

Structural rehabilitation by means of GFRP bars and the Inhibiting-Repairing-Strengthening technique

Stephany Alarcon Ramirez, Bachiller Ingeniería Civil¹, Luis Delgado Pereyra, estudiante Ingeniería Civil², Cesar Morales-Velasco, Ph. D.³, Junior Orihuela Dávila, Ingeniero Civil⁴

¹ Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Perú, u201410486@upc.edu.pe

² UPC, Perú, u201415266@upc.edu.pe

³ UPC, Perú, pccicemo@upc.pe

⁴ UPC, Perú, pccijori@upc.edu.pe

Abstract– *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) bars are currently presented as a substitute for conventional steel, since GRPF bars grant certain properties, such as high tensile strength, corrosion resistance, strength degradation and durability, which are fundamental in the field of building construction and rehabilitation. This article presents a rehabilitation study throughout the use of GRPF bars as reinforcement for horizontal structural elements, specifically beams and slabs, with a significant degree of corrosion $\geq 50\%$ in their reinforcement steel. The methodology applied to carry out the rehabilitation will be based on the joint work of GRPF bars and the technique of Inhibiting, Repairing and Strengthening (IRS), which is a restoration process that starts from the total extraction of the corroded steel and the affected concrete until the rehabilitation of the structural element.*

Keywords– *GFRP, corrosion, structural rehabilitation, Inhibiting-Repairing-Strengthening*

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.38>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Rehabilitación Estructural mediante el uso de barras PRFV aplicando la técnica Inhibir, Reparar y Fortalecer (IRF)

Stephany Alarcon Ramirez, Bachiller Ingeniería Civil¹, Luis Delgado Pereyra, estudiante Ingeniería Civil², Cesar Morales-Velasco, Ph. D.³, Junior Orihuela Dávila, Ingeniero Civil⁴

¹ Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Perú, u201410486@upc.edu.pe

² UPC, Perú, u201415266@upc.edu.pe

³ UPC, Perú, pccicemo@upc.pe

⁴ UPC, Perú, pccijori@upc.edu.pe

Resumen– Las barras de polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV) se presentan, en la actualidad, como un sustituto del acero convencional, ya que las barras PRFV, otorgan ciertas propiedades, tales como alta resistencia a la tracción, resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste y durabilidad, que son fundamentales en el ámbito de la construcción y rehabilitación de edificaciones. En este artículo se presenta un estudio de rehabilitación mediante el uso de refuerzo de PRFV para elementos estructurales horizontales, específicamente vigas y losas, con un grado de corrosión significativo $\geq 50\%$ en sus aceros de refuerzo. La metodología a aplicar para llevar a cabo la rehabilitación se basará en el trabajo en conjunto de barras de PRFV y la técnica de inhibir, reparar y fortalecer (IRF), el cual es un proceso de restauración que parte de la eliminación total tanto del acero corroído como del concreto afectado hasta la restauración del elemento estructural.

Palabras clave– PRFV, corrosión, rehabilitación estructural, Inhibir-Reparar-Fortalecer (IRF).

I. INTRODUCCIÓN

La rehabilitación estructural es el reforzamiento de estructuras existentes, de las cuales se solicita mejorar las condiciones de resistencia y rigidez respecto al diseño inicial de la edificación. Se sabe que la corrosión es una de las principales causas de degradación de la vida útil de estructuras de concreto armado, debido a la generación de altas presiones internas, pérdida de adhesión y fallas mecánicas. Es importante escoger un material y un procedimiento con la capacidad de soportar las cargas actuantes a la que está sometida la estructura, siendo el refuerzo, en las estructuras de concreto armado, el más afectado por la corrosión; debido a esto, se han propuesto, a lo largo de los años, diferentes materiales sustitutos tratando de lograr un comportamiento similar al acero pero con propiedades anticorrosivas. Una de las propuestas más resaltantes son las barras de Polímero Reforzado con Fibras de Vidrio (PRFV), debido a su ligero peso, elevada resistencia a la tracción y a la corrosión. Sin embargo, según el ACI estas barras no son recomendadas para elementos que estarán sometidos a compresión, razón por la que se limita su uso a elementos estructurales sometidos a flexión [1], incluso en este último caso se sugiere el uso de acero como refuerzo negativo y al PRFV como refuerzo positivo ya que mejora la ductilidad del elemento [2].

Por otro lado, existen diferentes técnicas para rehabilitar estructuras de concreto armado deterioradas; la técnica Inhibir-Reparar-Fortalecer (IRF) es una de las que resalta por inhibir la corrosión, reparar el refuerzo y fortalecer el elemento estructural.

