



Fibra para mejorar el desempeño mecánico de elementos estructurales de concreto

Fiber to improve the mechanical performance of concrete structural elements

JOAQUÍN TAMARA RODRÍGUEZ¹, CARLOS CHAVARRY VALLEJOS², LILIANA CHAVARRÍA REYES³, ENRIQUETA PEREYRA SALARDI³, CARLOS ROJAS LIBIA³ y CHRISTIAN BOTONERO BARRIENTOS³

RESUMEN

Cada vez es más frecuente la rehabilitación de obras deterioradas, la corrección de fallas de diseño o de mal proceso constructivo. Dada esta condición, se requiere no solo rehabilitar sino también readecuar las estructuras tomando en cuenta que dicha intervención deberá satisfacer las mejoras mecánicas. Esta investigación pretende dar a conocer los beneficios que aportan los sistemas compuestos de polímeros reforzados con fibra de carbono para mejorar el desempeño mecánico de elementos estructurales de concreto. Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días de las probetas sin reforzar fueron de 12 MPa, y con incorporación de Polímero Reforzado con Fibra de Carbono (CFRP) al 100 %, experimentó un incremento de 2,67 veces su resistencia (32,04 MPa), mientras que las probetas reforzadas al 50 %, incrementan su resistencia en 1,57 veces (18,84 MPa). Se concluye que la aplicación de CFRP, aumenta considerablemente la resistencia a compresión y la deformación del concreto, siendo una opción viable como método de reforzamiento; así mismo, se identificó que el óptimo tratamiento para la aplicación de CFRP en la superficie estructural es el arenado y perforado ya que se obtuvo

¹Universidad Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú

²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú

³Universidad Ricardo Palma. Lima, Perú

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Aporte Santiaguino de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite: **Compartir**-copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato, **Adaptar**-remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

Joaquín Tamara, Carlos Chavarry, Liliana Chavarria, Enriqueta Pereyra, Carlos Rojas y Christian Botonero

una resistencia a compresión y arranque de 55 y 2, 8 MPa, respectivamente.

Palabras clave: fibra de carbono; elementos estructurales de concreto; desempeño mecánico; ensayos no destructivos.

ABSTRACT

It is getting more frequent the deteriorated work rehab, the corrections of design flaws or poor constructive process. Because of this, it is required not only to rehabilitate but to rearrange the structures taking into consideration that that intervention have to fulfill the mechanic improvements. This research intents to make known the benefits that the reinforced polymer composite systems with carbon fiber give to improve the mechanical performance of structural concrete elements. The results of the resistance to the compression trials at 28 days of the unreinforced specimens was of 12 MPa, and with the incorporation of the reinforced polymer with carbon fiber (RPCF) at 100 % it improves 2, 67 times its resistance (32, 04 MPa), while the reinforced specimens at 50 %, improves 1, 57 times its resistance (18, 84 MPa). It can be concluded that the application of the RPCF, considerably increases the resistance to the compression and the concrete deformation, being a viable option as a reinforcement method; in addition, it was identified that the optimal treatment on the structural surface for the application of the RPCF is the sandblasting and punched because it got a compression resistance and outbreak of 55 and 2, 8 MPa respectively.

Keywords: carbon fiber; structural concrete elements; mechanical performance; nondestructive trials.

INTRODUCCIÓN

El fin del presente artículo es dar a conocer los beneficios que aportan los sistemas compuestos de polímeros reforzados con fibra de carbono para mejorar el desempeño mecánico de elementos estructurales de concreto y evaluar la adherencia para una correcta aplicación del sistema CFRP en estructuras mediante técnicas no destructivas y semidestructivas, como parte de un protocolo de control de calidad del refuerzo que permita valorar su eficacia. Para la valoración de la efectividad de la unión entre la fibra de carbono y los elementos estructurales se muestra los diversos tratamientos a la superficie que garantizan una correcta adherencia del sistema, así

como los diversos ensayos no destructivos y de calidad a utilizar que contempla la unión del sustrato y el elemento. La singularidad de la investigación reside en el estudio de un método no destructivo, como es el ensayo de ultrasonidos, como prueba válida de control de calidad. Basándose en la unión entre el refuerzo de FRP y el soporte, [Fernández et al. \(2018\)](#) afirman que es una técnica de fácil empleo en obra, en zonas de difícil acceso y de rápida ejecución, a partir de la cual se han podido establecer correlaciones cuantificables con otras técnicas semidestructivas, como son el tipo Pull-Off, y destructivas, como los ensayos a flexión.

