

IMPLEMENTACIÓN DE BACTERIAS PARA EL HORMIGÓN AUTORREPARABLE

AUTOR:

DAYANA MARÍA FELIZZOLA PEDROZO

COD: 1085181785



MONOGRAFÍA

PARA OPTAR EL TÍTULO COMO INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

PAMPLONA – NORTE DE SANTANDER

2022-1

IMPLEMENTACIÓN DE BACTERIAS PARA EL HORMIGÓN AUTORREPARABLE

AUTOR:

DAYANA MARÍA FELIZZOLA PEDROZO

TUTOR:

JORGE LUIS ORTIZ CARRILLO

MICROBIÓLOGO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

PAMPLONA – NORTE DE SANTANDER

2022-1

El actual documento está destinado principalmente a nuestro Padre creador, además de Él a cada persona que de una u otra forma me acompañó y estuvo conmigo en este proceso. Pero sobre todo a mis padres quienes siempre los tuve presente cuando decaía y quienes fueron el motor e impulsores para levantarme y continuar.

Dayana María Felizzola Pedrozo

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, darle las gracias a Dios por regalarme la vida, la salud, y cada una de las bendiciones que hoy en día me permiten estar en donde me encuentro, a mis padres; Seneth Pedrozo y Edwin Felizzola, por ser fuente de inspiración, de apoyo tanto sentimental como económicamente, por cada consejo y por cada vez que decaía siempre alentarme y regalarme toda la fuerza que en algún momento necesité.

Darle las gracias a mi tía Pabla Pedrozo, y a mi gran amigo Enrique Arango quienes no dejaron sola en este proceso y contribuyeron para haber podido llegar hasta aquí.

Gracias a cada uno de los docentes del programa de Ingeniería Civil, por compartir conmigo cada uno de sus conocimientos y formarme hoy como profesional integra y responsable.

A cada una de las demás personas que estuvieron acompañándome con su apoyo, por escucharme, por alentarme y por nunca dejarme sola en este proceso en la ciudad de Pamplona.

Y por último gracias a mi tutor de este escrito monográfico, Jorge Luis Ortiz Carrillo, quien me brindó su apoyo. Ayudando y contribuyendo para que este trabajo se llevara a cabo de la mejor manera.

RESUMEN

Actualmente la problemática medioambiental es preocupante para nuestra sociedad, en la cual crece significativamente anualmente el índice de contaminación, por lo que la necesidad de encontrar soluciones persiste a esta condición en la industria de la construcción, Esta industria es una de las más influyente a los llamados gases de efecto invernadero. Por esta razón se buscan nuevos estudios tecnológicos, ya que alrededor del 2006 se ha logrado desarrollar un hormigón que puede repararse con bacterias, demostrando que este aumentará la ductilidad, además de esto será un material que demorará mucho más tiempo, tendrá una vida útil mucho más alta, de hasta aproximadamente 200 años, reduciendo así los gastos por reparaciones, pero además de esto reducirá el impacto ambiental que conlleva hacer las reparaciones manualmente.

La bacteria más utilizada en este proceso es la *Bacillus Pseudofirmus*, quien gracias a ellas se obtiene excelentes resultados en las fisuras a temperaturas cálidas de más o menos los 23°C.

Finalmente se hace un respectivo análisis en consecuencia al hormigón que usualmente es implementado y este tipo de hormigón autorreparable.

PALABRAS CLAVES:

Hormigón autorreparable, bacterias, concreto, carbonato de calcio, fisuras, durabilidad, bio-concreto, fallas.

ABSTRACT

Currently the environmental problem is worrying for our society, in which the pollution index grows significantly annually, so the need to find solutions persists to this condition in the construction industry, This industry is one of the most influential to the called greenhouse gases. For this reason, new technological studies are sought, since around 2006 it has been possible to develop a concrete that can be repaired with bacteria, demonstrating that this will destroy ductility, in addition to this it will be a material that will take much longer, it will have a much longer useful life. higher, up to approximately 200 years, will thus reduce repair costs, but also reduce the environmental impact of doing repairs manually.

The bacteria most used in this process is *Bacillus Pseudofirmus*, who thanks to them excellent results are obtained in cracks at temperatures of warmer or less than 23°C.

Finally, a respective analysis is made as a consequence of what is reflected in this investigation.

KEYWORDS:

Self-healing concrete, bacteria, concrete, calcium carbonate, cracks, durability, bio-concrete.

TABLA DE CONTENIDO

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
INTRODUCCIÓN.....	13
OBJETIVO Y ALCANCE.....	16
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	17
MARCO TEÓRICO	19
1. hormigón.....	19
2. Hormigón autorreparable	19
2.2. Autorreparación autónoma	20
3. Minerales biológicos	20
4. Carbonato de calcio	21
5. Tipos de bacterias implementadas.....	21
6. Producción del bio-concreto.....	22
DESARROLLO DEL PROYECTO.....	23
ETAPA I	24
TIPOS DE CONCRETO	24
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN.....	28
FISURAS Y FALLA EN EL CONCRETO	30
ETAPA II	33
CONCRETO AUTO-REPARABLE Y SUS CARACTERÍSTICAS	33

ETAPA III	38
ANÁLISIS BACTERIANO	38
ETAPA IV	44
APORTES Y ESTUDIOS DE ALGUNOS AUTORES EN EL TRANCURSO DEL TIEMPO	44
ETAPA V	47
COMPARACIÓN ENTRE EL HORMIGÓN AUTORREPARABLE Y EL HORMIGÓN CONVENCIONAL.....	47
FACTIBILIDAD DEL HORMIGÓN AUTORREPARABLE	51
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	52

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Concreto ciclopeo (Arkiplus, 2018).....	25
Ilustración 2 Hormigon pre fabricado (Wam, 2018)	26
Ilustración 3 Concreto pre esforzado pretensado (Navarro, 2008)	27
Ilustración 4 Pieza pretensada (RM, J. A., 2008)	27
Ilustración 5 Concreto pre esforzado postensado (Navarro, 2008).....	27
Ilustración 6 Concreto postensado (Promallas, 2020)	28
Ilustración 7 Deformación vs Tensión (Osorio, 2011)	29
Ilustración 8 BIO-CONCRETO (Chile.cubica, 2016).....	33
Ilustración 9 proceso de regeneración de grietas (Ponce, C. F., Huamani, S. K., & Sánchez, E., 2015).	35
Ilustración 10 Bacillus (iStock, 2009).....	38
Ilustración 11 Periodo de los microorganismo con base al tiempo. (Apella, M., & Araujo, P., 2006, 20 abril).....	39
Ilustración 12 filtracion por el suelo (humetek, 2015).....	41
Ilustración 13 Ensayo a tracción del concreto. (Ponce, C. F., Huamani, S. K., & Sánchez, E., 2015)	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Grietas y sus repsectivas características (Avendaño, E., 2006)	31
Tabla 2 Descripción de las fallas según su clasificación (Biblioteca Udep, 2017).....	32
Tabla 3 Matriz comparativa de los diferentes tipos de reparación del concreto (Úbeda Bernabé, C., 2014).....	37
Tabla 4 Microorganismo y acciones en el concreto (Úbeda Bernabé, C., 2014).....	42
Tabla 5 Comparación de los valores en cuanto a la resistencia a la tracción entre el hormigón convencional y el autorreparable (Ponce, C. F., Huamani, S. K., & Sánchez, E., 2015)	48
Tabla 6 Comparación de los valores en cuanto a la resistencia a la compresión entre el hormigón convencional y el autorreparable (Ponce, C. F., Huamani, S. K., & Sánchez, E., 2015)	49

PRÓLOGO

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Este escrito monográfico se basa principalmente en mostrar o dar a conocer como podría mejorar significativamente el impacto medioambiental al momento de introducir bacterias para así de este modo obtener una mejora y lograr una auto reparación del hormigón, siendo esta una posible solución viable, la cual contribuye significativamente a nuestra madre naturaleza reduciendo la contaminación que es originada por las reparaciones manualmente y a su vez mejorar la resistencia del concreto.

La contaminación ambiental se debe en gran parte a las industrias, las cuales son las principales de emitir gas carbónico, la industria de la construcción es de los campos donde se genera en gran cantidad dicho gas, siendo una de la principal responsable del calentamiento global y disminución de la capa de capa de ozono. A demás de esto es una de las industrias que más mueve a un país, debido a la gran demanda de trabajo que genera, y de este modo contribuyendo a la economía del mismo. Se podría decir que es donde más se mueve la economía a nivel mundial.

En Colombia para el trimestre del año 2021, entre en el periodo de octubre a diciembre el PIB aumentó el 10,8% con relación al mismo trimestre del año 2020, el cual la mayor cantidad corresponde al sector de la construcción con un 6,2% según el Dane. (marzo, 2022)

Al momento de hacer o realizar cualquier tipo de obra o estructura en el campo ingenieril, lo que se busca principalmente es que esta tenga una muy buena vida útil, donde sea una construcción, viable, resistente, dúctil. Para que esto se logre se debe

centrar en el concreto, es decir en el hormigón, ya que este quien en conjunto con el acero son los responsable de resistir todos los fenómenos a los que se encuentran sometidos, es por esto que para evitar los inconveniente o problemas de carácter ingenieril, lo que se busca principalmente es un buen rendimiento y durabilidad del concreto, esto debido a que con el paso del tiempo se ha podido estudiar que suele presentar fallas, donde principalmente se debe a dos casos, el primero es porque no es resistente a la fuerza a compresión, y el segundo se a nivel del biodeterioro de la estructura. Entonces por consiguiente a esto, se podría decir que la microbiología es una alternativa para llevar a cabo con esta necesidad.

