, que llenan los poros de la red sustancial. Cuando la porosidad del material haya disminuido, se detendrá la progresión de los suplementos y el oxígeno a las células, lo que provocará su paso o la disposición de endosporas, que se desplazarán como filamentos naturales que aumentan la resistencia del material (Abo-El-Enein et al., 2013).

5.2.5 Porosidad

Uno de los principales impulsores del desmoronamiento ecológico del cemento es la entrada de cloruros, que desencadena el consumo de las fortificaciones de acero y la consiguiente disminución de la resistencia de los diseños, lo que provoca arreglos inoportunos o la sustitución de las estructuras (Abo-El-Enein et al., 2013). Un método para evitarlo es utilizar cemento generalmente impermeable, para lo cual debe lograrse una disminución de la porosidad.

Diversos estudios han demostrado que al utilizar microbios aptos para acelerar los minerales en mezclas sustanciales, la penetrabilidad disminuye por completo, debido a la declaración de $CaCO_3$, que disminuye la porosidad del material (Navneet Chahal, Rafat Siddique, 2012).

6 ¿CÓMO Y EN QUE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PODEMOS IMPLEMENTAR LOS MICROORGANISMOS?

6.1 En el Concreto: Elaboración de mezclas de Concreto con propiedades autorreparadoras a base de microorganismos

En el campo de la industria de la construcción, hay muchas obras en general en las que se utiliza el concreto como componente primario en la composición de las estructuras, sin embargo,

puede romperse a causa de varios elementos, las grietas que se producen en el concreto al principio tienen un tamaño vago a simple vista, y cuando se identifican, el tamaño ampliado requiere apoyo externo no necesariamente en todos los casos asegura la eliminación de los problemas que crean. Posteriormente, nos preguntamos: ¿Cómo obtener una respuesta sin el requisito de la intervenir externamente?

Algunas investigaciones se centraron en la mejora de una mezcla de concreto que tenga capacidades de autorreparación, a través de microorganismos bacterianos que van como agentes de sellamiento.

Por ello, se consideró la bacteria *Bacillus Cereus* en vista de que se rastrearon los beneficios que le dan mayor idoneidad al ciclo. A esta bacteria se le añadieron suplementos en su etapa de vida para favorecer su desarrollo y su capacidad de descargar carbonato de calcio, que es el compuesto que tiene capacidad de fijación.



Ilustración 9. Hormigón Autorreparable

Tomado de : Análisis del comportamiento de fisuras en hormigón autorreparable
biomineralizado de *Bacillus Cereus* (Lemke, 2019)



Diversos autores mencionan que las familias de *Bacillus Pasteurii* y *Bacillus Sphaericus* son los microorganismos que comúnmente se utilizan para el diseño de concreto autorreparable (Talaiekhazan, 2014), la bacteria *B. Pasteurii* posee la capacidad de segregar carbonato de calcio fuera de la célula y perdurar en el medio ambiente por un tiempo más prolongado de lo común en otros microorganismos (Patil, 2008), se ha utilizado poliuretano para su encapsulamiento y la precipitación de calcita, por su parte, la bacteria *B. Sphaericus* tiene la habilidad de precipitar cristalinamente carbonato de calcio y potencializar la recuperación de las grietas, además cuenta con una ureasa con la capacidad de catalizar la hidrólisis de la urea, permitiendo así una mayor precipitación de carbonato de calcio (Tittelboom, 2010).

Diversos artículos de la literatura han reportado prototipos de concreto autorreparable con adición de la bacteria ***Bacillus Cereus***, ya que se hallaron características más favorables como el mejoramiento de las propiedades mecánicas del hormigón, la facilidad de sus células para segregar calcita y disminuir el tamaño de las grietas (Alshalif, 2019).

La bacteria se debe incorporar a la mezcla de concreto impregnada en un árido liviano, el cual sirve para protegerla del mezclado energéticamente alto y del pH alcalino que se encuentra en la mezcla de concreto, garantizando que sobreviva y cumpla con las funciones para las cuales se ha incorporado (Tziviloglou, 2015).

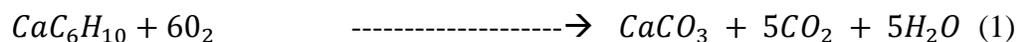


Proceso de autorreparación

Cuando aparecen grietas en el hormigón, este queda expuesto al aire, la humedad o a la penetración de agua. De esta manera se origina una reacción química que produce calcita y por consecuencia el sellado de las grietas.

La bacteria se debe incorporar a la mezcla de concreto impregnada en un árido liviano, el cual sirve para protegerla del mezclado energéticamente alto y del pH alcalino que se encuentra en la mezcla de concreto, garantizando que sobreviva y cumpla con las funciones para las cuales se ha incorporado (Zhang, 2017).

Varios investigadores evaluaron diferentes técnicas para la encapsulación de las esporas bacterianas, otros estudios han dado a conocer áridos livianos o polímeros funcionales como posibles materiales para encapsulamiento como: tierra de diatomeas, hidrogel, gel de sílice o poliuretano, arcilla expandida, esta última fue la utilizada en la presente investigación, debido que se demostró mejora en la resistencia del concreto hasta un 12%. Además, a las bacterias se le adicionan aditivos que ayudan a su reproducción y crecimiento continuo, garantizando una larga vida útil, como el caldo nutritivo y el extracto de levadura. Para el proceso de autorrecuperación la fuente de calcio en su alimento es uno de los componentes más importantes para la bacteria, en vista que, al activarse la bacteria actuará como un precipitador de carbonato de calcio (CaCO_3), compuesto que se encargará de reparar parcial o completamente las grietas encontradas en el material. La reacción química que se produce en la bacteria puede describirse en la ecuación (1), la cual también se puede expresar en la ecuación (2).