Un estudio sobre rehabilitación estructural se presenta en la referencia [3], en la cual se realiza una simulación de rehabilitación de la cara inferior de seis vigas de concreto armado comparando el refuerzo de acero con el de PRFV; los resultados mostraron que las vigas rehabilitadas con barras de PRFV resistieron 2.5 veces más las cargas de corte, y la junta de concreto antiguo con el rehabilitado no afectó la carga última de las vigas. Por otro lado, en la referencia [4] realizaron una comparación entre dos tipos de técnicas de rehabilitación estructural en vigas deterioradas por corrosión, siendo las técnicas IRF y la de afianzado externo las estudiadas.

Igualmente hay estudios de adhesión sobre las varillas de PRFV embebidas en concreto, donde se realizó un análisis comparativo entre el acero convencional, varillas pultruidas de PRFV y varillas corrugadas de PRFV, con la finalidad de examinar la cohesión y el comportamiento a flexión en cada una de ellas [5]. Por otro lado, para contribuir con las investigaciones acerca del comportamiento frente a las fuerzas a las que se someten las barras de PRFV la referencia [6] realizó un estudio que se basó en el análisis de seis vigas con presencia de acero convencional y barras de PRFV.

En este artículo se realiza una propuesta de rehabilitación estructural para vigas y losas, con presencia significativa de corrosión en sus refuerzos, mediante la aplicación de la técnica IRF, en la cual se incluye el uso de barras corrugadas de PRFV. De este modo, se busca una rehabilitación que abarque una corrección completa, con la que se logre inhibir la corrosión, restaurar la estructura físicamente, restaurar en parte o la totalidad de los valores de resistencia para los que fueron diseñados, mejorar la vida útil de la estructura y reducir los costos de mantenimiento a futuro.

II. METODOLOGÍA

La técnica Inhibir-Reparar-Fortalecer (IRF) es un procedimiento que se basa en la erradicación de los componentes dañados de un elemento estructural; por ejemplo,

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.38>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

concreto afectado por corrosión, aceros de refuerzo oxidado y estribos corroídos [3]. Para lograr lo anterior, es necesario que la técnica IRF envuelva materiales de construcción anticorrosivos con propiedades viables para buscar recuperar las capacidades y resistencias para las cuales fueron diseñados inicialmente cada uno de los elementos.

Particularmente en este trabajo se considera el uso de barras de polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV), el cual es un material anticorrosivo que posee las propiedades necesarias y adecuadas para ser sometidas a altos esfuerzos; además, una ventaja de este material es que ya cuenta con una guía de diseño publicado por el American Concrete Institute (ACI).

En relación con el procedimiento de rehabilitación uno de los factores más importantes a tener en cuenta al momento de realizar una rehabilitación con polímeros es la adherencia que existe entre el concreto antiguo, nuevo y barras de PRFV. Para garantizar la adherencia se recomienda usar anclajes ligados a las barras de PRFV, la tipología (cono, tipo L, tipo J, entre otros) dependerá de los parámetros estructurales de la zona a rehabilitar. Investigaciones comparan a vigas de concreto con refuerzo y dos tipos de anclaje de PRFV (cónico y tipo L) bajo simulación de carga sísmica cíclica [7]. Asimismo, la adhesión de las barras de PRFV se relaciona con la resistencia del concreto usado, es por ello que se usará como nuevo concreto, uno de mayor resistencia. Por último, para lograr una correcta interacción entre las consideraciones mencionadas anteriormente, se usarán adhesivos epóxicos para crear un envoltorio que permita una cohesión del concreto antiguo, nuevo y las barras de PRFV con sus respectivos anclajes. De esta manera, la rehabilitación abarcará tanto los problemas de corrosión como la necesidad de restaurar resistencias y capacidades para puesta en servicio.

III. RESULTADOS

Al proponer una rehabilitación estructural en vigas y losas de concreto armado, era necesario identificar un caso de estudio real, para lo cual se escogió una vivienda ubicada en la ciudad de Lima-Perú debido a su alta humedad relativa, ciudad que muestra porcentajes que están entre el 97%-100% en épocas de invierno [8]. La vivienda es una edificación de albañilería confinada de tres niveles que se encuentra en la calle Santa Inés Mz. E3. Lot. 06 en la urbanización de los Cedros – Chorrillos, la cual exhibía en uno de sus ambientes del primer nivel corrosión en viga y losa de concreto armado como se aprecia en la Fig. 1. Los refuerzos positivos de acero, de los elementos estructurales, se encontraban expuestos y se evidenciaba desprendimiento del concreto, para el caso de la losa se exhibía el desprendimiento de los ladrillos de techo.

Con la finalidad de obtener los momentos últimos de los elementos estructurales de la edificación se requirió de uno de los programas de análisis estructural disponible en el mercado. Uno de estos programas, es el de ETABS 2016, el cual permitió

modelar la estructura, como se puede observar en la Fig. 2, para luego obtener los momentos últimos de la viga y losa corroída a analizar.