Este estudio se basa principalmente en analizar, comprender y exponer un punto de vista, luego de haber investigado y analizado cada artículo, libro, ensayos, y demás escritos encontrados relacionados con la investigación, donde el tema principal es la influencia de las bacterias en el hormigón.

INTRODUCCIÓN

Al analizar uno de los retos hoy en día de la ingeniería civil en base a los procesos constructivos con concreto armado, el principal objetivo es diseñar y construir una estructura con una gran vida útil, garantizando ante todo la certeza y estabilidad de las mismas y así la confianza de los ocupantes, esto principalmente se debe a los problemas que se pueden presentar principalmente por patologías que se presentan en la estructura las cuales afectan a primordialmente a las propiedades mecánicas del hormigón y del acero, pues esto no dejará que esta actúe de como normalmente debería de actuar al momento en el que fue diseñada.

En el tiempo de su vida útil, las construcciones a base de concreto sufren diferentes fisuramientos y agrietamientos por diferentes motivos, principalmente por condiciones físicas o de manera ambiental. A través de las grietas, el oxígeno, el agua, cloros y otros agentes agresivos pueden ingresar a la estructura para detrimento de la durabilidad del hormigón, de su comportamiento y de su vida útil. Es por esto que el hormigón posee una capacidad innata de reparación.

Cuando hablamos del hormigón se hace referencia a que este es un material de construcción muy utilizado, se podría decir que es el más implementado en todo el mundo después del agua, esto se debe a que es un material resistente, durable y de un costo relativamente bajo, llegando a tener una producción de 10 km³ por año. (Gartner & Macphee. 2011).

De esta manera se hablará en esta monografía acerca de hormigón autorreparable y su respectiva elaboración. La tecnología de auto-reparación del

hormigón inducido por bacterias, ha sido descubierto e implementado en los últimos años. Este básicamente trata en la aceleración en la producción de carbonato de calcio inducido por la aparición de bacterias, las cuales son capaces de soportar medios alcalinos. (Jonkers, Thijssen, Muyzer, Copuroglu, & Schlangen, 2010). Esta técnica se debe primordialmente por consiguiente a las dimensiones de las bacterias y sus múltiples aptitudes metabólicas. Las bacterias, más que cualquier otro organismo vivo, pueden interactuar íntimamente con los iones metabólicos presentes en su entorno. (Douglas & Bevendge, 1998).

Cuando se coloca el hormigón o concreto en el sitio de construcción, pueden aparecer problemas debido a la negligencia de la construcción, la inexperiencia de los trabajadores, por las condiciones del lugar de construcción o por la influencia de frecuentes sismos casados durante la vida útil de la estructura lo cual provocarán grietas, la aparición de fisuras, las cuales afectan el deterioro en la masa del hormigón.

Según (Morales,2011), muestra la capacidad reparadora del hormigón frente a fisuras o grietas y formación de CaCo_3 como solución.

En Perú, se llevó a cabo una tesis donde esta era basada principalmente en la precipitación de calcita, donde el autor (Alarcón, 2019) demostró las capacidades que posee esta para regenerar una fisura con determinadas bacterias, y de este modo comparar la eficacia de las mismas. El uso de estas bacterias en el campo de la construcción condujo a nuevas investigaciones; una de ellas fue la de (FLORES, 2006), en la cual explica como la biotecnología se está implementando en este sector de la construcción.

Esta innovación podría ser de gran ayuda para nuestro medio ambiente, ocasionando un impacto positivo al mismo, esta podría ser gran apoyo y utilidad para reducir al impacto ambiental, y de este modo el calentamiento global. Además sería un poco más económico ya que se repara por si solas estas fisuras. El futuro microbiano se está convirtiendo en una realidad para muchas industrias. La bioMASON es un claro ejemplo, donde ésta por medio de microorganismo ha implementado ladrillos, los cuales crecen por si solos en cuestión de días eliminando la necesidad de utilizar un horno.

Se llega a estimar que es utilizado cinco veces más el concreto en peso que el mismo acero, pero también se da el caso que en otros países esta comparación puede aumentar hasta 10 veces más el cemento que el acero. Lo cual produce un impacto ambiental negativo ya que por cada tonelada de cemento que es producido en el mercado se genera una tonelada de dióxido de carbono (CO_2) la cual es emitida y va directamente hacia la atmosfera, siendo este el gas que origina principalmente el efecto invernadero provocando la disminución de la capa de ozono.

OBJETIVO Y ALCANCE

Este escrito tiene como objetivo principal dar a conocer e implementar una metodología que permita la reparación de fisuras en el hormigón mediante la bio precipitación haciendo uso principalmente de las bacterias, contribuyendo de este modo a hacer uso de un material biodegradable y de este modo ayudando con nuestra madre naturaleza y buscando un poco la reducción de gases.

Ahora, como objetivo secundario se plantea explicar los resultados basados en los diferentes artículos sobre la detección de bacterias para un hormigón autorreparable, para así de este modo identificar qué tan positivo ha sido implementar estas bacterias al hormigón como modelo de ayuda para suplir las fallas a las que normalmente se encuentran expuestas las estructuras como lo son las fisuras

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Desde tiempo anteriores se ha intentado demostrar que mediante la microbiología se puede lograr una solución a problemas relacionados con el concreto, mediante la implementación de microorganismos, en este caso las bacterias. Gracias a estudios realizados los científicos pudieron identificar un método capaz de rellenar grietas o fisuras en el concreto, el cual consistía en añadir a la mezcla que usualmente es implementada para la elaboración del hormigón una bacteria llamada “*Bacillus Pasteurii*”, porque esta bacteria tiene el talento de elaborar lo que se conoce como calcita, hidrolizando la urea y solidificando la arena, por lo que es esta una de las manifestaciones más importantes en el momento.

Otra bacteria que también se ha aplicado para obtener un buen resultado en cuanto a la resistencia y vida útil del hormigón es “*Bacillus sphaericus*”, donde algunos científicos la implementaron y se obtuvo un muy buen resultado en cuanto al mejoramiento en su resistencia, y un mejoramiento de la durabilidad cuando este ya se encuentra en estado de final del concreto. Además de esto, se realizaron algunas comparaciones con esta bacteria y otra, encontrando así que no solo aumenta la fuerza, sino que además de esto es capaz de absorber el agua.

A medida que transcurre el tiempo se va implementando nuevas tecnologías y nuevos métodos para lograr una mejora en el concreto. Hoy en día gracias a los avances y descubrimientos, en especial gracias (Jonkers, 2006) quien luego de nueve años de investigación y desarrollo, logró elaborar un hormigón autorreparable que se autogenera mediante la mezcla dentro de unas cápsulas de plástico (2015). El proceso básicamente consiste en que una vez el hormigón hace contacto con el agua, las

bacterias proceden a alimentarse del lactato de calcio, de este modo comienzan multiplicarse y así de este modo sellando las fisuras. Cuando este proceso se termina evitando nuevamente el paso del agua las bacterias originan lo que es conocido como “esporas” volviendo nuevamente a su inactividad. Todo este proceso tiene una durabilidad de 3 semanas.

JUSTIFICACIÓN

El tema va centrado en investigar y comparar el uso del hormigón autorreparable vs el hormigón convencional. Este es uno de los temas actualmente más estudiado e innovador, ya que es fundamental e importante para la elaboración de obras constructivas en el campo de la ingeniería civil. El propósito de este escrito fue averiguar qué tan factible y ventajoso es para la industria de la construcción.

El hormigón hoy en día es el componente más implementado en la construcción, por lo que da resistencia a todas las construcciones en una obra civil, con base a esto es que ha visto la necesidad, y a su vez se han realizado diversos estudios sobre el mismo, en cuanto a resistencia y durabilidad, tipo de refuerzo, agregados, entre otros.

El biohormigón es un material que tiene una composición química que debe ser autorreparable, evitando los costos en cuanto a reparación. La finalidad de este estudio es proponer la viabilidad y exponer la necesidad de que sea implementado en Colombia, examinando así en profundidad un logro importante en el desarrollo de nuevas tecnologías, y por lo tanto, crear un impulso para que Colombia se convierta en un país donde se desarrollen nuevas tecnologías y aplicaciones que pueden ser muy útiles para temas como sustentabilidad y la economía del país.

MARCO TEÓRICO

1. Hormigón

El hormigón consiste básicamente en la mezcla cemento, agua, arena y grava. Este material se implementó en Asia y en Egipto, pero fueron los romanos quienes lo extendieron por todo su imperio. Hoy en día el hormigón es el material más utilizado después del agua en la construcción. Este además de ser un material de gran consistencia, tiene un costo relativamente bajo comparado con otros materiales y además tiene una gran capacidad para adaptarse. Es un material duradero, versátil, fácil de encontrar y resistente.

2. Hormigón autorreparable

Este es un hormigón capaz de cerrar y cicatrizar una fisura o grieta por sí solo, este se logra con una mezcla de serie de bacterias, las cuales una vez el agua entra en contacto con el hormigón se activan, produciendo lo que es conocido como calcita la cual es la encargada de rellenar el hueco ocasionado por las fisuras, este material tiene ventajas a nivel económico mejorando la calidad y vida útil de las estructuras.

Según (Guarde, 2016) estos poseen la capacidad de cerrar las fisuras sin la necesidad de la intervención humana debidamente a sus componentes existentes. También menciona que este proceso de autosellado mejora e incrementa su capacidad hasta estar en condiciones ideales.

Existen dos tipos de reparación en el concreto, las cuales son:

- Reparación autógena
- Reparación autónoma

2.1. Reparación autógena

Es un proceso de relleno de grietas en el que las propiedades del material se restauran automáticamente sin necesidad de ningún tipo de trabajo externo (Guerde, 2016).