Lactato de Calcio + Oxígeno -----> Carbonato de calcio + Dióxido de Carbono + Agua (2)

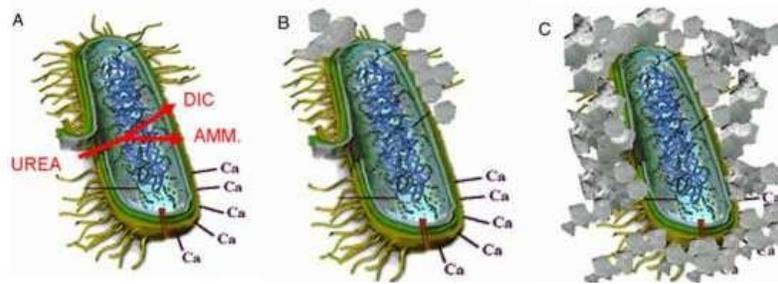


Ilustración 10. Representación simplificada del proceso de precipitación de carbonato cálcico.

Tomado de : Análisis del comportamiento de fisuras en hormigón autorreparable

biomineralizado de *Bacillus Cereus* (Lemke, 2019)



Ilustración 11: Aparición de grietas en el hormigón autorreparable y actuación de precipitación de calcita llevada a cabo por las bacterias

Tomado de : Análisis del comportamiento de fisuras en hormigón autorreparable

biomineralizado de *Bacillus Cereus* (Lemke, 2019)

6.2 Cemento: Bacterias productoras de Biocemento

Los materiales de construcción, por ejemplo, los mármoles, las dolomitas o las calizas, dependen de un aguantante constante, con una desintegración lenta de la red mineral, un aumento de la porosidad y una disminución de las propiedades mecánicas de la piedra. El resultado es el



debilitamiento constante del legado ingenieril y escultórico del mundo, lo que representa un problema importante que es difícil de abordar.

Algunas de las acciones empleadas para evitar el deterioro consisten en aplicar repelentes de agua o bien consolidantes artificiales de naturaleza inorgánica. Sin embargo, ambos métodos son objeto de controversia por su acción no reversible y su rendimiento limitado a largo plazo. Por otra parte, los tratamientos orgánicos (como las resinas epoxi o los alcoxisilanos) se aplican directamente sobre la roca y contribuyen a la contaminación ambiental; además, a menudo conllevan efectos indeseables, al favorecer la aparición de películas nocivas para la piedra. Algunos investigadores abogan por tratamientos inorgánicos con soluciones saturadas de hidróxido de calcio, aunque hasta el momento no han tenido éxito, debido principalmente a que tienden a crear costras superficiales y duras o presentan una escasa penetración. (Flores Félix & González, 2015)

Microbios que fabrican materiales

Por fortuna, en tiempo reciente se ha desarrollado una alternativa que consiste en aplicar bacterias que inducen la precipitación de carbonato. Esta estrategia resulta muy prometedora, ya que se ha comprobado que las bacterias no solo colonizan la superficie de la piedra, sino que también se adentran en ella, ocupan sus poros y forman precipitados de carbonato consistentes. Se obtiene un biocemento eficaz y muy coherente que tiene la capacidad de consolidar un amplio espectro de materiales. La ventaja de este tratamiento es que se crea un producto muy similar al de la piedra tratada, ya que imita el proceso natural de formación de la piedra calcárea. Nuestro grupo dedica una parte de sus investigaciones a la caracterización y aplicación de nuevas bacterias precipitadoras de carbonato cálcico que podrían emplearse en la biorrestauración.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Las bacterias calcificadoras están demostrando un enorme potencial biotecnológico. Además de ser económicamente más rentables, presentan un menor impacto porque reducen el gasto energético y minimizan la utilización de sustancias contaminantes, con lo que pueden aplicarse en campos de la ingeniería civil e industrial y de la biorrestauración.

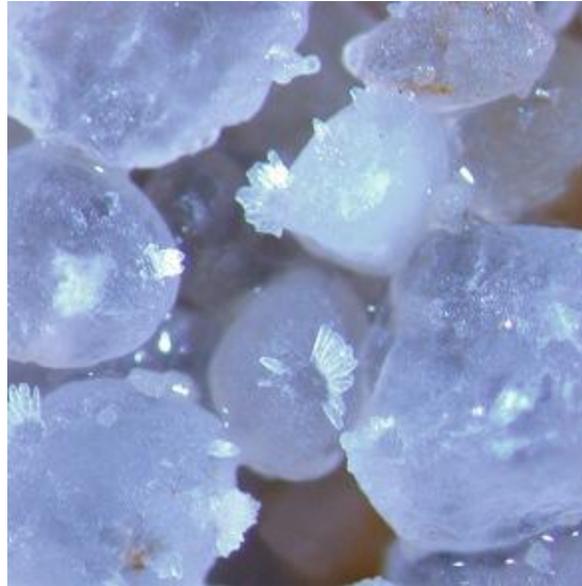


Ilustración 12: La calcita que producen las bacterias biocalcificadoras cristaliza sobre los clastos (partículas minerales) silíceos. El proceso compacta el material y mejora su resistencia frente a agresiones ambientales.