Los ensayos semidestructivos tipo Pull-Off aportan suficiente información a este respecto, tal y como se recoge en el presente trabajo. En 1997 diferentes científicos realizaron estudios sobre la idoneidad de los ensayos y la influencia de la calidad del concreto en probetas reforzadas con laminados de fibra de carbono. Analizaron tres tipos de ensayos: ensayos de corte, ensayos de flexión y ensayos de tracción directa Pull-Off. Se han estudiado las técnicas de ensayos no destructivos (NDT) existentes, especialmente NDT de radiofrecuencia (RF), para compuestos plásticos reforzados con fibra de carbono (CFRP). Presentaron una descripción general del progreso realizado en la aplicación de métodos RF NDT para compuestos de fibra de carbono. Se considera que los compuestos de polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP) son ahora una ocurrencia común en el sector aeroespacial, especialmente con su introducción en el motor aeronáutico. Con su uso cada vez mayor en entornos duros y extremos, es importante comprender su comportamiento y rendimiento cuando se exponen a tales condiciones de trabajo. [Taheri y Ahmed \(2019\)](#) proponen un método que no solo mejora la probabilidad de detección a los defectos en los materiales compuestos, sino que también aumenta la distancia sobre la cual los defectos son detectables con una única ubicación de inspección. La calidad de estos materiales es importante para un funcionamiento seguro, dado que las técnicas de pruebas no destructivas (NDT) son una forma eficaz de inspeccionar estos compuestos.

[Al Azzawi et al. \(2018\)](#) determinaron mediante pruebas de extracción selectiva, que fueron precedidas por una evaluación detallada no destructiva, que el recubrimiento de resina superior se había desintegrado más en áreas que habían estado expuestas a la luz solar durante mucho tiempo. Esto indicó que la temperatura en la superficie de la reparación de carbón podría ser más de 10 ° F (5, 5 ° C) más alta que la temperatura ambiente. La distribución espacial de las pruebas destructivas fue influenciada por este hallazgo. A pesar de la pérdida en la capa superior, el material CFRP permaneció bien adherido a la mampostería. [Belarbi et al. \(2018\)](#) indicaron que

las pruebas muestran consistentemente que, si bien el comportamiento de las vigas de concreto pretensado con CFRP y de acero pretensado es similar en muchos aspectos, hay varias diferencias importantes que deben tenerse en cuenta. Las pruebas experimentales mostraron que las vigas pretensadas de CFRP muestran suficiente advertencia antes de fallar. Además, la deformabilidad de las vigas postensadas con cables CFRP pretensados no adheridos es superior a la de las otras vigas pretensadas CFRP. Sin embargo, la resistencia final fue menor que todas las otras vigas unidas.

Muchas veces las estructuras de concreto pueden presentar insuficiencias, ya sean de construcciones deficientes, fallas en la resistencia y rendimiento, deterioro del concreto, corrosión del acero de refuerzo, cambio de la funcionalidad de una edificación o un incremento en las cargas de diseño original, sumados a innumerables efectos ambientales. Por consiguiente, es de vital importancia el análisis de la estructura a lo largo de su vida útil y en caso de ser necesario, la aplicación de elementos de refuerzo. En el Perú, históricamente el reforzamiento se ha hecho de manera convencional, ya sea agrandando las secciones de los elementos estructurales o colocando elementos metálicos que ayuden a soportar las cargas. Actualmente, una de las técnicas que se viene empleando para realizar el reforzamiento de estructuras sujetas a flexión y cortante es el uso de las fibras de carbono, que trabajan adheridas a los elementos estructurales a este sistema, denominado Carbón Fiber Reinforced Polymer (CFRP).