Fig. 1 Corrosión en la losa de concreto armado

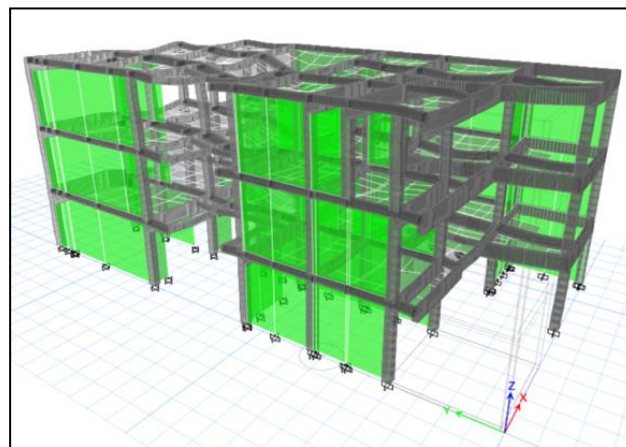


Fig. 2 Modelo de la estructura de albañilería confinada.

El grado de corrosión de estos elementos estructurales se determinó a partir de la limpieza del acero y posteriores mediciones, el cual dio un valor general del 50% de pérdida del área nominal del acero; el grado de corrosión se produjo por filtraciones constantes de agua de tuberías que no fueron reparadas en su momento, sumado al hecho de la humedad relativa que se presenta en la zona.

Con los valores de los momentos últimos y el grado de corrosión en el refuerzo se procedió a diseñar la cantidad de PRFV necesaria para rehabilitar viga y losa de concreto armado, para lo cual se consideraron las siguientes generalidades para ambos refuerzos, los cuales se muestran en la Tabla 1.

TABLA I
GENERALIDADES PARA EL DISEÑO DE REFUERZO DE ACERO Y
PRFV EN CONCRETO^[1]

	ACERO	PRFV
Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo (f_y)	4200 kg/cm ²	5628.83 kg/cm ²
Módulo de elasticidad del refuerzo (E)	2x10 ⁶ kg/cm ²	422162.50 kg/cm ²
Coefficiente de exposición (C_e)	No existe	0.7
Factor de reducción de resistencia a flexión (ϕ)	0.9	0.55 para $\rho_f \leq \rho_{fb}$ $0.3 + 0.25\rho_{fb} < \rho_f < 1.4\rho_{fb}$ 0.65 para $\rho_f \geq \rho_{fb}$

Para brindar una propuesta completa de rehabilitación se tomó investigaciones de diferentes autores con respecto a la utilización de refuerzo de PRFV en estructuras de concreto armado, analizando temas de anclajes, adhesión, durabilidad y resistencia tanto a corte como a flexión. A partir de esta recopilación de información se logró brindar una estructura completa de rehabilitación en la viga y losa deteriorada por la corrosión. De esta manera se obtuvieron los siguientes resultados:

A. Momentos últimos para vigas y losas

Usando el modelamiento estructural, anteriormente mencionado, para la vivienda estudiada, se encontró los momentos últimos para la viga y losa a rehabilitar. El momento último para viga fue de 2 ton-m y para losa aligerada de 1 ton-m.

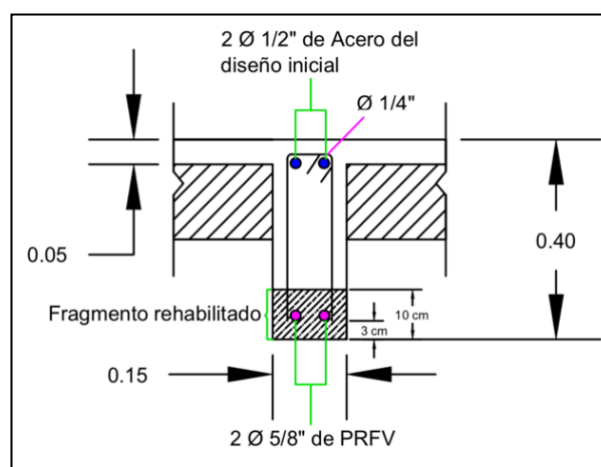
B. Cantidad de varillas de PRFV

Usando como base de diseño los parámetros establecidos en el ACI-440. 1R-15 y del lugar o espacio de desarrollo de la vivienda para requerimientos estructurales de diseño, se realizó el diseño de varillas, netamente a tensión, de PRFV para vigas y losas. Para un adecuado comportamiento a 2 ton-m, en el caso de viga, era necesario contar con dos barras de 5/8" mientras que para el caso de losa aligerada, sometido a 1 ton-m, es necesario una varilla de diámetro de 3/4".