Tomada de: Bacterias productoras de Biocemento (Flores Félix & González, 2015)

6.3 Pavimentos rígidos: Uso de microorganismos eficientes en la fabricación de pavimentos rígidos.

La industria del hormigón, debe adoptar prácticas sustentables en el diseño, construcción y mantenimiento de la infraestructura vial.



Pavimentación sustentable

Lograr las metas de ingeniería para el que fueron construidos, Preservar y restaurar los ecosistemas circundantes, Utilizar los recursos eficientemente, Satisfacer las necesidades humanas básicas como la salud, la seguridad, la equidad, el empleo, la comodidad y la felicidad

¿Qué esperamos de un “buen” pavimento?

- Seguro
- Durable
- Económico
- Con altos estándares de calidad
- Confortable

Los pavimentos ecológicos se pueden definir como secciones compuestas de varias capas de materiales de construcción que permiten el paso del agua a través suyo, desde la superficie hasta la explanada, y en conjunto ofrecen la capacidad portante necesaria para resistir un tráfico determinado. El pavimento está compuesto por tres partes principalmente la superficie de rodadura que puede ser concreto ecológico (concreto permeable y autorreparable), concreto asfáltico y adoquines en todos los casos permeables el espesor de la superficie de rodadura está entre 10cm a 20cm. Para el concreto ecológico, debajo de la superficie de rodadura sigue la base granular que varía de 60cm a 90cm de espesor que puede ser utilizado como reservorio del agua que se infiltra y finalmente un geo sintético que dependerá si queremos infiltrar el agua al suelo (filtro de tela o geomalla) o almacenar el agua (geomembrana). (Calderon & Charca, 2011)



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Los pavimentos rígidos ecológicos consisten en un pavimento continuo de concreto permeable, en la que la carpeta de rodadura contiene poca arena, lo cual otorga mayor permeabilidad y que además la subbase granular es de mayor espesor a la de un pavimento rígido convencional. El principal efecto corresponde a la disminución del caudal máximo y volumen de escorrentía, para lograrlo los pavimentos ecológicos pueden emplearse en carreteras de bajo y alto volumen de tránsito, calles, ciclovías, estacionamientos, veredas, senderos de áreas verdes.(Cedex, 2011)

6.4 Mezcla de asfalto reforzada con algas.

El aglutinante de asfalto es un material altamente viscoso, producido a partir de residuos de petróleo. Comúnmente, este material adhesivo se utiliza como aglomerante, agregado en las mezclas asfálticas utilizadas para pavimentación. Desafortunadamente estas mezclas han mostrado algunas imperfecciones en su comportamiento estructural, de manera que éste puede ser insuficiente para resistir las tensiones a las que se pueda ver sometido. Como posible alternativa, se ha estudiado la adición de polímeros a estas mezclas de asfalto, mejorando sus características técnicas (Pacheco-Torgal, F. Labrincha, 2014). Pero los aditivos más estudiados han sido las fibras, como, por ejemplo, las fibras de celulosa, la fibra mineral... por sus excelentes efectos en la mejora de la susceptibilidad a la humedad, las mejores propiedades ante la fisuración a baja

temperatura o la mayor durabilidad o viscosidad, entre otros. Sin embargo, las fibras estándar son demasiado caras y aumentan el coste final de la mezcla de asfalto (Park et al., 2012).

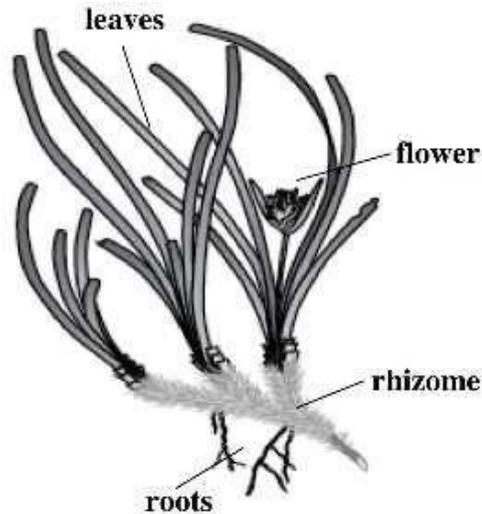


Ilustración 13: Posidonia oceánica

Tomado de : Posidonia oceanica used as a new natural fibre to enhance the performance of asphalt mixtures(Real Herráiz et al., 2012)

En la actualidad, la preocupación por el medio ambiente, ha llevado a los investigadores a explorar nuevos materiales procedentes de desechos industriales, agrícolas o urbanos para reutilizarlos en ingeniería y aplicaciones industriales. Estas intenciones tienen como objetivo reducir los residuos en vertederos y, además, reducir los costos finales de algunos productos de ingeniería. Por lo que se busca una nueva mezcla de asfalto con alto rendimiento de ingeniería que sea sostenible. Para ello, se selecciona el asfalto de masilla de piedra (SMA) y se añaden fibras procedentes de materiales residuales para mejorar sus características mecánicas.(Real Herráiz et al., 2012)



El tipo de mezcla SMA se elige debido a su esqueleto de piedra sobre piedra, que le proporciona una alta resistencia a la deformación plástica, buen rendimiento a bajas temperaturas y una durabilidad mejorada. En estas mezclas, se necesita una cantidad de betún más alta, para obtener todas estas características mecánicas mejoradas. De esta manera, se añaden fibras para evitar el drenaje del betún. Las fibras seleccionadas proceden de un tipo de alga denominado Posidonia oceánica.(Rincón et al., 2007)

Para cuantificar los efectos de esta adicción, se ha estudiado, por un lado, el rendimiento de esta fibra y se ha comparado con las fibras estandarizadas utilizadas hoy en día (fibra de celulosa) y con otras fibras de desechos (fibra de poliéster y cáñamo).



