



Universidad
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERIA ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**Análisis de técnicas para la reparación de fisuras
en elementos de concreto armado en edificaciones**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER
EN INGENIERÍA CIVIL**

Autora

Quiroz Mendoza Maria Manuela

<https://orcid.org/0000-0001-9425-2142>

Asesora

PhD. Heredia Llatas Flor Delicia

<https://orcid.org/0000-0001-6260-9960>

Línea de Investigación

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y la
Industria en un Contexto de Sostenibilidad**

Sublínea de Investigación

**Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e
Infraestructura**

Pimentel – Perú

2024




DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe la **DECLARACIÓN JURADA**, soy Estudiante del Programa de Estudios de la escuela académica profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autora del trabajo titulado:

Análisis de técnicas para la reparación de fisuras en elementos de concreto armado en edificaciones.

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito i, original y auténtico.

En virtud de lo antes mencionado, firma:

| | | |
|------------------------------|---------------|---|
| Quiroz Mendoza Maria Manuela | DNI: 76345167 |  |
|------------------------------|---------------|---|

Pimentel, 12 de septiembre de 2024

PAPER NAME

QUIROZ MENDOZA_MARIA

AUTHOR

-

WORD COUNT

3075 Words

CHARACTER COUNT

16647 Characters

PAGE COUNT

18 Pages

FILE SIZE

19.8KB

SUBMISSION DATE

Sep 12, 2024 5:25 PM GMT-5

REPORT DATE

Sep 12, 2024 5:25 PM GMT-5

● **17% Overall Similarity**

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 13% Internet database
- 11% Submitted Works database
- 2% Publications database

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a mi familia padres y hermanos que siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente; amigos por su colaboración y motivación en este proceso.

Agradecimiento

A Dios por la sabiduría y salud, a mi familia por la confianza y el apoyo incondicional a mis amigos por su tiempo orientación y colaboración en el transcurso de la carrera.

Índice

| | |
|---|----|
| Dedicatoria | 3 |
| Agradecimiento | 5 |
| Índice..... | 6 |
| Resumen..... | 7 |
| Abstract..... | 8 |
| I. INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1.1. Realidad problemática..... | 9 |
| 1.2. Formulación del problema | 11 |
| 1.3. Hipótesis | 12 |
| 1.4. Objetivos | 12 |
| 1.5. Teorías relacionadas al tema | 12 |
| II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN | 13 |
| III. RESULTADOS Y DISCUSIONES..... | 14 |
| IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES..... | 18 |
| V. REFERENCIAS | 20 |

Resumen

EL concreto es un material compuesto de construcción que más se utiliza en la actualidad, teniendo como principal desafío evitar la formación de fisuras ya que las apariciones de estas influyen en gran medida su f_c del concreto como también su vida útil. Este artículo de revisión tiene como objetivo describir las técnicas de reparación de fisuras más eficientes, además de conocer el ancho de las fisuras permisibles de acuerdo a la condición de exposición de la estructura. Para ello se revisó artículos correspondientes a las bases de datos Scopus y páginas web confiables. En los resultados se evidenció que las nuevas técnicas de reparación de fisuras recuperan su resistencia del concreto en un porcentaje mayor al 50%, siendo la más aplicada por autorreparación. En conclusión, se determinó las técnicas más eficientes por autorreparación mediante bacterias alcalófilas restaurando el 80.9 % de su f_c , también la técnica de aplicación de lechada con resina epoxi mejorando la resistencia y rigidez notando el impacto positivo de la resistencia por división y se conoció las dimensiones aceptables de las fisuras.

Palabras Clave: fisuración, concreto, reparación de fisuras, técnicas.

Abstract

Concrete is a composite construction material that is most used today, having as its main challenge to avoid the formation of cracks since the appearance of these greatly influences its f'c of the concrete as well as its useful life. This review article aims to describe the most efficient crack repair techniques, in addition to knowing the width of the permissible cracks according to the exposure condition of the structure. For this purpose, articles corresponding to the Scopus databases and reliable web pages were reviewed. The results showed that the new crack repair techniques recover the concrete's resistance in a percentage greater than 50%, being the most applied by self-repair. In conclusion, the most efficient techniques by self-repair through alkaliphilic bacteria were determined, restoring 80.9% of its f'c, also the technique of applying grout with epoxy resin improving the resistance and rigidity noting the positive impact of the resistance by division and the acceptable dimensions of the cracks were known.