2.2. Reparación autónoma

Es un proceso en el que diferentes tipos de células bacterianas se extrapolan de forma segura al hormigón con el objetivo de producir lo que se conoce como curación espontánea de grietas.

Esto último es lo que han hecho muchos científicos que han intentado unir lo que se conoce como carbonato de calcio o incluso los llamados cristales de calcita

3. Minerales biológicos

Para comprender mejor el tema del hormigón autorreparable, hay que hablar sobre la biomineralización el cual es un tema de gran importancia. Este se basa en que cuando los microorganismos que están presente en la tierra pasan por el proceso de desarrollo mineral, los cuales pueden interactuar en su medio natural. Este proceso ocurre naturalmente y de hecho ha estado ocurriendo durante años en la tierra. Las bacterias son las encargadas de fabricar lo que es conocido como carbonato de

calcio, y además de esto también pueden fabricar otros minerales óxidos, sulfatos y hasta fosfatos, esto se debe gracias a las actividades que realizan.

4. Carbonato de calcio

Consiste en un compuesto químico que se encuentra el cual se da de manera natural, y se encuentra presente en nuestro ecosistema, esta sustancia es el componente principal de muchas piedras, como lo es en la reconocida piedra caliza, la cual es de gran utilidad en el ámbito de la construcción en especial en los cimientos.

Existen gran variedad de piedras calizas, las que usualmente se pueden encontrar es el mármol y el cuarzo, las cuales son implementadas en obras civiles por sus características.

Otros científicos también han demostrado que su gran mayoría todas las bacterias son capaces de generar carbonato de calcio, esto se debe a los procesos químicos que se presentan, como lo son la hidrólisis de urea, la reducción de sulfatos y la fotosíntesis afectando este proceso al pH (Arrieta Rodriguez, 2011)

5. Tipos de bacterias implementadas

5.1. *Bacillus pseudofirmas*

Es una bacteria de tipo anaerobia, la cual tiene gran facilidad de adaptarse a un pH alto, (Normalmente van de 8.5 hasta valores superiores a 11) manteniendo

de este modo el pH citoplasmático a un nivel mucho más alto que las otras bacterias. Siendo una bacteria formadora de endosporas.

5.2. *Sporosarcina pasteurii*

Esta es una bacteria que tiene la característica de arrojar calcita y precipitar la arena debido a una fuente de calcio y urea; mediante lo que se conoce como proceso de precipitación de calcita inducida microbiológicamente.

5.3. *Sporosarcina pasteurii*

Esta es una bacteria que tiene un metabolismo aerobio, la cual es desarrollada a rangos de temperaturas muy altas y es un bacilo Gram-Positivo.

6. Producción del bio-concreto.

Comenzó alrededor de 2015 en una universidad acreditada en los Países Bajos, en la universidad Técnica de Delf, dándoles el estatus de inventores porque aumentaron considerablemente esa producción.

El hormigón autorreparable fue desarrollado en el 2006 gracias a el microbiólogo Henk Jonkers. Hoy en día la universidad de Delf está elaborando este tipo de concreto a partir de la bacteria *Bacillus pseudofirmus* gracias a los estudios realizados por Jonkers.

Este tipo de hormigón su principal característica es la de que una vez se presenten fisuras las células se comenzaran a multiplicarse y así de este modo ir rellenando las fisuras, ya que las bacterias comienzan a actuar de manera automática.

DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el análisis metodológico se utilizó la palabra clave como hormigón autorreparable o bio-concreto; donde se obtuvo información de varios artículos, el primer trabajo revisado fue el de Chile, en donde se dio a conocer las propiedades de este componente, y además de esto una prueba realizada por el ingeniero y científico Henk Jonkers junto con un equipo de investigadores pertenecientes a la universidad Técnica de Delf, en donde se plasma la importancia del uso de bacterias en el hormigón autorreparable, su reacción química y a su vez una comparación con el hormigón convencional.

Por último, se tiene un artículo comparativo de hormigones auto sellantes, dicho estudio fue realizado por Cristina Úbea Bernabé, ella explica la vida útil de este material y su comportamiento en diferentes sitios con cambios de temperatura.

Para llevar a cabo este proyecto se realizó un estudio comparativo del hormigón que se auto repara y el hormigón convencional, los cuales se definieron en torno al desarrollo y consecución de los objetivos para analizar el comportamiento del hormigón y como se agrieta, así mismo mediante pruebas de laboratorios realizadas utilizando como referencia informes científicos para confrontar y verificar que el hormigón autorreparable sea duradero y cumpla con las Normas Técnicas de Colombia (NTC).

ETAPA I

TIPOS DE CONCRETO

En el ámbito de la construcción existen varios tipos de concreto los cuales son utilizados en el diario a vivir para los diferentes proyectos, los cuales poseen diferencias entre ellos, donde una alguna de ellas son la resistencia y la durabilidad, los principales son:

1. Concreto simple

Este tipo de concreto es utilizado generalmente para la construcción de edificios y pavimentos con poco tráfico. No contiene armadura de refuerzo. Posee una resistencia a la compresión de 200 a 500 kg/cm². (The constructor (civil Engineering Home), 2016).

2. Concreto ciclópeo

Es un hormigón en el cual más del 50% está conformados por fragmentos de roca. Donde su peso por cada roca es de aproximadamente 45kg. No contiene armadura y es utilizado en cimientos corridos, rellenos, o en muros de contención. (Arkiplus, 2018)



3. Concreto reforzado

Este es un tipo de hormigón armado que se centra en ofrecer una combinación entre la resistencia a la compresión y es resistente a los esfuerzos de tracción. Este refuerzo está constituido de barras de acero, varillas, mallas y fibras de acero. Al momento de reforzar la clave está en obtener una buena interacción entre el hormigón y el refuerzo.

4. Concreto estructural

Este concreto se basa en dar cumplimiento con a los requisitos plasmados en la NSR-10 para que una estructura sea sismo-resistente, donde usualmente se manejan valores altos de resistencia la compresión, densidad y módulo de elasticidad.

5. Concreto prefabricado

Este es un hormigón que ya viene industrializado, los cuales son fabricados en una planta y transportados hasta el sitio donde se llevará a cabo dicha obra. Este se caracteriza por reducir el tiempo de construcción. Este tipo de concreto es reforzado con barras de refuerzo, cordones de alta resistencia o con la combinación de ambos. (ACI, 2017).



Ilustración 2 Hormigón pre fabricado (Wam, 2018)

6. Concreto Pre esforzado

Este tipo de concreto se basa en mejorar el comportamiento y resistencia, mediante la creación de esfuerzos permanentes en la estructura a tal grado que se logre un equilibrio entre la carga interna con la externa. Se divide en pretensado y postensado

6.1. Pretensado

Este tipo de concreto se dan cuando los tendones son tensados antes de verter el hormigón y cuando el hormigón fresco se endurece. Una vez este alcanza la resistencia que se espera, se procederá a eliminar la fuerza de pretensado que se le aplicó al inicio, la cual esta misma se transfiere por medio de la adherencia al concreto. (Navarro, 2008)

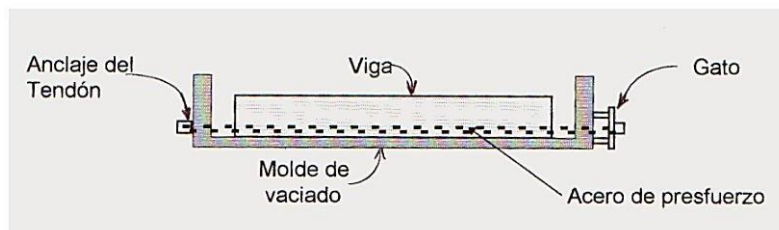


Ilustración 3 Concreto pre esforzado pretensado (Navarro, 2008)



Ilustración 4 Pieza pretensada (RM, J. A., 2008)

6.2. Postensado

Este tipo de concreto se puede aplicar a estructuras in situ o prefabricadas, el cual implica la colocación de encofrados para las vigas tubulares huecas que contienen tendones no esforzados antes de ser vaciado el concreto. (Navarro, 2008)

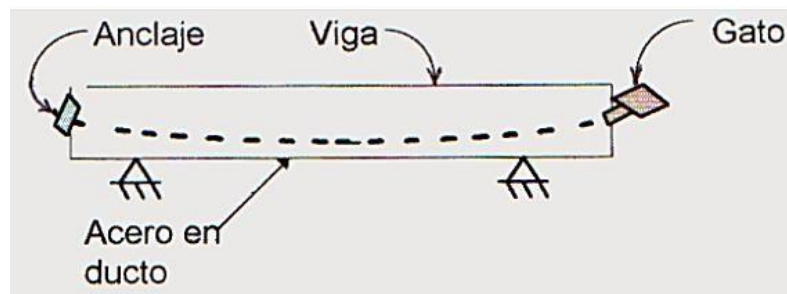


Ilustración 5 Concreto pre esforzado postensado (Navarro, 2008)



Ilustración 6 Concreto postensado (Promallas, 2020)

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN

1. Resistencia a la compresión

Básicamente consiste en la capacidad de carga por unidad de área la cual es expresada en unidades de (Kgf/cm²), Mpa. Esta es determinada por medio de pruebas realizadas en el laboratorio, la cual consiste en medir la resistencia luego de haber transcurrido los 28 días de fraguado de unos cilindros de concreto, los cuales son sometidos a cargas para alcanzar su rotura. (Osorio, 2011).

2. Resistencia a la tensión

Esta es fundamental para predecir el agrietamiento de las estructuras. Se puede determinar cuándo es aplicada una fuerza en cada extremo, lo cual hará que la estructura se comience a estirar, provocando grietas y luego su fracturamiento.