Ilustración 14: Mezcla de asfalto con Posidonia oceánica

Tomado de : Posidonia oceanica used as a new natural fibre to enhance the performance of asphalt mixtures(Real Herráiz et al., 2012)

El procedimiento experimental seguido en esta investigación se dividió básicamente en dos partes. En la primera parte se realizaron diferentes ensayos no estándar para caracterizar las propiedades útiles (absorción de agua, termo estabilidad y absorción de aglutinante) de las fibras estudiadas. En la segunda parte, se realizaron el ensayo Marshall y la prueba de drenaje de



aglutinante para estudiar la cantidad óptima de aglutinante. Además, la capacidad de carga se estudió mediante la prueba de rigidez y la prueba de sensibilidad al agua. Se llevaron a cabo ensayos de seguimiento de ruedas y de rigidez para estudiar la reducción de la deformación plástica. De este modo, se obtienen valores de referencia del rendimiento de las mezclas de SMA con celulosa para después comprobar y evaluar el rendimiento de la SMA con fibras procedentes de Posidonia oceánica. (Real Herráiz et al., 2012)

6.5 Aditivos: Aplicación de la tecnología ME (Microorganismos eficientes) en la construcción y aditivos plastificantes y superplastificantes

Los aditivos plastificantes y superplastificantes tienen actualmente altos precios en el mercado nacional ya que la gran mayoría de los mismos son importados parcial o totalmente debido a esto se hace necesario la producción de un aditivo nacional con precios más competitivos y que no necesiten la importación de materia prima. Una investigación hecha por (DAMARIS GÓMEZ MARGOLLES, 2011) habla de una posible sustitución del B2R9, aditivo súper plastificante de alto rango y además un policarboxilato de última generación por la adición de microorganismos eficientes producido a partir de bacterias fotosintéticas y productoras de ácido láctico, levaduras, actinomicetos y hongos fermentadores. Para ello se realizaron nueve ensayos de hormigón aditivado con estos microorganismos variando los por cientos de adición entre 4 y 6 % para contenidos de cemento entre 350 y 450 Kg. Además se realizó una mezcla patrón para cada contenido de cemento sin adición y con la adición del B2R9 al 1 %, luego se compararon las mezclas de lo cual se pudo conocer que el aditivo evaluado aunque no llega a la efectividad del policarboxilato reduce alrededor de un 16 % de agua y produce un incremento aproximado del 12 % de la resistencia en comparación con la que no fue aditivado. Para ello realizó una



caracterización de los materiales, ensayo de consistencia, resistencia a compresión y porosidad efectiva.

La introducción de los ME al campo de la construcción, es producto de la aplicación de la biotecnología al campo de los materiales de construcción. Se han encontrado recientes ejemplos de la utilización de microorganismos como una alternativa de solución al problema que existe en el ámbito mundial en los costos y el manejo estructural de los materiales. (Jonkers, 2007, Leeman, 2011, Ozlem, 2010)

En algunos países se ha estudiado la aplicación de ME en mezclas de hormigón. Los resultados obtenidos revelan que son capaces de cambiar algunas propiedades del mismo:

- Aumentan la resistencia a compresión después de 3 y 7 días, en comparación con los hormigones ordinarios.
- Reduce el efecto de carbonatación en el hormigón y forma un ambiente neutro dentro del hormigón.
- Mejoran la resistencia de morteros de cemento, resultando que con una concentración determinada de microorganismos anaerobios se podría aumentar la resistencia a compresión.
- Contribuyen al aumento de la tensión superficial.

Los microorganismos eficientes son una de las tecnologías microbianas más populares que están usando mundialmente y sus productos han sido puestos en venta desde 1983 en Japón. Las aplicaciones de ME son utilizados en los cultivos, ganados, la limpieza a fondo ambiental (canales navegables contaminados, lagos y lagunas), e industrias de salud. Los ME son producidos en más



de 40 países en todos los continentes. La tecnología es por lo tanto, segura, eficaz y con respecto al medio ambiente amigable, y es asequible para los agricultores en países tanto desarrollados como en vías de desarrollo. Sobre esta base, la tecnología es usada o investigada en países extendidos desde Estados Unidos, Austria, India y Zimbabwe. (Yatim, 2001)

En la búsqueda de soluciones al deterioro de las estructuras de hormigón en Japón (Higa, 1995) se lleva a cabo una investigación y se desarrolló un hormigón con microorganismos eficientes. Estos autores encontraron que la trabajabilidad del hormigón fresco se mejoró y la resistencia inicial se incrementó, entre otras propiedades que se mejoraron. Estos resultados condujeron al uso del producto EM1® en la industria de la construcción donde la durabilidad de las construcciones se incrementaron y los daños causados por adhesivos y solventes orgánicos se redujeron.