Las estructuras de concreto reforzado con el paso del tiempo requieren una modificación en su diseño inicial por cambios en las cargas, por desgaste de los miembros estructurales, a causa de sismos, alteraciones arquitectónicas, lo que conlleva a realizar un reforzamiento estructural. Estos reforzamientos son las acciones necesarias para aumentar la capacidad resistente de una estructura o miembro estructural existente, en aquellas edificaciones que presenten deficiencias en la estructura a nivel de resistencia, flexibilidad y ductilidad. Así mismo, un reforzamiento busca descargar la estructura existente de las deformaciones y esfuerzos a que originalmente estaba sujeta la misma para que sean absorbidos por el reforzamiento implantado en dicha estructura. [Silva \(2016\)](#) menciona que el comportamiento del material compuesto en estas condiciones permite saber con precisión si el reforzamiento va a ser útil para las cargas que debe resistir. Adicionalmente, se ensayan los materiales por separado para tener un dato exacto de la resistencia de cada uno y poder comparar los resultados con mayor exactitud. Para reforzamientos de estructuras, por lo general, se emplean técnicas de recrecido en concreto, o con la adhesión de placas

metálicas, tejidos de materiales compuestos.

Se desarrollan cuatro componentes donde se manifiestan gradualmente los materiales y el método de la investigación, las bases teóricas utilizadas para el desarrollo de la misma, y se presentan los resultados obtenidos luego de las pruebas correspondientes a la fibra para mejorar el desempeño mecánico de elementos estructurales de concreto; finalmente, se analizan e interpretan los resultados obtenidos y se presentan las conclusiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las investigaciones revisadas siguieron la metodología empleada por [Chavarry et al. \(2020\)](#), que expusieron en su artículo titulado «Concreto reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica», en donde se utilizó el método deductivo, orientación básica, enfoque cualitativo y como instrumento de recolección de datos retrolectivo, de tipo de investigación descriptivo, correlacional y explicativo. El diseño experimental, longitudinal, prospectivo y el estudio de cohorte (causa-efecto). La presente investigación es documental/-bibliográfica y descriptiva; es documental porque se han utilizado diversas investigaciones con base en las conclusiones de los investigadores, bibliográfica porque se utilizaron datos secundarios como fuente de información, y descriptiva porque se ha descrito el tema de investigación. El presente trabajo es una investigación explicativa, exploratoria y correlacional, ya que, requiere una descripción de las características más significativa de los polímeros de las fibras de carbono, como reforzamiento en el concreto armado, juntamente con una matriz epóxido adhesiva, para unir las fibras de carbono al elemento estructural. Es el estudio y análisis de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características reales.

Las técnicas de investigación son las pruebas y ensayos utilizados por los autores en cada una de las investigaciones citadas en la presente tesis, ya que, de esta manera, se puede medir la mejora de las propiedades mecánicas de los elementos estructurales de concreto en las unidades de análisis con base en las normas y especificaciones. Los instrumentos de recolección de datos son los formatos de resultados en ensayos brindados por los autores citados, basados en las especificaciones técnicas correspondientes ya mencionadas. Con base en los resultados de otros investigadores para hacer comparaciones, contrastar resultados y verificar, así, en qué medida aporta al desempeño mecánico de la estructura. Después de una correcta verificación, se utilizan los datos para su análisis estadístico con un rango de confiabilidad. Procesamiento y análisis

de los datos: utilización del programa IBM SPSS Statistics 25, para la presentación de tablas personalizadas, tablas de contingencias y tablas de doble entrada y Microsoft Office Excel, para los gráficos de barras verticales y/o horizontales, gráficas tipo pastel, histogramas, línea de tendencia de datos.

RESULTADOS

Sistema compuesto de polímeros reforzados con fibra de carbono y el desempeño mecánico

En las investigaciones analizadas verifican que las probetas cilíndricas al ser reforzadas por capas con fibra de carbono aumentan considerablemente su resistencia, incluso más que si esta fuera reforzada por fibra de vidrio. Adicionalmente se ha elaborado un análisis cuantitativo para cada una de las investigaciones analizadas que permite intuir la resistencia final de las probetas cilíndricas reforzadas sometidas al ensayo de compresión, según las normativas vigentes internacionales, ACI 440 2R 17. Se observó que el refuerzo mediante tejido de CFRP es más efectivo en las muestras de los resultados que han sido diseñadas con una resistencia nominal más baja, llegando a ser hasta 2, 3 veces la resistencia a compresión patrón.