Keywords: cracking, concrete, crack repair, techniques.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

El concreto armado es uno de los materiales que más utiliza en la construcción, y así mismo las fisuraciones siempre están presentes en este, en donde el presente artículo se fundamenta en nuevas técnicas para la restauración de las fisuras, en secciones de concreto reforzado, Las investigaciones han encontrado que uno de los defectos más típicos son las posibles grietas en la losa prefabricada y la plataforma de concreto, el agrietamiento es una propiedad inherente del concreto y es un problema perpetuo [1].

Las grietas observadas visualmente son a menudo una preocupación para los ingenieros de inspección porque las grietas no solo brindan acceso a productos químicos peligrosos y corrosivos dentro del concreto, sino que a menudo provocan que el agua y las sales descongelantes se infiltren en el concreto y dañen la integridad de las estructuras para ello se están implementando nuevas técnicas como la implementación de aditivos se viene desarrollando en los países más desarrollados tales como China. También, es probable que las grietas afecten la vida útil de las estructuras del concreto armado, por lo que es importante identificar, monitorear daños por grietas en estructuras de concreto en las diferentes secciones en donde se utiliza el concreto [2].

La corrosión de las de acero en el concreto es un problema importante en todo el mundo debido a los efectos de la carbonatación y el cloruro [3]. Lo cual al corroerse las barras de acero provoca la fisuración en el concreto Por otra parte también los diferentes cambios climáticos que se viene presentado en todo el mundo lo cual algunas construcciones no se proveen para dichas circunstancias antes mencionadas. Su uso para evaluar la efectividad de la reparación de grietas ha sido ampliamente estudiado. La velocidad de pulso ultrasónico (UPV) es el método de prueba no destructivo más simple

para la detección de grietas [4].

Cuando la tensión de tracción supera la resistencia de mesoescala, se producen microfisuras. Microfisuras en el ambiente debido a fuerzas externas o cambios de temperatura y humedad [5]. Así mismo también según Benvenuti & Orlando [6] las fracturas provienen del concreto no fisurado perpendicular a la dirección del esfuerzo de tracción principal máximo. Las grietas y fisuras están presentes en los edificios hechos de diferentes materiales, pero desde el punto de vista geotécnico la toma de precipitaciones es normal es decir cómo afecta su comportamiento tipo de suelo restricciones [7]. La fisuración también puede ser un síntoma para un mayor problema estructural al reducir los años de vida de la estructura e incluso un posible colapso del elemento para todas estas posibles consecuencias las fisuras y grietas [8].

Según Vilchez [9] define que una reacción química de una mezcla de agregados (cemento y agua), también llamada hidratación. El cambio de volumen provoca un cambio químico dañino en el concreto, lo que hace que cambie rápidamente de temperatura, se enfríe y provoque un agrietamiento severo. En el concreto aparecen pequeñas grietas e incluso agujeros invisibles, con un diámetro de 1 mm, su presencia está asociada a diversos cambios de humedad y temperatura. Este tipo de anomalías suelen ocurrir cuando el concreto inicia su fraguado [10].

En el mundo de la construcción se ha venido realizando diferentes ensayos para disminuir las diferentes fisuras. Las pruebas de identificación de grietas en el concreto se realizaron en una estación de trabajo portátil de alto rendimiento [11]. Las fisuras del concreto han sido una de las principales investigaciones en la ingeniería. Los estudios de reparación del concreto se basan principalmente en la aplicación de polímeros siendo una de las técnicas más utilizadas en para evitar las fisuraciones en el concreto [12].

Las fisuras son casi inevitables en el hormigón fresco y endurecido debido a razones independientes o relacionadas con la carga. Además, a menudo es difícil detectar y reparar

estas grietas y suponen una amenaza para la seguridad y durabilidad de las infraestructuras de hormigón, especialmente en aquellas con estrictos requisitos de sellado [13]. Si no es posible prevenir las grietas tempranas en el concreto durante la etapa de producción, la reparación de grietas se puede usar como una solución para proteger eficazmente el refuerzo interno contra daños [14].

Debido a la resistencia relativamente baja del concreto, es inevitable que ocurra bajo la influencia de factores externos y internos, como el agrietamiento por temperatura, el agrietamiento por tensión y el agrietamiento por poscarga [15]. A medida que avanza la corrosión con el tiempo, se produce el crecimiento de grietas en la superficie del concreto. Si se puede entender la relación entre las propiedades de agrietamiento y la tasa de corrosión o la cantidad de corrosión, es posible estimar el estado de corrosión a partir de la observación de la superficie. Cuando la inspección de grietas se ejecuta manualmente, el trabajo requiere mucho tiempo, mucha mano de obra y requiere habilidades. El monitoreo de grietas y el procesamiento de imágenes digitales son alternativas viables para las inspecciones visuales.