3. Módulo de elasticidad

Consiste básicamente en la relación entre el esfuerzo vs su deformación. Esta es una propiedad mecánica que tiene el concreto para deformarse elásticamente (Pauw, 1960).

Para la determinación del módulo de elasticidad del concreto se hace por medio de la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4025.

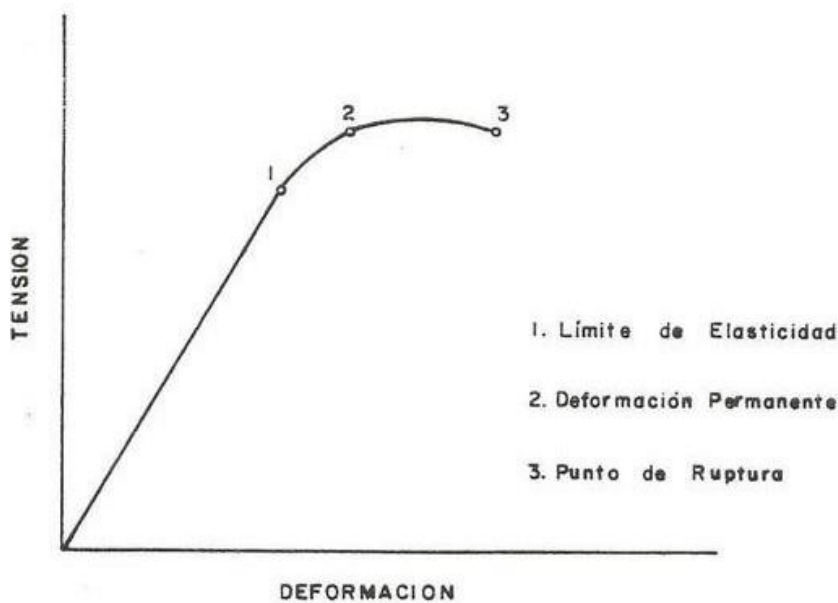


Ilustración 7 Deformación vs Tensión (Osorio, 2011)

En un medio isotrópico sometido a carga axial, el Módulo de Young o Elasticidad puede ser calculado por la siguiente expresión;

$$\epsilon = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L_0}} = \frac{FL_0}{A\Delta L}$$

Donde:

E es el módulo de elasticidad o módulo de Young.

F es la fuerza axial aplicada

A es el área de la sección transversal

ΔL Es la variación de dimensión longitudinal del objeto

L_0 Es la altura original

(Serrano-Guzmán, M. F., 2007)

FISURAS Y FALLA EN EL CONCRETO

1. Fisuras

Las fisuras que se producen en el hormigón suelen ser factores debido a una tensión superior a la resistencia del mismo hormigón, lo cual provocará una deficiencia en el revestimiento de refuerzo. Esto también pueden aparecer debido al mal uso de la colocación del hormigón. La principal causa de la aparición de fisuras según el ACI se debe a el cambio o disminución de volumen del concreto a medida que transcurre su vida útil, esto se debe a los cambios que puede sufrir la estructura, ya sean ambientales o a propiedades físicas. (Osorio, 2015).

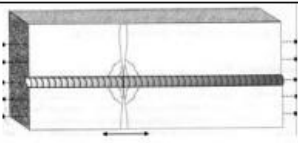
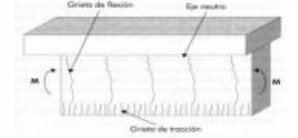
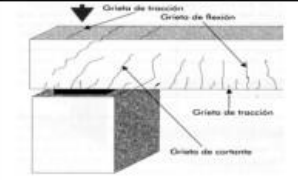
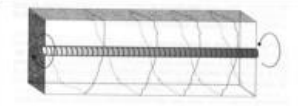
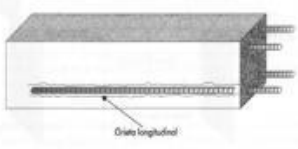
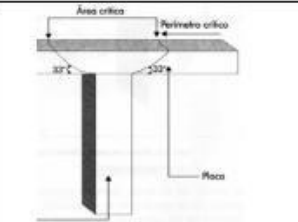
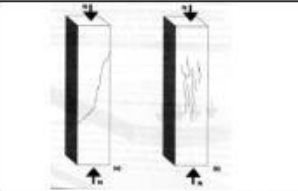
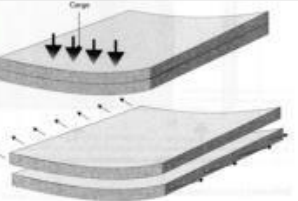
TIPO DE GRIETA ESTRUCTURAL	CARACTERÍSTICAS	ESQUEMA
TRACCIÓN PURA	El concreto resiste tracción por medio del acero de refuerzo, cuando las cargas sobrepasan la capacidad estructural de la sección disminuye la adherencia entre el acero y el concreto en una zona produciéndose grietas transversales.	
FLEXIÓN	Las grietas por flexión, son transversales y se extienden a partir de la cara en tensión hasta el eje neutro de la sección. Su causa principal son las precargas, sobrecargas y el insuficiente refuerzo de acero.	
CORTANTE	Aparecen inclinadas cerca de los apoyos o en los puntos de aplicación de cargas concentradas, el ángulo de las grietas es aproximadamente 45°, ya que son lugares de máximo cortante y mínimo momento. Son grietas que atraviesan toda la sección.	
TORSIÓN	Son grietas inclinadas que traspasan toda la sección en forma de espiral.	
TIPO DE GRIETA ESTRUCTURAL	CARACTERÍSTICAS	ESQUEMA
LONGITUDINALES	Se forman alrededor del acero de refuerzo y se asocian a fenómenos de retracción plástica que producen una deficiente adherencia entre el acero y el concreto. Las grietas se producen cuando se dan esfuerzos de tensión en el acero principal.	
PUNZONAMIENTO	Son provocadas por esfuerzos altos originados por cargas soportadas en áreas pequeñas. La superficie de fractura es de forma de tronco de pirámide y es una falla frágil.	
COMPRESIÓN	Si se supera la capacidad de carga axial de un elemento columna se producen grietas paralelas a la dirección de la carga.	
CIZALLADURA	Se produce un deslizamiento por falta de adherencia o anclaje entre las diferentes capas de un elemento.	

Tabla 1

26)

2. Fallas

Estas principalmente se dan cuando la estructura es sometida a una fuerza de tracción o por cortante, las cuales exceden los esfuerzos permisibles de la estructura creando la rotura.

3. Clasificación

Item	<i>Clasificación</i>	<i>Descripción</i>
1	Microfisuras: $e < 0,05$ mm	En general carecen de importancia
2	Fisuras: $0,1 < e < 0,2$ mm	En general son poco peligrosas, salvo en ambientes agresivos, en los que pueden favorecer la corrosión
3	Macrofisuras $0,2 < e > 0,4$ mm	Estas son las fisuraciones que pueden, tener repercusiones estructurales de importancia
4	Grietas: $0.4 < \text{ancho} < 1.0$ mm	Existe reducción en la capacidad sismorresistente. Debe desocuparse el edificio, proceder a una rehabilitación temporal
5	Fractura: $1.0 < \text{ancho} < 5.0$ mm	Existe una reducción importante en la capacidad sismo resistente. Deberá procederse a una evaluación definitiva urgente, para determinar si se procede a la demolición
6	Dislocación: ancho > 5.0 mm	

Tabla 2 Descripción de las fallas según su clasificación (Biblioteca Udep, 2017)

4. Control de fisuramiento

Se debe realizar un estudio que permita determinar en qué estado se encuentra la fisura; está podría encontrarse en dos fases:

- En la fase viva: Es cuando la fisura aún está interactuando con la estructura, ya sea a nivel progresivo o regresivo.

- En la fase muerta: Esta es cuando la fisura ha terminado su proceso y ya se encuentra de manera fija, es decir ya no hay cambios en ella.

ETAPA II

CONCRETO AUTO-REPARABLE Y SUS CARACTERÍSTICAS

Como ya se habló al principio de la definición de lo que es un hormigón autorreparable el cual es un hormigón donde haciendo uso de bacterias posee la capacidad de auto sellar las grietas o fisuras.

En la siguiente ilustración se puede analizar un breve resumen de lo que es el hormigón autorreparable

Rumbo a las edificaciones biológicas

La invención del bioconcreto ha unido características de los entornos de la naturaleza con la construcción actual, lo que genera un nuevo concepto que podría ser pieza clave para el futuro.

CREADOR
Henk Jonkers



DATOS SOBRE EL MATERIAL

Bacterias utilizadas: 'Bacillus pseudofirmus' y 'Sporosarcina pasteurii'

Tiempo de vida: 200 años

Tamaño de grietas reparadas: Grosor máximo de 0,8 mm

PRIMER EDIFICIO HECHO CON MATERIAL AUTORREPARABLE

Paredes con capas de bioconcreto de 6 cm de grosor



Las grietas en las paredes han sido selladas por la reacción entre las bacterias y el agua.

CÓMO SE LLENAN LAS GRIETAS

1 El estrés provoca gradualmente las grietas.

El bioconcreto entra en acción

2 Cuando llueve, el agua penetra en las pequeñas grietas y llega al hierro del concreto, el cual se oxida.



3 El bioconcreto tiene en su mezcla bacterias que actúan como un agente extra de reparación. Se activa cuando el agua entra por las grietas.



4 Las bacterias se alimentan de lactato de sodio, elemento también presente en el concreto.

5 Al alimentarse producen una reacción química que forma caliza o piedra caliza, la cual llena las grietas.



Ilustración 8 BIO-CONCRETO (Chile.cubica, 2016)

El biohormigón, también conocido como hormigón autorreparable, está compuesto por una mezcla de cemento, agua y arena, además incluyendo en esta mezcla un grupo de cepas bacterianas denominadas Bacillus Pseudo y adicionando Lactato de calcio, el cual este es sustento principal para que los microorganismos puedan permanecer latentes en el hormigón hasta por 200 años. (Fallewayer, 2015).