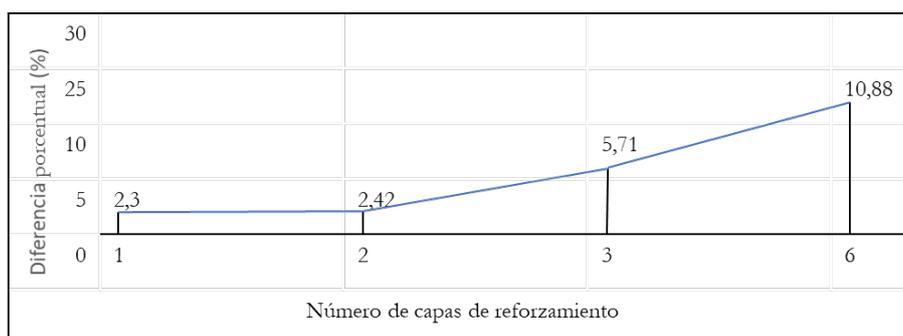


Figura 1. Diferencia porcentual de las resistencias a compresión

El método que se usó fue el de regresión para evaluar el comportamiento de la diferencia porcentual frente a la cantidad de capas que se utiliza para el refuerzo de las probetas. Mediante análisis por software se demuestra también que el reforzamiento con FRP, aumenta considerablemente la capacidad individual de los elementos estructurales, y, por ende, de toda la estructura, puesto que es un elemento de acción pasiva, es decir trabaja a medida que se deforma, proporcionando rigidez, reduciendo el periodo, y los porcentajes de participación modal, a manera de un acero equivalente, pero es ineficiente para corregir problemas de derivas, por su escasa aportación de

inercia, y puede inducir a problemas de fallas frágiles y de torsión, cuando no se controla una rigidez equitativa.

Tratamiento de la superficie en la adhesión del sistema compuesto de polímeros reforzados con fibra de carbono

En las investigaciones analizadas, se verifican las muestras que tienen un tratamiento de superficie a base de chorro de arena a presión y haciéndoles unas pequeñas perforaciones a la superficie de 10 mm de diámetro, 3 mm de profundidad y, siendo espaciados 50 mm entre centros de cada agujero, mejoran su resistencia a la compresión y resistencia al arrancamiento.

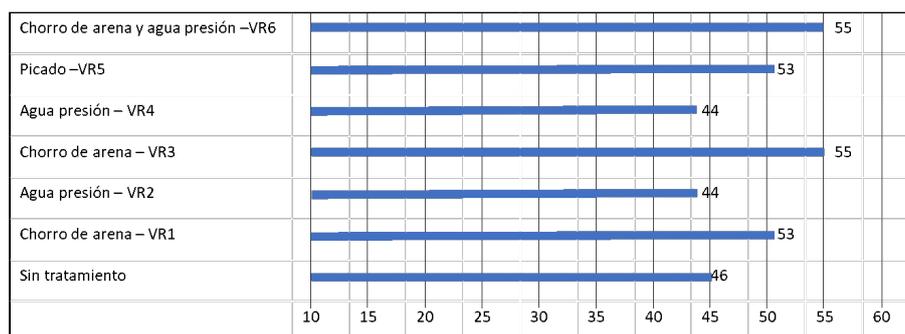


Figura 2. Comparación de resistencias a la compresión de vigas reforzadas con CFRP a diferentes tratamientos de superficie.

En la Figura 2 se puede observar que preparar la superficie del concreto usando chorro de arena a presión ayuda a dar una mejor adherencia para unir el hormigón y el CFRP mediante la resina epóxica.

Control de los ensayos no destructivos se garantiza la adhesión del sistema compuesto de polímeros reforzados con fibra de carbono

A partir del artículo analizado verificamos que es posible cuantificar el comportamiento del refuerzo, si bien, no considerándose adecuado establecer correlaciones generales según tipo de concreto, es recomendable realizar dicha correlación en cada refuerzo a verificar; así mismo, los ensayos de ultrasonidos permiten verificar la adecuada preparación del soporte o rugosidad de la superficie.