La evaluación manual de daños en estructuras de concreto es propensa a errores, lleva mucho tiempo y, en muchos casos, incluso pone en peligro la vida, Los enfoques tradicionales para detectar grietas se basan en técnicas convencionales de visión artificial. [16].

1.2. Formulación del problema

El concreto es un material de uso común en la construcción, pero este material en sí tiende inevitablemente a agrietarse bajo la carga de servicio como como estiramiento, flexión, torsión y/o temperatura. Ante lo mencionado nos planteamos la siguiente interrogante ¿Cuáles son las técnicas de reparación de fisuras más favorables en edificaciones de concreto armado?

1.3. Hipótesis

Las técnicas más sostenibles en la reparación de fisuras del concreto mejoran su resistencia y aumenta su vida útil.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Describir las técnicas de reparación de fisuras más eficientes.

Objetivos específicos

- Conocer los anchos de fisura razonable en el concreto con carga de servicio.
- Describir los métodos de reparación de fisuras más empleados para reparación de fisuras.

1.5. Teorías relacionadas al tema

La corrosión de las barras de refuerzo es una de las principales causas que afectan la durabilidad y la seguridad de las estructuras de concreto armado, lo que conduce a una serie de degradaciones estructurales, entre las que se incluyen:

- Agrietamiento de la cubierta de hormigón;
- Reducción del área de la sección transversal de las barras de refuerzo; y
- Pérdida de la resistencia de unión entre las barras de refuerzo corroídas y el hormigón.

Entre estas degeneraciones, el agrietamiento de la cubierta de hormigón puede ser el más peligroso para la durabilidad de las estructuras de hormigón porque puede proporcionar más túneles de transporte potenciales para agentes agresivos, lo que acelerará significativamente el proceso de corrosión y provocará un mayor deterioro de las estructuras, especialmente de aquellas expuestas al entorno marino o a sales de deshielo [17].

Las fisuras son pequeñas aberturas de hasta 1 mm de ancho que solo afectan la

superficie de una estructura de concreto. Su aparición está relacionada con variaciones en la humedad, temperatura y el estado de tensión de las armaduras.

Los elementos de concreto están virtualmente llenos de grietas debido a la naturaleza de las fabricaciones. Las grietas inherentes pueden ser insignificantes o crecer catastróficamente y provocar la falla del elemento, (por la presencia de poros) [18].

Es así como realizamos la siguiente clasificación de fisuras; según su origen:

Fisuras intrínsecas: Fisuras inherentes al concreto, provienen de la naturaleza constitutiva de sus materiales y son las siguientes: Contracción plástica, asentamiento plástico, contracción por secado.

Fisuras extrínsecas o externas: aquellas que se originan en una acción externa al material y son: Variaciones de temperatura, corrosión del acero de refuerzo, reacciones químicas y esfuerzos más allá de límite de servicio.

Independientemente de su origen, cualquier fisura puede desarrollarse al punto de afectar la rigidez, resistencia o durabilidad del elemento, llegado a este punto la fisura o grieta puede clasificarse como fisura de implicancia estructural.

Aquella fisura superficial o pasante, que se mantiene estable dentro del rango de tamaño como fisura y no tiene posibilidad de afectar la función estructural del elemento. (fisura de implicancia estética), afecta únicamente la función estética visual del elemento.

Cuando la fisura traspasa en cada extremo del espesor del elemento de concreto, es llamado como grieta [19].

II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para esta investigación se realizó la búsqueda de artículos científicos nacionales e internacionales en diferentes bases de datos confiables, para la búsqueda se emplearon palabras claves relacionadas de acuerdo al tema de estudio de reparación de fisuras en edificaciones de concreto armado, para ello se emplearon criterios de búsqueda como por

ejemplo los últimos 5 años, artículos publicados en inglés y español, nacionales e internacionales. Para el método de análisis se organizó la información según el método empleado por los autores. En la Tabla 1 se muestran los artículos empleados según la base de datos para el análisis de información.