Tiempo de auto reparación

Este proceso de auto reparación podría darse en aproximadamente 21 días, estas bacterias como se dijo anteriormente son capaces de sobrevivir hasta 200 años, debido a que la presencia de esporas. No existe restricción alguna para la longitud de agrietamiento, mientras que el grosor no debe pasar a los 8 mm.

Métodos para reparar el concreto

Hoy en día se podría decir que existen cinco (5) métodos para la reparación del concreto:

- Encapsulado químico
- Encapsulado bacteriano
- Adiciones minerales
- Químicos micro-tubos
- Sellado autógeno

Por medio del cual en el estudio se implementó el método de encapsulado bacteriano.

Figura 2/ La figura muestra el proceso de regeneración de dos grietas de anchos entre 0.13-0.4 mm de espesor a los 100 días de la activación de la bacteria

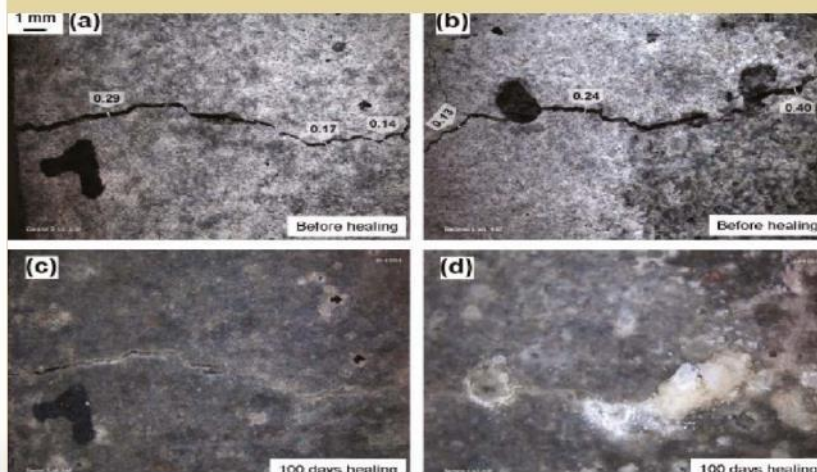


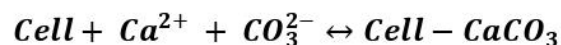
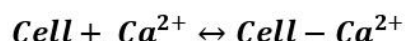
Ilustración 9 proceso de regeneración de grietas (Ponce, C. F., Huamani, S. K., & Sánchez, E., 2015).

En la ilustración, se muestra un proceso de regeneración de grietas realizado por Jonkers, en el que se ve plasmado dos tipos de grietas, a y b. Estas fisuras fueron ocasionadas por condiciones climáticas en las cuales se evidencia el cambio que tuvieron al pasar de a, a c y de b a d, al cabo de pasar 100 días.

Reacciones químicas

La composición del hormigón autorreparable es la misma que la del hormigón normal, con la diferencia que se le añaden bacterias, las cuales son capaces de sobrevivir en un ambiente alcalino con un pH superior a 10. Cuando este se fisura hay entrada de aire, humedad y agua, y es cuando se crea una reacción química que crea la calcita para sellarlo.

Las bacterias reaccionan de dos etapas:



La primera reacciona en la pared celular porque tiene una carga negativa la cual atrae el ambiente al que está sometida, lo cual conlleva a que la hidratación de monóxido de calcio la convierta en hidróxido de calcio, donde este es el causante de activar las bacterias, y estas tomarán el dióxido de carbono (CO₂) que se encuentra en el aire para convertirlo a carbonato de calcio.

La segunda sucede cuando el ion de carbonato de calcio (Ca^{2+}) se precipita y produce la piedra caliza, lo cual es lo que se busca con el fin de que sean selladas las fisuras.

En la siguiente tabla, se hace un análisis comparativo de los diferentes métodos de reparación del concreto, de encapsulados químicos y bacteriano, adiciones minerales y químicos en micro-tubos, con el tiempo de vida útil, distribución, recuperación de propiedades mecánicas, confiabilidad, versatilidad, repetibilidad, de cada uno de ellos.

MATRIZ COMPARATIVA DE DESEMPEÑO

	Encapsulación Química	Encapsulación Bacteriana	Adiciones Minerales	Químicos en Microtubos
Tiempo de Vida	Larga Vida Dependiendo del Agente Químico	No menos de 6 meses	Larga Vida mientras la adición no se hidrate	Larga Vida Dependiendo del Agente Químico
Distribución	Dispersión Uniforme en la masa de concreto	Dispersión Uniforme en la masa de concreto	Dispersión Uniforme en la masa de concreto	Orientación discreta donde se preveen fisuras
Recuperación de Propiedades Mecánicas	Sellado completo, aún no se conoce grado de recuperación	Sellado completo, recuperación mínima	Sellado completo, aún no se conoce grado de recuperación	Sellado y recuperación extensos pero no completo
Confiabilidad	Aún en evaluación	Aún en evaluación	Aún en evaluación	Aún en evaluación
Versatilidad	Mecanismo Independiente de agentes externos	Requiere presencia continua de humedad	Requiere presencia continua de humedad	Mecanismo Independiente de agentes externos
Repetibilidad	Aún en evaluación	Aún en evaluación	Aún en evaluación	No es repetible

Tabla 3 Matriz comparativa de los diferentes tipos de reparación del concreto (Úbeda Bernabé, C., 2014)

ETAPA III

ANÁLISIS BACTERIANO

Después de haber definido claramente lo que es el hormigón autorreparable y algunos aspectos claves del mismo, es necesario comenzar a definir algunas características importantes de la microbiología, antes de plasmar algunos aspectos importantes según algunos autores.

Las bacterias son un tipo de microorganismo los cuales se originan por fisión binaria, la cual también se conoce como bipartición. De este tipo de especie existe una gran variedad de tamaños, donde normalmente tienden a variar entre los 0,2 μm hasta los 40 μm .



Ilustración 10 Bacillus (iStock, 2009)

Estas bacterias son las encargadas de producir endosporas, las cuales son resistentes a los agentes físicos y químicos. Esto se debe a que en su interior posee glucosa. El crecimiento bacteriano varía a razón de la naturaleza y en el medio en el que se encuentren, principalmente depende de la temperatura, pH, nutrientes, etc.

En el siguiente grafico se explica el crecimiento en función del tiempo, el cual se representa mediante el logaritmo del número de células.

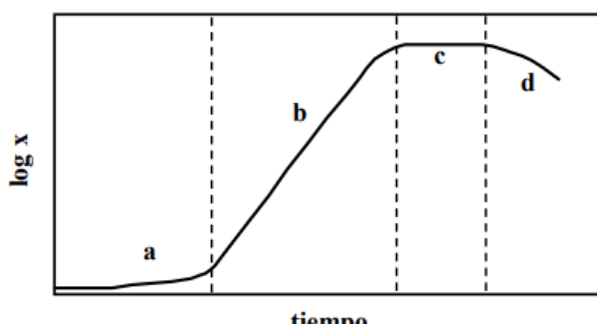


Ilustración 11 Periodo de los microorganismo con base al tiempo. (Apella, M., & Araujo, P., 2006, 20 abril).

Se pueden observar 4 periodos:

- a) que es el periodo de latencia o lag.
- b) periodo logarítmico
- c) periodo estacionario
- d) periodo de muerte

Al inicio en el periodo a, se necesita que las bacterias se adapten en el medio en el que se encuentran, en este periodo las células se involucran con los nutrientes. En el periodo b, es cuando las células comienzan a dividirse con base al tiempo, cuando esta disminuye su crecimiento con base a su velocidad es cuando se da lo que se conoce como periodo c y cuando estas células que se encuentran vivas comienzan a disminuirse es cuando se encuentra en el periodo de muerte.

Se debe tener en cuenta que entre cada periodo se presenta un tiempo necesario para que se pueda llevar a todo el proceso y poder proceder al periodo siguiente.

Filtración del agua

Para nadie es un secreto que los materiales cementosos poseen una estructura porosa que a medida que transcurre el tiempo se ve afectada la vida útil de las construcciones esto se debe porque en base a estos poros se empiezan a introducir diferentes tipos de partículas extrañas a parte de la absorción del agua, cambiando la fase acuosa del hormigón y a su vez dañando la parte central de la estructura.

Esto ocurre cuando los techos, las paredes y los pisos están llenas de agua, lo que hace que baje o suba dañando a los materiales a medida que esta transcurre. Una vez este ha empapado la estructura comienza a aparecer lo que llamamos como filtraciones.

Se debe tener en cuenta que en algunas ocasiones las estructuras suelen estar construidas sobre un suelo húmedo, lo cual en su mayoría de casos suele subirse el nivel freático, y esto provocará que el agua se filtre por medio de los muros que están en contacto con el suelo y a su vez si esta no es tratada generará un desplome de la estructura.



Las filtraciones se deben a tres posibles causas:

- Fisuras que se generan en las juntas de construcción
- Permeabilidad del concreto
- Grietas

En la permeabilidad hay algo muy importante denominado “la red de poros”, ya que esta es una de las características más importante por su gran acceso a los poros, pero a su vez esta puede ser obstruida mediante el proceso que se conoce como biomineralización. A raíz de esto es que adicionando bacterias + nutrientes al material cementante se produce la mezcla que logra llenar esos vacíos que tiene el hormigón y así logrando que ocupe el volumen de los poros con mayor presencia en el concreto. Dando validez a la investigación realizada por Srinivasa Reddy V y demás compañeros de la investigación.