Se aprecia que los resultados de Pull Off para concretos de baja resistencia son similares entre sí para las distintas rugosidades de la superficie del concreto.

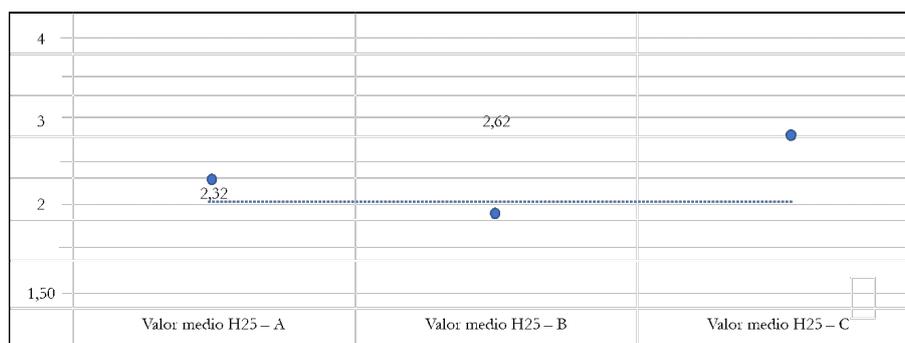


Figura 3. Pull Off en muestras H25

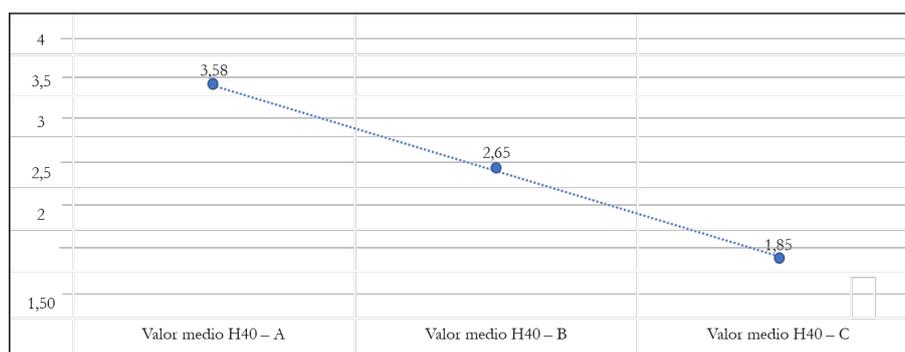


Figura 4. Pull Off en muestras H40

Se aprecia que los resultados de Pull Off para concretos de alta resistencia, trabajan mejor para una superficie A (Lisa), que recibió un tratamiento de lijado, siendo la menos efectiva para una superficie C (Rugosa), que recibió un tratamiento de cepillo desgaste.

Se puede verificar la adecuada preparación del soporte o rugosidad de la superficie sobre todo en concretos de alta resistencia. Con este ensayo, se puede establecer parámetros de calidad de la adhesión del refuerzo de FRP y, por ende, del aumento de la capacidad mecánica, se podrá definir un método de control de calidad rápido, no destructivo y válido para evaluar la calidad del refuerzo ejecutado.

Las capacidades de las técnicas de ensayos no destructivos NDT más comunes utilizadas para la inspección de los materiales compuestos. Cada técnica tiene un potencial de detección y puede permitir un diagnóstico completo del estado de daño mecánico del material. Así, dependiendo del mecanismo de daño que se produzca y las condiciones de uso, se preferirá una técnica sobre

otra, o se deberán combinar varias técnicas para mejorar el diagnóstico del estado de daño de las estructuras.

Entre los ensayos no destructivos que más resaltan, y se propone su difusión en nuestro país, se tienen los siguientes:

- El ensayo de inducción electromagnética de Faraday, que tiene como particularidad detectar daños, defectos locales de rotura, zonas ricas en resinas y regiones desunidas detectadas a 10 y 24 GHz.
- El ensayo de termografía por corrientes pulsadas (PEC), la cual desarrolla la detección de daños en la fibra, detecta grietas superficiales.
- El ensayo de termografía por microondas, la cual usa la energía de microondas calentando la región de interés y luego se mide la superficie térmica, la delaminación del CFRP siendo visible en la imagen térmica.
- El ensayo de eco mediante ultrasonido, la cual detecta defectos de adherencia a través de ecos generados por desajustes de impedancia acústica.