Tabla I

Los artículos están divididos por base de datos y año de publicación.

| Base de datos | Año de publicación | | | | | Total |
|----------------|--------------------|------|------|------|------|-------|
| | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | |
| Scopus | 6 | 4 | 5 | 4 | 0 | 19 |
| Sitios web | 3 | 5 | 2 | 2 | 0 | 12 |
| Especializados | | | | | | |
| | | | | | | 31 |

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

La inspección visual ha sido la técnica más utilizada para monitorear estructuras de concreto en servicio. Los inspectores evalúan visualmente los defectos basándose en la experiencia, la habilidad y el criterio de ingeniería. Sin embargo, este proceso es subjetivo, laborioso, requiere mucho tiempo y se ve obstaculizado por el acceso exigente a numerosas partes de estructuras complejas. En consecuencia, el presente estudio propone un modelo de inspección casi automatizado basado en el procesamiento de imágenes y el aprendizaje profundo para detectar defectos en áreas típicamente inaccesibles de estructuras de concreto. Los resultados indican que el uso del clasificador Keras combinado con el procesamiento de imágenes Otsu puede lograr una precisión de clasificación

superior del 97,63 %, 96,5 % y 96,17 % para los datos de entrenamiento, validación y prueba, respectivamente, junto con un bajo error de cuantificación del 1,5 %, 5 % y 2 % para la longitud, el ancho y el ángulo de orientación de la grieta , respectivamente. El tipo de daño estructural y su gravedad se identifican en función del rango permitido de ancho de grieta de concreto para diferentes estructuras, incluidos edificios y puentes, según diferentes estándares y códigos internacionales. El método propuesto puede implementar la adquisición de imágenes mediante vehículos aéreos no tripulados para ofrecer una plataforma de inspección casi automatizada para la enorme acumulación de estructuras de hormigón envejecidas [20].

Las grietas en las superficies de concreto ocurren debido a la corrosión de las barras de acero en las estructuras marinas de concreto reforzado y otras infraestructuras, como las losas de pavimento. [21]

Afectando negativamente la durabilidad al reducir la vida útil de los edificios. El concreto es vulnerable a la contracción debido a la evaporación del agua de la superficie del mismo. Los cambios en el volumen aparente o la longitud se consideran factores importantes que influyen en las propiedades del hormigón en estado endurecido. El “agrietamiento por contracción plástica” es el resultado de esta condición, y generalmente ocurre dentro de las primeras 12 h de la colocación del concreto [22]

La revisión se realizó empleando 31 artículos indexados en las siguientes base de datos: Scopus donde se encontró 9 artículos del año 2020, 9 artículos del año 2021, 7 artículos del año 2022, 6 artículos del año 2023, 0 artículos del año 2024; para la búsqueda de los artículos se usaron las siguientes palabras claves: fisuración, concreto, reparación de grietas, edificaciones. Se incluyeron todos los artículos relacionados sobre estudios de reparación de fisuras en edificaciones de concreto armado.

Se encontró diferentes técnicas eficientes empleados para la reparación de fisuras mostradas en la Tabla 2.

Tabla II*Eficacia de las técnicas de reparación de fisuras*

| TÉCNICA | MATERIAL | RECUPERACIÓN DEL f'c DEL CONCRETO | REFERENCIA |
|-----------------|--|---|------------|
| | Bacillus cibi | Recuperó 65,91% y la mayor dimensión de fisura curada con 0.541mm. |] [23] |
| | Aditivos cristalinos | Reparación más óptima fue de 79% | [24] |
| Autorreparación | Autógeno de materiales cementicios de baja energía incorporada | de El reemplazo del cemento con 25% de piedra caliza y 25% de escoria demostró una excelente recuperación del f'c y absorción de agua | [25] |
| | Bacterias alcalófilas | Su aplicación desplaza el 50 % del agregado fino repara grietas de hasta 0,30 mm de ancho y restaura el 80,9 % de la resistencia a la compresión del concreto | [26] |
| | Inducción | La solución interna basada | [27] |

| | | | |
|-----------------------|------------------------------|---|------|
| | microbiana | únicamente en suspensión bacteriana tuvo una eficacia de mejora del 19%. | |
| Aplicación de lechada | Resina epoxi | La reparación con epoxi se presentó un coeficiente de determinación del 80%, donde su f'c a los 28 días superó los 82 MPa para todas las mezclas. | [28] |
| Aplicación de fibras | Carbono y efecto del grafeno | La eficiencia de reparación con la fibra de carbono y grafeno fue de 10.15% que las muestras convencionales. | [29] |
| | Acero con nitrato de calcio | La grieta más grande sellada medía 290 µm. las muestras que contenían microcápsulas mantuvieron una eficiencia de curación relativamente alta. | [30] |

Según los resultados analizados se encontró el ancho de fisuras aceptables de concreto armado bajo carga de servicio, las cuales se muestran en la tabla 3.