El uso de microorganismos en la industria de la construcción no solo incluye a los microorganismos eficientes (mezclas de microorganismos) sino también a especies seleccionadas por mejorar algunas de las propiedades del hormigón. Por ejemplo: remediación del hormigón con la adición de microorganismos (Ramachandran, 2001), uso de microorganismos para mejorar la resistencia de morteros (Ghosh P., 2009).

6.6 Ladrillos: Ladrillos duraderos utilizando bacterias, biomasa, agregados, nutrientes, minerales

La empresa start up bioMASON produce ladrillos duraderos comparables en resistencia a los ladrillos tradicionales, utilizando bacterias, biomasa, agregados, nutrientes, minerales produciendo un biocemento natural. Este nuevo biocemento y la empresa bioMASON han sido



creados en 2012 por Ginger Krieg Dosier en Carolina del Norte (Estados Unidos) (Dosier et al., 2012)

El proceso innovador para producir estos ladrillos surgió del estudio de la estructura del coral, un material cementoso creado por la naturaleza en temperatura ambiente del mar y con bajos insumos de energía y materiales. El ladrillo bioMASON es un ejemplo de un producto alcanzado siguiendo las metodologías de la biocinética que encuentran soluciones ecológicas a las necesidades humanas mediante la emulación de procesos naturales. El nuevo proceso es una alternativa a la fabricación tradicional de ladrillo de arcilla, responsable de las emisiones de importantes cantidades de CO₂. La fabricación de cemento es una de las industrias más contaminantes. Tanto la fabricación de hormigón como la de arcilla adoptan procesos con uso intensivo en energía para la extracción de materias primas, el transporte, además del combustible utilizado en los hornos. Se calcula que cada año se fabrican 1,23 billones de ladrillos, generando aproximadamente 800 millones de toneladas de emisiones de carbono, debido a los combustibles fósiles requeridos en el proceso de cocción.

El proceso innovador de bioMASON para crear ladrillos que son lo suficientemente fuertes para su uso en todas las aplicaciones comerciales corrientes, es una mejor solución para reducir las emisiones de CO₂ generadas por la industria de construcciones. BioMASON emplea bacterias para hacer crecer un cemento duradero a temperatura ambiente, produciendo materiales de construcción sin emitir gases de efecto invernadero, y sin agotar recursos no renovables. Los nutrientes y mineral es requeridos son recursos renovables en todo el mundo y también pueden extraerse de los desechos industriales, volviendo aún más ecológicamente beneficioso este volviendo aún más ecológicamente beneficioso este proceso. (Dosier et al., 2012)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Ilustración 15: Ladrillos a base de microorganismos marinos

Tomado de: Producción de un biocemento natural utilizando bacterias en los Estados Unidos

(Dosier et al., 2012)

6.7 Aceros: Mortero Modificado con microorganismos marinos para evitar la corrosión de los aceros.

Los diferentes tipos de metales se han utilizado en el diseño y el diseño como una pieza vital de los diseños o como un suplemento para trabajar en ciertas propiedades, incluyendo estructuras o como complemento para trabajar ciertas propiedades, como la resistencia y la solidez. Los metales también pueden utilizarse para el desarrollo de redes de distribución de servicios públicos como el gas, el alcantarillado y el agua potable, o simplemente para enriquecer o completar entradas y ventanas (Institute of New York, 2008).



Sin embargo, muchas estructuras de hormigón armado están expuestas al medio ambiente marino, uno de los ambientes de corrosión más agresivos, haciendo que muestren signos tempranos de deterioro. La corrosión de las armaduras, es una de las causas más comunes de deterioro en las estructuras, lo que lleva a altos costos de mantenimiento y reparación. Entre todos los factores erosivos, se ha identificado el ataque con Cl⁻ como el principal factor que acorta la vida útil de estas estructuras. Causa la corrosión del acero, traduciéndose en un incremento de volumen que da lugar a grietas, des laminación y desprendimiento del recubrimiento de hormigón. La resistencia a la tracción y la seguridad de la estructura también se reducen.(Konhauser, 2009)

Cualquier superficie sumergida en agua de mar es rápidamente colonizada por microorganismos marinos y estos microorganismos forman bio-films. Los biofilms son agregados bacterianos tridimensionales agrupados en matriz auto producida de sustancias poliméricas extracelulares hidratadas (EPS). Los hongos y las bacterias presentes en los biofilms segregan ácidos orgánicos durante su metabolismo, estos ácidos orgánicos corroen la capa superficial del hormigón al que están unidos (Flemming & Wingender, 2010).