Permeabilidad del cloruro

Los iones de cloruro son los que se encargan de derribar la capa que cubre el acero en el concreto cuando este es sometido a condiciones alcalinas con Ph elevados entre 12.5 a 13.5

Mediante la segunda ley de Fick (estado no estacionario) se puede calcular la penetración de cloruros:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right)$$

Donde:

D: Es el contenido de difusión aparente

c: Es la cantidad de concentración de cloruros

x: Es la profundidad

t: Tiempo

Microorganismos y acciones al hormigón

Las bacterias aérobicas necesitan una cantidad de oxígeno superior a 1 g/l y las anaeróbicas solo necesitan 0,1 g/l.

Muchos microorganismos poseen la capacidad de oxidar hidrocarburo, lo cual conlleva a producir el dióxido de carbono. Además de esto producen sales, y ácido acético.

A continuación, se muestra algunos tipos de microorganismos y la acción que generan.

MICROORGANISMOS	ACCIONES
Bacterias	La mayoría necesita CO ₂ para sus procesos metabólicos y excretan ácidos orgánicos, oxidan el azufre en sulfato, el cual se mezcla con el cemento para formar sulfato de calcio que produce ataque de sulfatos en el concreto. Además, forman nitratos, ácido sulfúrico, ácido acético y gas sulfhídrico causante de corrosión del acero.
Hongos	Los hongos son vegetales inferiores abundantes en el suelo y aire. Producen daños mecánicos por el agrietamiento que causa el crecimiento de raíces dentro del concreto, además de ataque de ácidos orgánicos y formación de manchas y moho.
Algas, líquenes y musgos	Son organismos vegetales (plantas) relacionadas con medio acuático. Utilizan el calcio y magnesio del cemento como alimento, generan grietas y fisuras que facilitan la entrada de sustancias agresivas.

Tabla 4 Microorganismo y acciones en el concreto (Úbeda Bernabé, C., 2014)

Una vez la sustancia haga contacto con la mezcla de concreto u hormigón, el cloruro y la sal debilitarán completamente la colocación, por lo que es necesario reforzar el hormigón con barras de acero para que estas grietas no se ensanchen y engrosen y a su vez aumentar su resistencia.

El ancho de una fisura suele ser de 0.15 mm a 0.35 mm, las fisuras formadas perpendicularmente a la armadura tienen la posibilidad de ser menos agresivas que las originadas paralelamente.

Mediante el procedimiento se lleva a cabo la implementación de bacterias, que en este caso sería dos; la *Bacillus pseudofimus* y la *Sporosarcina pasteurii*. De tal modo que la principal bacteria vendría siendo la primera, la cual se encuentra en la esencia, a menudo en el adoquinado, conservando un pH demasiado elevado a diferencia de otras bacterias, Así, en este caso se caracteriza en el grupo de bacillus anaerobias.

ETAPA IV

APORTES Y ESTUDIOS DE ALGUNOS AUTORES EN EL TRANCURSO DEL TIEMPO

Con el paso del tiempo muchos científicos han venido realizando una serie de estudios para mitigar o reducir el costo y viabilidad de muchos materiales en el ámbito de la construcción, todo esto con la finalidad de que sean más accesibles y a su vez tengan un gran impacto en la industria de la construcción.

Año 2013

Lucia Villalba, una estudiante de ingeniería en petróleo de la Universidad Tecnológica Equinoccial, elaboró una investigación sobre la aplicación de un concreto que se autocurara y además de esto fuera resiliente para cementar pozos de alto ángulo en campo de Petroamanozonas, lugar en el cual realizó el análisis para la aplicación del hormigón autorreparable, en donde gracias a los procesos y análisis que realizó llegó a la conclusión que la lechada autocurable – elástica este era factible en cuanto a gastos y además de esto era resistente. (Villalba, 2013)

Año 2015

Este es el año en el que el científico Henk Jonkers, en la Universidad Técnica de Delft, en Países Bajos, desarrollaron el bio-concreto.

“Nuestro concreto va a revolucionar la forma en que construimos, porque estamos inspirados por la naturaleza”, señaló Jonkers cuando fue nominado al mejor inventor

europeo en el año 2015, además de esto también señaló que no existía un límite en cuanto a la longitud de la grieta que el material no fuera capaz de reparar, que no importaba si esta variaba desde centímetro hasta kilómetros, pero que si había una restricción en cuanto su ancho, y es que las grietas no debían sobre pasar los 8 mm de grosor.

En Reino Unido para este año se realizó la primera prueba de hormigón auto curativo, la cual estaba a cargo por un grupo de científicos de la Escuela de Ingeniería, el proyecto se titulaba “Materiales para la vida (M4L), en el cual estaban implementando 3 tecnologías de curación de concreto, con la finalidad de que fueran implementadas en un futuro y así usarse para que el hormigón se reparara automáticamente.

V Srinivasa Reddy, MV SeshagiriRao and S Sushma, ellos estudian el cambio en la resistencia a la compresión del concreto mediante la implementación de Bacillus Subtilis. En este estudio se elaboraron bloques de concreto, previamente curados. Donde a una concentración de más o menos 105 por cada ml se obtuvo como resultado un aumento de a la resistencia.

Año 2016

B. Naveen y S.Sivakama sundari, ellos elaboraron un estudio el cual se basaba sobre la autorreparación del hormigón con base a la calcita, donde dicho estudio se basaba

en someter a la bacterias por medio de una matriz de gel y una fuente de calcio. Con esto se pudo obtener como resultado una mejora en las fisuras o grietas. Dicho proceso se observó mediante medios visuales.

Chintalapudi Karthik y Rama Mohan Rao P., estos autores para su estudio se centraron básicamente en implementar la bacteria *Bacillus subtilisaureolítica*. Como habíamos explicado antes *Bacillus subtilis* precipita CaCO_3 en un medio fuertemente alcalino, el cual sella las grietas. Dicho proceso se analiza mediante un microscopio electrónico de barrido. El biotratamiento, también aumentó la resistencia de la estructura, redujo la permeabilidad, reduciendo de este modo los costos de en cuanto a mantenimiento y reparación de la estructura.

ETAPA V

COMPARACIÓN ENTRE EL HORMIGÓN AUTORREPARABLE Y EL HORMIGÓN CONVENCIONAL

Se podría decir que la diferencia principal es que el hormigón o concreto autorreparable tiende a ser más dúctil, mientras que el convencional tiende a ser un poco más frágil.

Se pudo comprobar mediante una serie de ensayos realizados en laboratorios que las deformaciones por tracción en el hormigón autorreparable tienden a ser 5 veces mayor que el hormigón convencional. Según el (ACI, 2017)

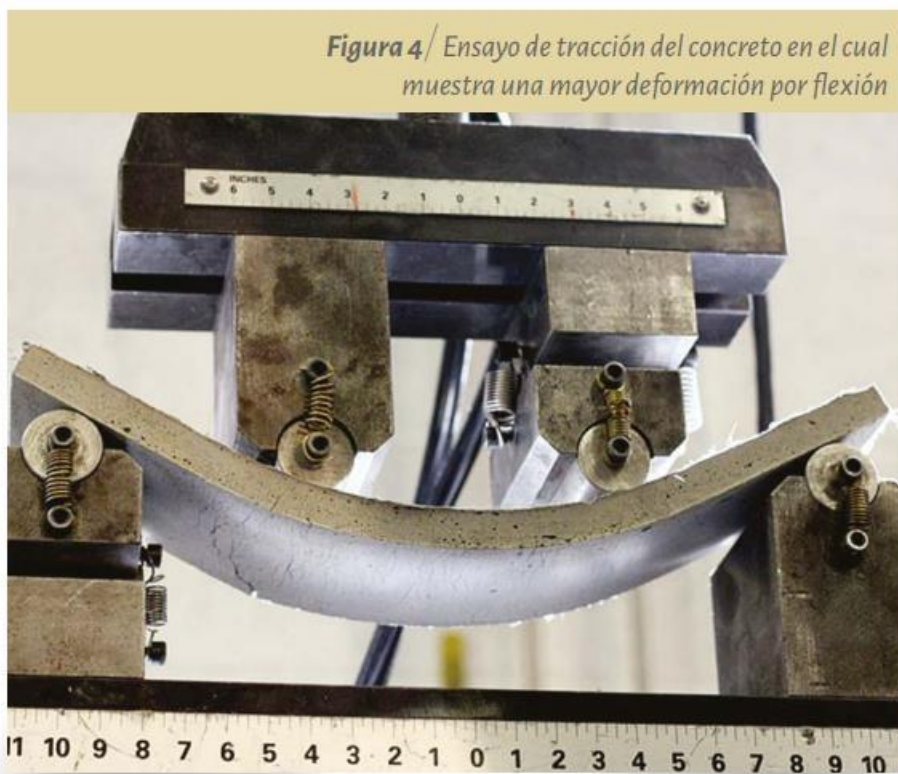


Ilustración 13 Ensayo a tracción del concreto. (Ponce, C. F., Huamani, S. K., & Sánchez, E., 2015)

Como se ve reflejado en la siguiente tabla donde se puede evidenciar que el hormigón con la presencia de bacterias es mucho más viable que el hormigón tradicional.

S N°	Nº. of days	Split tensite strength of conventional concrete cylinders subes, N/nm ²	Splise tensile strength B. sphaericus concrete cubes, N/nm ²	% increase in strength
1.	3	3.78	4.30	13.75
2.	7	4.62	5.28	14.28
3.	28	4.85	5.74	18.35

Tabla 5 Comparación de los valores en cuanto a la resistencia a la tracción entre el hormigón convencional y el autorreparable (Ponce, C. F., Huamani, S. K., & Sánchez, E., 2015)

Como se puede evidenciar la resistencia a la tracción obtuvo un incremento significativo, durante los 3 primeros días obtuvo un incremento del 13,75%, a los 7 días un 14,28% y a los 28 días obtuvo un 18,35% demostrando así que el hormigón autorreparable posee una mayor resistencia en cuanto a la tracción.