Tabla III

Guía de ancho de fisura aceptable, concreto armado bajo carga de servicio. [31]

| Condición de Exposición | Ancho de fisura | |
|---|-----------------|------|
| | in. | mm |
| Aire seco o membrana protectora | 0.016 | 0.41 |
| Humedad, aire húmedo, suelo | 0.012 | 0.30 |
| Productos químicos descongelantes | 0.007 | 0.18 |
| Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado | 0.006 | 0.15 |
| Estructuras para retención de agua | 0.004 | 0.10 |

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De los artículos seleccionados en distintas revistas científicas se ha seleccionado toda la información detallada de los autores puesto que muchos de ellos coinciden con respecto al tema, así como algunos difieren su postura. Estos resultados son relativos con lo que sostienen [29] y [28]. Se evaluó la eficiencia de sellado de grietas del concreto autorreparable a través de tetrahidrato de nitrato de calcio microencapsulado en vigas de concreto reforzado con fibra de acero, la eficiencia de reparación de las muestras mezcladas con fibra de carbono y grafeno fue mejor que las muestras sin estos. En los resultados del trabajo se pudo apreciar las técnicas de autorreparación de fisuras con diversas aplicaciones de materiales son las investigaciones que más se están aplicando (siendo respetuosos con el medio ambiente). Los autores coinciden que esta técnica contribuye a mejorar su estado inicial del elemento estructural ya sean losas, vigas, columnas sin embargo hay una variación con lo que respecta al porcentaje de recuperación de su f_c . La aparición de estas fisuras se puede controlar por medio de un adecuado

proceso constructivo y de diseño, estas fisuras, aparecen solo por única vez, una vez reparada la fisura ya no es posible que vuelva a aparecer pues el mecanismo que la origina ya no se produce más. Se concluye en lo siguiente, que las técnicas más eficientes para reparación de fisuras son la autorreparación mediante bacterias alcalófilas restaurando el 80.9 % de su $f'c$, aplicación de lechada de resina epoxi mejora la resistencia y rigidez notando el impacto positivo de la resistencia por división. Se determinó que para estructuras de retención de agua el ancho de fisura moderada es de 0.10 mm y para el aire seco y membrana protectora es de 0.41 mm, lo que permitió que cada tipo de ancho de fisuras se opte por la mejor técnica para su reconstrucción.

V. REFERENCIAS

- [1] Y. Wenlong , D. Shijie , R. Juanjuan , X. Xueshan , Z. Kaiyao y D. Wei , «Deep learning-based fast detection of apparent concrete crack in slab tracks with dilated convolution,» *Construction and Building Materials*, vol. 329, 2022.
- [2] W. Xuanyi, M. Jianfei , S. Yu , Z. Chenqiu y B. Anup , «Multi-Scale Deep Pixel Distribution Learning for Concrete Crack Detection,» 2020.
- [3] K. K. , N. T. , H. T. y S. A. , «Application of bio-based materials to crack and patch repair methods in concrete,» *Construction and Building Materials*, vol. 340, 2022.
- [4] . K. Hyunjun, L. Xiaoming , A. Eunjong , S. Myoungsu , S. W. Shin c y S. Sung-Han , «Performance assessment method for crack repair in concrete using PZT-based electromechanical impedance technique,» *NDT & E International*, vol. 104, 2020.
- [5] . Z. Yuliang, . J. Hao y W. Binglong , «Drying shrinkage crack simulation and meso-scale model of concrete repair systems,» vol. 247, 2020.
- [6] B. E. y O. N. , «Modeling mixed mode cracking in concrete through a regularized extended finite element formulation considering aggregate interlock,» *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 258, 2021.
- [7] J. Gutierrez Postellon , «Caracterización visual para curado de fisuras ligeras y resistencia a flexión en losas con fraguado inicial de pavimentos rígidos, Cañete,2022,» 2022.
- [8] H. Rivera y J. Melendez , «Recomendaciones para la reparación de

fisuras con métodos no tradicionales y métodos tecnológicos en elementos estructurales y no estructurales,» 2021.