Las bacterias seleccionadas fueron *Pseudoalteromonas* y *Paracoccus marcusii*. (Martin, 2017) Estas cepas de bacterias se tomaron del biofilm existente en la superficie del hormigón expuesto a una zona de mareas. Para evaluar los efectos de las bacterias en el hormigón, se estudió la permeabilidad iónica y la microestructura de las muestras de mortero, sumergidas en diferentes soluciones. De esta manera, a través los resultados obtenidos, se puede deducir que las bacterias son capaces de reducir la permeabilidad del hormigón, impidiendo así el ataque de sustancias nocivas como el cloro o el magnesio, mejorando así las propiedades mecánicas del hormigón, así



como, alargando su vida útil, ya que es más complicado que estas sustancias corrosivas lleguen a estar en contacto con las armaduras

6.8 Agua y Suelo

6.8.1 Estabilización de suelo con bacterias

La biomineralización busca aprovechar la biodiversidad presente, en este caso en el suelo, para mejorar sus propiedades, por medio de la acción bacteriana. El uso de la biomineralización para aumentar la resistencia y rigidez de las arenas y gravas no consolidadas interesa a la industria de la construcción con fines geotécnicos y de mampostería. (Demain & Solomon, 2018)

Este proceso permite la reducción de los agentes estabilizadores tradicionales como el cemento Portland y la cal, lo que se puede relacionar con la reducción de los niveles de emisiones de CO₂. También sustituye el uso de productos químicos tóxicos y peligrosos, que pueden ser responsables de la intoxicación de las personas a través del agua. En términos generales, los resultados presentados muestran que la aplicación de la técnica de biomineralización en campo, proporcionó mejoría en las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estado natural y compactado. Resultados positivos en cuanto a la reducción de la permeabilidad, de la colapsabilidad, de la deformabilidad y de la erodibilidad y el aumento de las resistencias a la compresión simple y de corte. (Seleem et al., 2010)

6.8.2 Metabolismo microbiano para la descontaminación de aguas

Los microorganismos son una fuente importante de energía biológica por su diversidad metabólica. Para la descontaminación de aguas es posible crear bioreactores y biodigestores empleando microorganismos aerobios y anaerobios.



También se han desarrollado tecnologías para emplear microorganismos fotosintéticos para la construcción de fotobioreactores, muy útiles para eliminar nutrientes en exceso de las aguas eutrofizadas. En la actualidad, también se han desarrollado mucho las tecnologías de bioremediación, que no precisan de la construcción de costosa infraestructura y tienen un impacto ambiental secundario mínimo (Fontúrbel, R. & Ibañez, N, 2007)

Según Fontúrbel, R. & Ibañez, N los primeros diseños de procesos y plantas de tratamiento, pioneros en la descontaminación de aguas, se basaban en el empleo secuencial de métodos físicos y químicos, por medio de los que se conseguía remover gran parte de los contaminantes de aguas contaminadas, como ser aguas servidas, aguas eutrofizadas o aguas receptoras de desechos industriales, relaves, etc... Estas tecnologías de descontaminación fisicoquímica son costosas y requieren de infraestructura especial para realizarse, que muchas veces no es factible de construirse por la elevada inversión necesaria.

La energía metabólica de los microorganismos es una fuente prácticamente inagotable, ya que éstos, por medio de su amplia diversidad metabólica, son capaces de utilizar cualquier sustrato como fuente de energía. Esta energía metabólica microbiana puede ser utilizada para la descontaminación de aguas de muchas formas, y de forma secundaria, para la producción de energía por medio de la emisión de gas metano (aunque no es una fuente significativa del gas).(Achá, 2011)

Los reactores biológicos se han constituido en una buena opción frente a los reactores fisicoquímicos clásicos, y las innovaciones en este campo han llevado a construir reactores basados en organismos fotosintéticos para ayudar al difícil proceso de la recuperación de lagos eutrofizados.





La bioremediación también se perfila como la opción ambientalmente más amigable del siglo XXI, para dar una respuesta efectiva a los problemas de contaminación, ya que estimulando las cepas nativas o introduciendo cepas genéticamente modificadas, es posible eliminar contaminantes en lapsos de tiempo mucho menores que los que tomarían los procesos naturales, sin necesidad de infraestructura de ningún tipo y con un impacto ambiental colateral casi nulo.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



7 ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

La minuciosa etapa de recopilación y clasificación de información se basó en la consulta de revistas y artículos relacionados con la construcción y los materiales constructivos, analizando detalladamente aquellos artículos relacionados con los materiales modificados y elaborados con microorganismos. Y fruto de esta información recopilada de documentos ha sido posible producir material propio de análisis y clasificación, también se podría constituir, en un futuro, un área de producción que permitirá cambios radicales en la industria de la construcción. Para ello se debe continuar y aumentar las investigaciones ya que la documentación existente sobre la materia, en algunos casos es reducida.

Se puede concluir por criterio de clasificación según el comportamiento y presencia de los microorganismos dentro de los materiales y sistemas constructivos convencionales, tres grandes categorías:

1. Materiales modificados parcialmente con microorganismos vivos.
 2. Creación de materiales a base de microorganismos vivos.
 3. Sistemas constructivos y conservación de materiales con microorganismos vivos.
- La innovación de este nuevo material, supondrá una disminución en la demanda de materiales como el acero, ya que este sistema, no necesita de estructura adicional para el crecimiento de los organismos.
 - En términos generales, los resultados presentados muestran que la aplicación de la técnica de biomineralización en campo, proporcionó mejoría en las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estado natural y compactado