S N°	Nº. of days	Split tensite strength of conventional concrete cylinders subes, N/nm ²	Splise tensile strength B. sphaericus concrete cubes, N/nm ²	% increase in strength
1.	3	19.24	25.16	30.76
2.	7	23.66	34.58	46.18
3.	28	34.52	45.72	32.21

Tabla 6 Comparación de los valores en cuanto a la resistencia a la compresión entre el hormigón convencional y el autorreparable (Ponce, C. F., Huamani, S. K., & Sánchez, E., 2015)

En esta tabla se puede visualizar que el hormigón autorreparable mejor la resistencia a la compresión, en un 30,76% durante los 3 primeros días, 46,15% para los 7 días y en un 32,21% para los 28 días comparado con el hormigón tradicional.

Efectos sobre la humectabilidad

El hormigón autorreparable como se explicó anteriormente tiende a obtener una mayor adsorción del agua en cuanto al convencional o tradicional. Esto según la prueba de laboratorio Capillary Water Suction, la cual es un ensayo donde se pudo evidenciar el aumento o la reducción en cuanto a la adsorción del agua.

Efectos sobre la durabilidad

Un bio-hormigón no sufre cambios en su composición química por efectos de agua lluvia, las cuales son sustancias acidas, que usualmente tienden a provocar oxidación en un concreto convencional. En un concreto autorreparable la presencia de estas bacterias son las encargadas de que el agua no sea penetra en dicho hormigón.

Al momento de realizar una obra en zonas aledañas al mar se deben de implementar sustancias o un tipo de cemento que sea anti corrosible, un hormigón autorreparable posea las características necesarias para no presentar corrosión.

El hormigón autorreparable tiene mejores propiedades cuando este se encuentra ya endurecido, esto debido a que el proceso de autocuración su permeabilidad disminuye.

Economía

Como ya sabemos en la construcción la mayoría de costos de reparación se deben a grietas las cuales se presentan o tienden a salir durante la vida útil del concreto. Por lo tanto, implementar esta nueva tecnología ahorra costos por reparación, pérdida de tiempo y no causará molestias a las personas aledañas por ruidos, polvo o demás problemáticas que suelen presentarse cuando se está realizando una obra. Ahora bien, un hormigón autorreparable tiende a ser 3 veces más costoso que el hormigón convencional, pero esto es compensado al evitar los gastos de reparación debido a grietas con el paso del tiempo. Lo cual estos gastos por reparación tienden a ser muy costos, y por esta razón muchas veces las estructuras suelen ser demolidas porque suele ser más económico realizar una obra nueva. Es por esto que, a largo tiempo, suele ser más económico, más viable y más rentable implementar el bio-concreto.

FACTIBILIDAD DEL HORMIGÓN AUTORREPARABLE

En el transcurso de este escrito se mencionó lo importante que es este cuando se trata de sellar grietas o fisuras y lo viable que es, además de esto ayuda a minimizar a los daños que suelen aparecer a medida que transcurre el tiempo, como lo es la pérdida en cuanto a resistencia del mismo que usualmente se pierde cuando es sometido a humedad, la presencia de aguas lluvias la cual es la principal de la oxidación del acero o el deterioro de la estructura. Las estructuras también se encuentran expuestas a variaciones físicas como lo son una sobrecargar, expansión del mismo y los famosos asentamientos del concreto.

Este tipo de hormigón es bastante viable ya contribuye con aspectos diferentes, esto debido a que este presenta mejoras significativas en cuanto a la vida útil de una estructura, permitiendo, así como se mencionó anteriormente tener un ahorro en costos y permitiendo a su vez que los proyectos directamente sean más rentables. Esto también ayudará significativamente con nuestra madre naturaleza, reduciendo la contaminación en cuanto a los procesos estructurales que conlleva la reparación manual de las estructuras, también reduce el uso de recursos en cuanto a producción de hormigón al momento de reparar las fisuras manualmente. (D., 2018)

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- A pesar de que el costo inicial de un hormigón autorreparable puede ser hasta 3 veces más costoso que el hormigón usualmente utilizado, este con el pasar del tiempo este será mucho más económico porque se evitaría los costos por mantenimiento de las estructuras que en el campo de la ingeniería civil suele ser uno de los gastos más costos.
- Lo que se debe considerar para que las bacterias crezcan y estén sean capaces de formar carbonato de calcio, es el pH el cual debería varía entre los 8 hasta los 10, ya que en este rango es donde se podría lograr una mayor producción.
- Se pudo evidenciar que el concreto con la implementación de las bacterias sería un material mucho más resistente en cuanto a los esfuerzos de tensión y compresión, donde se obtienen un porcentaje relativamente alto en cuanto a la comparación entre el convencional y el autorreparable.
- Para poder obtener una buena cantidad de carbonato de calcio y a su vez una cura de hasta más del 90% de las fisuras, se debe de tener en cuenta la temperatura.
- Con el pasar del tiempo un concreto convencional tiende a debilitarse, siendo menos dúctil y poco resistente, esto se debe principalmente a la presencia de humedad, la cual esta es adsorbida produciendo corrosión, mientras que un hormigón autorreparable, sus bacterias son las encargadas de impedir el paso del agua.
- La implementación de hormigón reparable en la sociedad traería un impacto positivo a nivel ambiental, este reduciría en gran cantidad la contaminación debido a que se evitaría los procesos de contaminación que llevan el mantenimiento por fisuras de las estructuras.

- El bio-concreto mediante el estudio de Jonkers se pudo evidenciar que este es capaz de cerrar las fisuras, el cual en su ensayo logró que en 100 días un llenado o sellado de las fisuras.
- Gracias a las investigaciones que en el transcurso del tiempo se han hecho, se logró llevar a cabo con esta investigación, dan como resultado el gran beneficio que se obtendría con el uso de un hormigón autorreparable.
- Este concreto puede ser utilizado en el campo de la construcción en cualquier tipo de obra, pero tiende a ser más utilizado en puentes, vías, canales de irrigación y puertos marítimos

REFERENCIAS

□ *Hormigón Autorreparable: TODO acerca de este nuevo material.* (2020, 28 junio).

MECACON S.R.L. Construcciones y Servicios.

<https://dehormigon.com.ar/hormigon->

[autorreparable/#:%7E:text=El%20hormig%C3%B3n%20autocurable%20es%20un,haciendo%20las%20construcciones%20m%C3%A1s%20rentables.](https://dehormigon.com.ar/hormigon-autorreparable/#:%7E:text=El%20hormig%C3%B3n%20autocurable%20es%20un,haciendo%20las%20construcciones%20m%C3%A1s%20rentables.)

A. (2020a, octubre 26). *Concreto ciclópeo*. Arkiplus. <https://www.arkiplus.com/concreto-ciclopeo/>

A.C.I. (2021a). *precast concrete Topic*. Aci.

<https://www.concrete.org/topicsinconcrete/topicdetail/precast%20concrete?search=precast%20concrete>

Alcaraz, J., & Parra Costa, C. J. (2015, mayo). *Hormigones auto-regenerantes: Mecanismos y procesos de autosellado de fisuras*. reposorioUPTC.

<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5371/hac.pdf?seq>

Alvarado, F. P. (2018, 11 abril). *bacillus pseudofirmus*. Prezi.Com.

https://prezi.com/tak6joz8u_z1/bacillus-pseudofirmus/

Álvarez, J. (2017, 23 mayo). *Inventan un hormigón autorreparable hecho con bacterias*.

La Brújula Verde. <https://www.labrujulaverde.com/2015/05/inventan-hormigon-autorreparable-hecho-bacterias>

Apella, M., & Araujo, P. (2006, 20 abril). *Microbiología de agua. Conceptos básicos* [Ilustración]. solarsafewater.

https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf

Avendaño, E. (2006). *Detección, tratamiento y prevención de patologías en sistema de concreto estructural utilizados en infraestructura industrial*. Universidad de Costa Rica.
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/936/1/27252.pdf>

Barbero, J. M. (2015, 6 octubre). *Hormigón autorreparable*. JM3 Studio.

<https://jm3studio.com/hormigon-autorreparable/>

BBC News Mundo. (2016, 26 agosto). *El revolucionario bio-concreto, el material que se repara a sí mismo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-37199563>

Beltrán, S. G. M. (2016). *Hormigón autoRreparable con bacterias y reforzado con fibras naturales: Principios y aplicaciones en Ecuador*. Dialnet.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6200507>

biblioteca udep. (2017). *SINTOMATOLOGÍA EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO*.

http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_122_180_80_1138.pdf

Blog, S. (2017, 2 junio). *Hormigón autorreparable; es casi perfecto*. Structuralia blog.

<https://blog.structuralia.com/hormigon-autorreparable-es-casi-perfecto>

Buenas bacterias. El futuro de los microbios en la manufactura. (2018, 3 octubre). Blog de Bioingeniería | Universidad de Ingeniería UTEC.

<https://www.utec.edu.pe/blog-de-carreras/bioingenieria/buenas-bacterias-el-futuro-de-los-microbios-en-la-manufactura>

Cabezas Cantos, N. A., & Valarezo Arciniega, R. N. (2019, noviembre). *Elaboración de hormigón auto reparable con encapsulado químico*. Reposorio.

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/20519/1/T-UCE-0011-ICF-218.pdf>

Chile.cubica. (2016). *BIO-CONCRETO* [Ilustración]. Chile.cubica.