- [9] J. Vilchez , «Evaluación del concreto aplicando fibras de polipropileno para reducir,» Lima - Perú, 2020,» 2020.
- [10] N. Paredes , «Propuesta de control de fisuras de retracción plástica con fibras de Ichu en losas de pavimentos rígidos, Canta, Lima 2022,» 2022.
- [11] Z. Hao , L. Junjie , K. Fei y Z. Jianan , «Monitoring depth and width of cracks in underwater concrete structures using embedded smart aggregates,» *Measurement*, vol. 204, 2022.
- [12] . S. Wenbo, W. Meng , . W. Lan, X. Xinhang , W. Miao y L. Tianjing , «Study of Concrete Crack Repair using Bacillus megaterium,» *Materials Science and Engineering*, 2022.
- [13] A. Burcu , M. Ali y Y. Şemsi , «State-of-art review of bacteria-based self-healing concrete: Biomineralization process, crack healing, and mechanical properties,» *Construction and Building Materials*, 2023.
- [14] Y. Doo-Yeol y S. Wonsik , «Improvement of fiber corrosion resistance of ultra-high-performance concrete by means of crack width control and repair,» *Cement and Concrete Composites*, 2021.
- [15] S. Wenbo , . W. Meng, W. Lan , X. Xinhang , . W. Miao y L. Tianjing , «Study of Concrete Crack Repair using Bacillus megaterium,» 2022.
- [16] B. Sagatov, «Study on reinforced concrete elements of buildings and structures with cracks, reinforced with composite polymer materials,» 2023.
- [17] Y. Liang y L. Wang, «Prediction of corrosion-induced cracking of concrete cover: A critical review for thick-walled cylinder models,» *Ocean*

Engineering, vol. 213, 2020.

- [18] F. A.S. , S. A.S. y . A. E.-M. H.S.S., «Mixed mode fracture behavior of fiber reinforced concrete; Experimental and numerical analysis adopting cracked Brazilian disc specimen,» 2023.
- [19] G. Perez, «Control de fisuras en vigas de concreto armado adicionando fibras de polipropileno,» *G. Perez, «Control de fisuras en vigas de concreto armado adicionando fibras de polipropileno en el A.H 12 de octubre, SMP – 2020,» 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/59787>., 2020.*
- [20] M. Flah, A. R. Suleiman y M. L. Nehdi, «Classification and quantification of cracks in concrete structures using deep learning image-based techniques,» vol. 114, 2020.
- [21] F. A.S. , S. A.S. y A. E.-M. H.S.S. , «Mixed mode fracture behavior of fiber reinforced concrete; Experimental and numerical analysis adopting cracked Brazilian disc specimen,» 2023.
- [22] J. Qiang y W. Yucheng , «Study on Calcium Carbonate Deposition of Microorganism Bottom Grouting to Repair Concrete Cracks,» 2023.
- [23] C. Orozco y I. J. A. Urbino, «Self-Healing of Cracks in Concrete using *Bacillus cibi* with Different Encapsulation Techniques,» 2022.
- [24] H. Feng Li, Q. Qian Yu, X. Yong Wang, Y. Liu y G. Zhu Zhang, «Effect of types of curing environments on the self-healing capacity of mortars incorporating crystalline admixture,» 2023.
- [25] M. Rajczakowska, I. Tole, H. Hedlund, K. Habermehl-Cwirzen y A. Cwirzen, «Autogenous self-healing of low embodied energy cementitious materials: Effect of multi-component binder and crack geometry,» 2023.

- [26] J. Pariona Tunque, «Bacterias alcalófilas en la auto-reparación de fisuras en concretos sostenibles,» 2021.
- [27] M. Jose, M. M. Hassan y W. H. Daly, «Measuring the crack-repair efficiency of steel fiber reinforced concrete beams with microencapsulated calcium nitrate,» 2020.
- [28] M. A. Abed, E. Amr, F. Jan y A. Naoulo, «Influence of Polypropylene and Steel Fibers on the Performance and Crack Repair of Self-Compacting Concrete,» 2021.
- [29] Y. QINGKUAN, W. JINBANG, Y. LIANWANG y Z. ZONGHUI, «EFFECT OF GRAPHENE AND CARBON FIBER ON REPAIRING CRACK OF CONCRETE BY ELECTRODEPOSITION,» 2020.
- [30] J. Milla, M. M. Hassan b, T. Rupnow y W. H. . Daly c, «Measuring the crack-repair efficiency of steel fiber reinforced concrete beams with microencapsulated calcium nitrate,» 2020.
- [31] Comité ACI 224R-01, «Control of cracking in concrete structures,» [En línea]. Available: <https://docplayer.es/283611-Control-de-la-fisuracion-en-estructuras-de-hormigon-informado-por-el-comite-aci-224.html>.