DISCUSIÓN

Según Piñero (2016) y también Castro (2019), el confinamiento con polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP) aumenta considerablemente la resistencia a compresión y la deformación del hormigón. En la investigación afirmamos esta conclusión, ya que el refuerzo de fibra de carbono (CFRP) aumenta la resistencia de las secciones de concreto armado sometidas a flexión. En el caso de secciones con menor cuantía de acero, la fibra de carbono tiene una mayor influencia en el incremento de su resistencia, debido a que la fibra de carbono y el acero poseen una rigidez similar.

Se comprobó que el comportamiento del CFRP es prácticamente lineal hasta llegar al estado de falla, por lo que es considerado un material frágil. Adicionalmente se correlacionan a los valores teóricos que nos da como resultado el análisis numérico, basado en la norma ACI 440 2R17. De acuerdo con Noorsuhada et al. (2019), la preparación de la superficie antes de la aplicación del epóxico y fibra de carbono CFRP con chorro de arena a presión y haciéndole pequeños orificios

de 3 mm aumenta su fuerza de arranque y adhesión.

En los resultados de estos autores notamos que las muestras a las que se le aplicaron estos dos tratamientos en la superficie tienen una mayor resistencia a la compresión y a la fuerza de arranque. Según [Fernández et al. \(2018\)](#), los ensayos de ultrasonidos se pueden emplear para verificar la adecuada preparación del soporte o rugosidad de la superficie, sobre todo en concretos de alta resistencia, como parte de un protocolo de control de calidad del refuerzo que permita valorar su eficacia. Los ensayos de ultrasonidos aplicadas en gran parte de la superficie de los elementos reforzados, complementada con una serie de ensayo de Pull-Off seleccionados en función de los ultrasonidos, permiten cuantificar el comportamiento del refuerzo. Así mismo, en la investigación someten las probetas a ensayos a flexión, lo cual complementa la demostración de la mejora del desempeño mecánico del sistema.