- La bacteria utilizada B Cereus tiene la capacidad de formar el componente autor reparador para la mezcla de concreto, sellando parcialmente las grietas encontradas en los especímenes de concreto modificado elaborado con adición de bacterias encapsuladas en arcilla expandida, generando un nuevo hallazgo en la materia de bioconcretos, ya que en la literatura no se han realizado publicaciones del estudio de este microorganismo. Se puede deducir que las bacterias son capaces de reducir la permeabilidad del hormigón, impidiendo así el ataque de sustancias nocivas como el cloro o el magnesio, mejorando así las propiedades mecánicas del hormigón.
- Una vez producida la precipitación de calcita por las bacterias, el endurecimiento de la mezcla, se produce en varios días, lo cual disminuye la probabilidad de penetración de agentes agresivos que puedan dañar la matriz, o dar lugar a la corrosión del refuerzo de acero.
- Aunque todavía no está en el mercado, el uso de este concreto vivo, según su creador, representa ahorros económicos porque ya no habrá necesidad de reparar las estructuras, ellas mismas pueden hacerlo. De esta forma, se vivirá la era de las construcciones biológicas.
- El concreto vivo o biocemento es un material pionero que fusiona el poder de la naturaleza con el de la construcción. Y con el podemos disminuir la contaminación ambiental a la hora de extraer las materias primas para la elaboración del mismo.
- Los valores de la resistencia mecánica del hormigón endurecido empleando la combinación de microorganismos con aditivos plastificantes y superplastificantes mostro mejores resultados en las prueba industriales a comparación con los hormigones tradicionales utilizados en la fabricación de pavimentos de hormigón y se confirma el excelente



comportamiento por lo que atendiendo a su costo y disponibilidad a escala nacional podría las empresas constructoras utilizarlo de forma moderada como un aditivo a escala nacional.

- La adición de bacterias en el concreto, da resultados positivos en la regeneración de grietas, comparado con la regeneración del hormigón convencional de alta resistencia, se aporta una disminución de generación de cemento, con lo que se reducen las emisiones de CO2 a la atmósfera y con el fin de combatir la excesiva contaminación y el calentamiento global es muy importante que nuestras ciudades cuenten con materiales constructivos a base de microorganismos.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



8 BIBLIOGRAFÍA

- Abo-El-Enein, S. A., Ali, A. H., Talkhan, F. N., & Abdel-Gawwad, H. A. (2013). Application of microbial biocementation to improve the physico-mechanical properties of cement mortar. *Housing and Building National Research Center Journal*, págs. 36-40.
- Achá, D. (2011). Efecto de los hidrocarburos sobre la diversidad de microorganismos en suelos altiplánicos y detección de microorganismos degradadores de hidrocarburos. *II Congreso Nacional de La Ciencia Del Suelo, Cochabamba*, 11.
- Afroughsabet, Vahid Ozbakkaloglu, T. (2015). Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, págs. 73-82.
- Alshalif, A. et al. (2019). Improvement of mechanical properties of bio-concrete using *Enterococcus faecalis* and *Bacillus Cereus*. *Environmental Engineering Research*, 24(4), 630–637.
- Brenner, D. J., Krieg, N. R., Staley, J. T., & Garrity, G. M. (2005). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (Springer Verlag (ed.)).
- C. Saiz-Jimenez. (2019). *The Biodeterioration of Building Materials*. (Chapter 4): p. 4.1-4.6.
- Calderon & Charca. (2011). Optimización de la permeabilidad del concreto ecológico con adición de nanosílice y fibra de polipropileno para pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado. *Pavimentos Rígidos de Concreto Ecológico*.
- Cedex. (2011). *Cenizas volantes de carbón y cenizas de hogar o escorias*. 1–41.



<http://www.cedexmateriales.vsf.es/view/archivos/residuos/305.pdf>

Covacevich, F., Silva, R., & Cumino, A. (2012). “Primeras secuencias de ADNr de Archaea en aguas costeras de Argentina: Inesperada caracterización por PCR con cebadores para eucariotas”. *Ciencias Marinas*.

Crispino, M., Mariani, E. y Toraldo, E. (2013). Assessment of fibre-reinforced bituminous mixtures’ compaction temperaturas through mastics viscosity tests. *Construction and Building Materials*, 38, 1031–1039.

DAMARIS GÓMEZ MARGOLLES. (2011). *Uso de plastificantes a partir de microorganismos eficientes en hormigones*.

De Los Ángeles, M., Contreras, S., Flores, T. G., Del Rosario, T., Talavera, A., Evangelista Martínez, Z., Aracely, N., & López, P. (2017). ¿Qué son los microbios? *Ciencia*, 68, 10–11.

Demain, A., & Solomon, N. (2018). *Manual of Industrial Microbiology and Biotechnology*. American Society for Microbiology, 18–20.

Department US Transportation Federal Highway Administration. (2013). *Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United States*.

Dosier, G., Unidos, E., & Norte, K. (2012). *BioMason-ESP*.

Equipo editorial, E. D. A. (2021). “Bacterias.” <https://concepto.de/bacterias/>

Flemming, H. ., & Wingender, J. (2010). The biofilm matrix. *Nat. Rev. Microbiol.*, 8, 623–33.

Flores Félix, J. D., & González, R. R. (2015). *Bacterias productoras de biocementos*. Dpto. de



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Microbiología y Genética, Universidad de Salamanca.

Fontúrbel, R., F., & Ibañez, N, C. (2007). Fuentes de energía biológica: empleo del metabolismo microbiano para la descontaminación de aguas. *Universidad Loyola (La Paz, Bolivia)*.