<https://www.chilecubica.com/materiales-de-construcci%C3%B3n/bio-concreto/>

Construction Biotech. (2020, 4 abril). *BIOCONCRETO AUTORREPARABLE* [Vídeo].

YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=1MtVZ1Rjahs>

Constructivo, R. (2019, 26 diciembre). *Concreto autorreparable: la nueva industria de los materiales inteligentes*. Revista Constructivo.

<https://constructivo.com/noticia/concreto-autorreparable-la-nueva-industria-de-los-materiales-inteligentes-1577371100>

Construyendo.com. (2018). *TIPOS DE CONCRETO - cualidades y diferencias de los concretos*. construyendo. <https://construyendo.co/concreto/tipo-concreto.php>

D. (2018a, mayo 28). *Bioconcreto, el concreto que se auto repara*. Dificonsa.

<https://www.dificonsa.com/bioconcreto-concreto-se-auto-repara/>

DANE. (2022, 8 marzo). *Indicadores Económicos Alrededor de la Construcción (IEAC)*

[Comunicado de prensa]. [https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indicadores-economicos-alrededor-de-la-construccion#:~:text=En%20el%20cuarto%20trimestre%20de,valor%20agregado%20del%20sector%20construcci%C3%B3n.)

[tema/construccion/indicadores-economicos-alrededor-de-la-](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indicadores-economicos-alrededor-de-la-construccion#:~:text=En%20el%20cuarto%20trimestre%20de,valor%20agregado%20del%20sector%20construcci%C3%B3n.)

[construccion#:~:text=En%20el%20cuarto%20trimestre%20de,valor%20agregado%20del%20sector%20construcci%C3%B3n.](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indicadores-economicos-alrededor-de-la-construccion#:~:text=En%20el%20cuarto%20trimestre%20de,valor%20agregado%20del%20sector%20construcci%C3%B3n.)

DAZA, O. E., & GUARNIZO, F. (2020). *REVISION BIBLIOGRAFICA ENTRE EL CONCRETO AUTO REPARABLE Y EL CONCRETO CONVENCIONAL*.

repository.ucatolica.

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25914/1/T.G%20Revision%20bibliografica%20entre%20el%20concreto%20autorreparable%20y%20concreto%20convencional%202.pdf>

Dekker, E. [TU Delft]. (2019, 6 octubre). *Bio-concrete* [Vídeo]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=PyBR3PDPa-c>

Eche Espinoza, F. A., & Espinal Puicón, C. A. (2019). *Efectividad de la Sporosarcina pasteurii como controlador de material particulado en el distrito de José Leonardo Ortiz*. reposorio.ucv.

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/56514/B_Eche_EFA-Espinal_PCA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

euronews (en español). (2015, 24 marzo). *Un hormigón bacteriano que repara sus propias fisuras - futuris* [Vídeo]. YouTube.

https://www.youtube.com/watch?v=AKkk0Jwyr_8

F.A.L.L.E.W.A.Y.E.R. (2015, 15 mayo). *Lo nuevo, un 'bioconcreto' que repara sus fisuras con bacterias*. Noticias curiosas de tecnología y cosas poco comunes.

https://quecurioso.wordpress.com/2015/05/15/bioconcreto_bacterias_henk_jonkers/

Girón Vargas, H. A. (2012). *Ataque por cloruros en el concreto*. revista.

<https://www.imcyc.com/revista/1998/oct/ataque.htm>

Gómez, S., & Hernández, C. (2009, 21 octubre). *Vista de Bacillus sphaericus: biocontrolador de vectores que producen malaria, fiebre amarilla y dengue*.

NOVA. <https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/nova/article/view/144/289>

Homestratosphere's Editorial Staff & Writers. (2019, 31 julio). *16 Different Types of Concrete*. Home Stratosphere. <https://www.homestratosphere.com/types-of-concrete/>

Hormigón, características y usos - Bricomanía. (2022, 7 marzo). Hogarmania.

<https://www.hogarmania.com/bricolaje/taller/materiales/hormigon-caracteristicas-usos-26838.html>

Hormigón - Construmatica. (2012, enero). construmatica.

<https://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n>

Hormigón autorreparable. (2018). [Ilustración]. termiser.

<https://www.termiser.com/hormigon-autorreparable/>

Hormigón autorreparable, así es el futuro de la construcción. (2018, 28 agosto).

termiser, plataformas y andamios. <https://www.termiser.com/hormigon-autorreparable/>

Hormigón bacteriano: un material autorreparable y autorreplicable. (2019). *Hormigón*

bacteriano: un material autorreparable y autorreplicable. IMNOVATION.

https://www.imnovation-hub.com/es/construccion/hormigon-bacteriano-material-autorreparable-autorreplicable/?_adin=02021864894

humetek. (2015). *Filtraciones que inician en el suelo* [Ilustración]. humetek.

<https://humetek.com/humedad-capilaridad/las-humedades-que-se-inician-en-el-suelo-y-van-subiendo-por-el-muro/>

I. (2022, 28 febrero). *Hormigón Autorreparable: ¿qué es y cómo funciona?* Inarquia.

<https://inarquia.es/hormigon-autorreparable-que-es-como-funciona/>

Ibarra, H. L. (2019, 23 octubre). *Hormigón autorreparable estudio sobre la reparación*

de microgrietas. UPCommons. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/170710>

Kömmerling, R. (2019, 11 diciembre). *El hormigón que se autorepara.* Reto

KÖMMERLING. <https://retokommerling.com/el-hormigon-que-se-autorepara/>

Marketing. (2021, 15 septiembre). *Usos del hormigón armado en la construcción.*

Ingenieros Asesores. <https://ingenierosasesores.com/actualidad/usos-del-hormigon-armado-en-la-construccion/>

Mishra, G. (2018a, septiembre 6). *23 Types of Concrete Used in Construction and their Applications.* The Constructor. <https://theconstructor.org/concrete/types-concrete-applications/19779/>

Mishra, G. (2018b, septiembre 6). *23 Types of Concrete Used in Construction and their Applications.* The Constructor. <https://theconstructor.org/concrete/types-concrete-applications/19779/>

MONTEJO ESPITIA, J. U. L. I. Á. N. S. A. N. T. I. A. G. O. (2015, agosto). *BIO PRECIPITACIÓN DE CARBONATO DE CALCIO: UNA ALTERNATIVA PARA LA REPARACIÓN DE FISURAS EN CONCRETO.* REPOSORIOUNIANDES. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/17788/u714290.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Osorio, J. D. (2011, 5 agosto). *CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO EN OBRA* [Comunicado de prensa]. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/control-de-calidad-del-concreto-en-obra#:~:text=Conclusi%C3%B3n,El%20control%20de%20calidad%20debe%20tener%20un%20car%C3%A1cter%20>

P. (2021b, marzo 19). *Las ventajas del Hormigón autorreparable o lumínico.*

Prefabricados Saiz. <https://prefabricadossaiz.com/las-ventajas-del-hormigon-autorreparable-o-luminico/>

Palmer Lozada, M. A., & Pulido Vargas, I. D. (2020). *Aplicación de bacterias Bacillus Pseudofirmus para mejorar las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, en*

- San Martín de Porres, 2020. repositorio.ucv.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/58141/Palmer_LM_A-Pulido_VID-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ponce, C. F., Huamani, S. K., & Sánchez, E. (2015). Los beneficios del uso de bacterias en el concreto autorregenerante. *CIVILIZATE*, 7, 1–3.
- Promallas. (2020, 22 julio). *Concreto postensado* [Ilustración]. Promallas.
<https://promallascr.com/el-concreto-postensado/>
- R. (2021c, junio 17). *El hormigón autorreparable que come CO2 para rellenar sus propias grietas en 24 h*. EcoInventos. <https://ecoinventos.com/hormigon-autorreparable-que-come-co2/>
- RM, J. A. (2008, 4 agosto). *Pieza pretensada* [Ilustración]. vivir hogar.
<https://vivirhogar.republica.com/general/procedimiento-de-fabricacion-de-piezas-pretensadas.html>
- SciePro. (2009, 12 febrero). *Bacillus* [Ilustración]. istock.
<https://www.istockphoto.com/es/foto/ilustraci%C3%B3n-de-bacterias-gm117702384-8493122>
- Serrano-Guzmán, M. F. (2007). *Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad estático del concreto*. Scielo.
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112010000100002#:~:text=El%20m%C3%B3dulo%20de%20elasticidad%20del,materiale%20\(Pauw%2C%201960\).](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112010000100002#:~:text=El%20m%C3%B3dulo%20de%20elasticidad%20del,materiale%20(Pauw%2C%201960).)
- Toirac Corra, J. (2009, diciembre). *LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN, CONDICIÓN NECESARIA PERO NO SUFICIENTE PARA EL*

LOGRO DE LA DURABILIDAD DE LAS OBRAS. redalyc.

<https://www.redalyc.org/pdf/870/87014516001.pdf>

Úbeda Bernabé, C. (2014, septiembre). *Estudio comparativo de hormigones autosellantes*. Universidad Politécnica de Madrid. <https://oa.upm.es/32197/>

Villalba, M. L. (2013, agosto). *ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE UN CEMENTO AUTOCURABLE Y ELÁSTICO PARA CEMENTACIONES EN POZOS DE ALTO ÁNGULO EN CAMPOS DE PETROAMAZONAS*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL.

http://192.188.51.77/bitstream/123456789/5221/1/53320_1.pdf

(2018). *Hormigon prefabricado* [Ilustración]. WAM. https://wamgroup.cl/es-ES/WAMCL/SDetail/S13294/SOL_PRE/Produccion-prefabricado-de-hormigon

(2020b). *Concreto Estructural*. konkretar. <https://konkretar.com/nuestros-productos/concreto-estructural/>