CONCLUSIONES

La aplicación de fibra de carbono como reforzamiento aumenta la resistencia del concreto dependiendo del diseño del elemento estructural, del gramaje de la fibra de carbono y el número de capas de CFRP. El uso de este sistema aumenta hasta un máximo de 2, 3 la resistencia final a compresión, que varía inversamente proporcional al número de capas de refuerzo colocadas en probetas cilíndricas. Las probetas cilíndricas de concreto reforzadas con CFRP al 100 %, las probetas de baja resistencia llegan a experimentar un incremento de 2, 3 veces su resistencia (290, 45 kg/cm^2), mientras que para probetas de concreto de alta resistencia el incremento es 0, 2 veces su resistencia (785, 38 kg/cm^2). Así mismo, la verificación por métodos analíticos para el porcentaje de variación de la resistencia a compresión de las probetas cilíndricas analizadas aumenta en la medida que el número de capas de refuerzo. Para los ensayos en vigas se puede concluir que las que fueron tratadas con un chorro de arena tuvieron un aumento en su resistencia a la compresión de un 1, 19 % de 46 MPa a 55MPa comparada con la viga control sin tratamiento; seguido a esto se encuentra el tratamiento de microperforaciones en la superficie donde se obtuvo un aumento de su resistencia al arranque en un 1, 27 % de 2, 2 MPa a 2, 8 MPa por encima de la muestra de control. El tratamiento de la superficie influye tanto en la resistencia a compresión como a la resistencia de arranque, aportando una mejora en el desempeño del elemento estructural y garantizando la adherencia para el óptimo desempeño del sistema con fibra de carbono, debiendo ser incluido en los protocolos de instalación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, A.; Naganathan, S.; Nasharuddin, K.; Fayyadh, M.; Jamali, S. 2016. Repair effectiveness of damaged RC beams with eb opening using CFRP and steel plates. Artículo científico. Jordan Journal of Civil Engineering, 10.<<https://aulavirtual.urp.pe/bdacademicas/docview/2051200158?accountid=45097>>
- Al Azzawi, M.; Hopkins, P.; Ross, J.; Mullins, G.; Sen, R. 2018. Carbon fiber-reinforced polymer concrete masonry unit bond after 20 years of outdoor exposure. Artículo científico. <[doi:http://dx.doi.org/10.14359/51](http://dx.doi.org/10.14359/51)>
- Amir, H. 2018. Investigation of the effect of CFRP strengthening on the behavior of deficient steel members under combined lateral and torsional loading. Artículo científico. <[doi:http://aulavirtual.urp.edu.pe/bdacademicas/docview/2127775219?accountid=45097](http://aulavirtual.urp.edu.pe/bdacademicas/docview/2127775219?accountid=45097)>
- Belarbi, A.; Reda, M.; Poudel, P.; Tahsiri, H.; Dawood, M.; Gencturk, B. 2018. Prestressing concrete with CFRP composites for sustainability and corrosion-free application. Artículo científico. <[doi:http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/201814901010](http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/201814901010)>
- Castro Zavaleta, C. 2019. Reforzamiento estructural con fibra de carbono como alternativa económica para aumentar la resistencia a la compresión de las columnas en la galería comercial Fullmarket en el 2019. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Privada del Norte. <<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22464?show=full>>
- Chavarry Vallejos, C.; Chavarría Reyes, L.; Valencia Gutiérrez, A.; Pereyra Salardi, E.; Arieta, J.; Rengifo Salazar, C. 2020. Hormigón reforzado con vidrio molido y su relación con la resistencia a la compresión para controlar grietas y fisuras por contracción plástica. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Obtenido de Universidad Ricardo Palma. <<http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2723>>
- Fernández, V.; Barrios Padura, Á.; Molina Huelva, M. 2018. Aplicación de las técnicas no destructivas pull-off y ultrasonidos en el control de calidad del refuerzo con materiales compuestos en estructuras de concreto. Artículo científico. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 28(1), 5 – 26. <<http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v28n1/0124-8170-cein-28-01-00005.pdf>>

Joaquín Tamara, Carlos Chavarry, Liliana Chavarría, Enriqueta Pereyra, Carlos Rojas y Christian Botonero

- Jia, P.; Dong, J.; Yuan, S. y Wang, Q. 2018. Experimental Study of Post-heated Steel Reinforced Recycled Concrete Columns Repaired with CFRP. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 33(4), 901 – 907. <<https://doi.org/10.1007/s11595-018-1911-z>>
- Noorsuhada, M. N.; Soffian Noor, M. N.; Siti Norfahanim, A. M.; Mohd Hashim, M. H.; y Norfaridah, M. 2019. Acoustic emission signals of pull-off test for concrete slab strengthened with cfrp using various surface preparations. In *Key Engineering Materials*. 821, pp. 479 – 485. Trans Tech Publications Ltd. <<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.821.479>>
- Piñero, J. 2016. Estudio experimental del comportamiento a compresión de probetas de hormigón de resistencias bajas y medias confinadas con tejidos de fibras de carbono y con defectos muy importantes de ejecución. Tesis para optar al título de Doctor en Edificaciones. Universidad Politécnica de España <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=114585>>
- Silva Vera, P. 2016. Refuerzo estructural con fibra de carbono. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad San Francisco de Quito. Ecuador. <<http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/5412>>
- Taheri, H. y Ahmed, A. A. 2019. Nondestructive ultrasonic inspection of composite materials: a comparative advantage of phased array ultrasonic. *Applied Sciences*, 9(8), 1628.<<https://doi.org/10.3390/app9081628>>
- Villanueva, P. 2017. Influencia de las condiciones de ejecución en la resistencia de anclajes de fibra de carbono para refuerzos de estructuras de hormigón. Tesis para optar al título de Doctor Ingeniero de caminos, canales y puertos. Universidad Politécnica de Madrid. <http://oa.upm.es/45368/1/Paula_Villanueva_Llaurado.pdf>

Fecha de recepción: 13/04/2021

Fecha de aceptación: 14/05/2021

Correspondencia

Joaquín Tamara Rodríguez

samuel_tamara@hotmail.com