Gavimath, C.C., Mali, B.M., Hooli, V.R., Mallpur, J.D., Patil, A.B., Gaddi, D., y Ravishankera, B. E. (2012). Potential application of bacteria to improve the strength of cement concrete. . . *Int. J. Adv. Biotechnol., Res, 3(1), 541-544.*

Guadalupe, M., Gutierrez-Padilla, D., Bielefeldt, A., Hernandez, M., & Silverstein, J. (2007). “Monitoring of microbially induced concrete corrosion in pipelines”. *NACE International*, 1–5.

Hammes, F., Nico Boon, Johan de Villiers Verstraete, W., & Douglas Siciliano, S. (2016). Strain-Specific Ureolytic Microbial Calcium Carbonate Precipitation. *Applied and Environmental Microbiology*, págs. 4901-4909.

Institute of New York. (2008). Steel Bests a Bevy of Challenges. Steel Institute of new York and the Ornamental Metal. *Metals in Construction*, págs. 2-43.

Jayashantha, E. (2015). “*Archaea Morphology, Physiology ,Biochemistry and Applications.*” University of Kelaniya.

Konhauser, K. O. (2009). Microbial Weathering. Introduction to Geomicrobiology. *Wiley*, págs. 192-200.

Lemke, G. (2019). Análise do comportamento de fissuras em pasta cimentícia com biomineralização de Bacillus Cereus. *Universidade Federal de Santa Catarina*.



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



M. De los Angeles, S., & Contreras, T. (2017). *Que son los microbios*. 68, 10–11.

Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2009). *Brock. Biología de los microorganismos* (P. P. Hall. (ed.)).

Martin, C. (2017). *Construcción viva*. 69.

Navneet Chahal, Rafat Siddique, A. R. (2012). Influence of bacteria on the compressive strength, water absorption and rapid chloride permeability of fly ash concrete. *Construction and Building Materials*, págs. 351-356.

Pacheco-Torgal, F. Labrincha, J. A. (2014). Biotechnologies and bioinspired materials for the construction industry: an overview. *International Journal of Sustainable Engineering. International Journal of Sustainable Engineering*, 7(3), 235–234.

Panawala, L. (2017). “Difference Between Prokaryotic and Eukaryotic Cells.” *PEDIAA*.

Park, S. S., Kwon, S. J., Jung, S. H., & Lee, S. W. (2012). Modeling of water permeability in early aged concrete with cracks based on micro pore structure. *Construction and Building Materials*, 27, 597–604.

Patil, H. et al. (2008). Bacterial concrete, a self-healing concrete. *International Journal of Applied Engineering Research*, 3(12), 1719–1727.

Real Herráiz, T., Real Herráiz, J. I., Montalbán Domingo, L., & Domingo Carrión, F. (2012). *Posidonia oceanica* used as a new natural fibre to enhance the performance of asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 102, 601-612.

Ribas Silva, M. (2010). “Study of concrete deterioration through its microstructure.” *Materiales*



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



de Construcción, 15-24.

- Richard, B., Frankel, D., & Bazylinski, A. (2003). Biologically Induced Mineralization by Bacteria. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, págs. 95-114.
- Rincón, O. T. D., Sanchez, M., Millano, V., & Fernández, R. (2007). Effect of the marine environment on reinforced concrete durability in Iberoamerican countries: DURACON project/CYTED. *Corros. Sci.* 49, 2832–43.
- Rivera Serna, M. C. (2015). *EL PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS EN EL BIODETERIORO Y LA CONSERVACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: METALES Y CONCRETO*. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.
- Seeley, H. W., Vandermark, P. J., & Lee, J. L. (1991). *Microbes in Action. A Laboratory Manual of Microbiology* (W. H. Freeman (ed.)).
- Seleem, H. E. D. H., Rashad, A. M., & El-Sabbagh, B. A. (2010). Durability and strength evaluation of high performance concrete in marine structures. *Construction and Building Materials*, 878–84.
- Shanmukhaprasad, G., Subramanian, V. K., & Palanisamy, K. (2014). Aragonite–calcite–vaterite: A temperature influenced sequential polymorphic transformation of CaCO₃ in the presence of DTPA. *Materials Research Bulletin*, Págs. 1906–1912.
- Smith, D., Rhod, C., & Holmes, B. (2020). Handling and distribution of microorganisms and the law. *Microbiol Today*, 6, 6–14.
- Talaiekhozan, A. et al. (2014). Review of Self-Healing Concrete Research Development. *Journal*



of *Environmental Treatment Techniques*, 2, 1-11.

Tittelboom, K. et al. (2010). Use of bacteria to repair cracks in concret. *Cement and Concrete Research*, 157–166.

Turner, J. N. (2015). *The Microbiology of Fabricated Materials*. J & A Churchill.

Tziviloglou, E. et al. (2015). Performance requirements to ensure the efficiency of bacteria-based self-healing concrete. *En 9th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures*. San Diego, USA.

Van der Gulik, P. T. S., & Hoff, W. D. (2017). “In defence of the three-domains of life paradigm”. *Van Der Gulik, P.T.S., Hoff, W.D.*

Weng Alemán, Z., Esther Díaz Rosa, O., & Molina, Á. (2005). Conservación de microorganismos:¿ qué debemos conocer? *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 43(3), 0–0.

Zhang, J. et al. (2017). Immobilizing bacteria in expanded perlite for the crack self-healing in concrete. *Construction and Building Materials*, 148, 610–617.