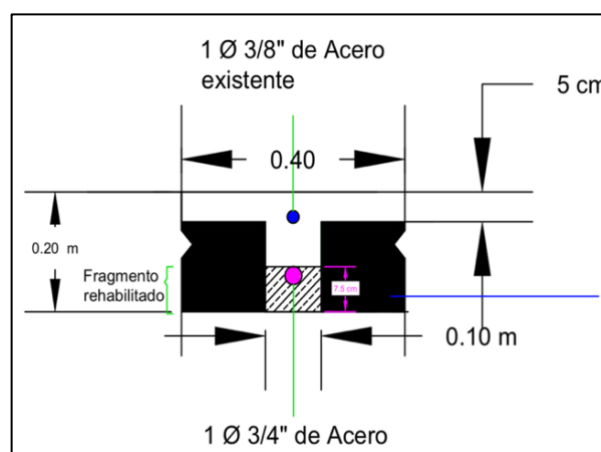
C. Elementos necesarios para garantizar la rehabilitación

Fragmento de rehabilitación: se determinó un fragmento de rehabilitación de 7.5 cm para la viga y de 10 cm para la vigueta de la losa, basándose en los porcentajes de altura de viga utilizados en el estudio realizado en la referencia [4], los cuales utilizaron en su investigación un 25% de la altura de la viga a rehabilitar. Por motivos de la ubicación de los anclajes, para las viguetas de la losa este porcentaje se incrementó a un 37.5%. Estos fragmentos de rehabilitación serán picados y limpiados

cuidadosamente, hecho posterior al apuntalamiento según las cargas a las que están sometidos viga y losa de concreto armado.



(a)



(b)

Fig. 3 (a) Cantidad de varillas y fragmento de rehabilitación de viga de concreto armado; (b) Cantidad de varillas y fragmento de rehabilitación de vigueta de losa de concreto armado.

Anclaje: la mejor alternativa para el caso de estudio, es el anclaje tipo cabeza cónica de PRFV, ya que soporta derivas de hasta el 4%. Esta deriva cumple con las especificaciones de valores mínimos para anclaje, 2.5% para el Código Nacional de Edificaciones de Canadá y 3.5% para el ACI. Para el correcto comportamiento de los anclajes, se realizarán orificios de 5 cm de diámetro y con una profundidad que respete el recubrimiento de los elementos estructurales a intervenir. Estas perforaciones serán saturadas posteriormente con una resina epoxica, la cual deberá de cumplir con las consideraciones del ASTM, donde la profundidad de espesor del adhesivo será de 1/2-3/4 de la

longitud perforada. Posterior a esto, se colocarán las varillas de PRFV con su respectivo anclaje.

Varillas PRFV: para garantizar la adhesión PRFV-concreto las barras deberán ser corrugadas; Asimismo, según diferentes autores, a mayor resistencia de concreto mayor adhesión, por lo que se recomienda utilizar un concreto de 280 kg/cm² en contraste del concreto antiguo que posea un resistencia de 210 kg/cm². Por otro lado, se colocará una capa de adhesivo epóxicos de 1 mm en toda la cara del concreto antiguo de la viga o vigueta que tendrá contacto con el concreto nuevo para mejorar su adhesión.

Los esquemas de rehabilitación brindados mediante el análisis se pueden apreciar en Fig. 4, Fig. 5 y Fig. 6. La Fig. 4 y Fig. 5 muestran la ubicación del refuerzo, anclajes, fragmento de rehabilitación, recubrimiento y adhesivo epóxico; tanto para viga y vigueta de losa. La Fig. 6 muestra la distribución completa del refuerzo de PRFV necesario para los elementos estructurales afectados por la corrosión.

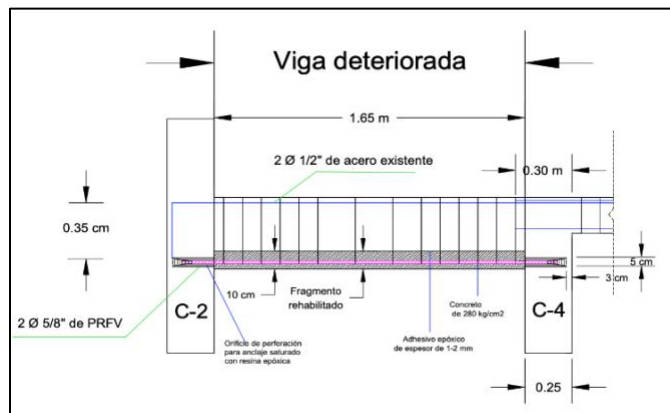


Fig. 4 Esquema de rehabilitación de viga de concreto con refuerzo de PRFV, según análisis.

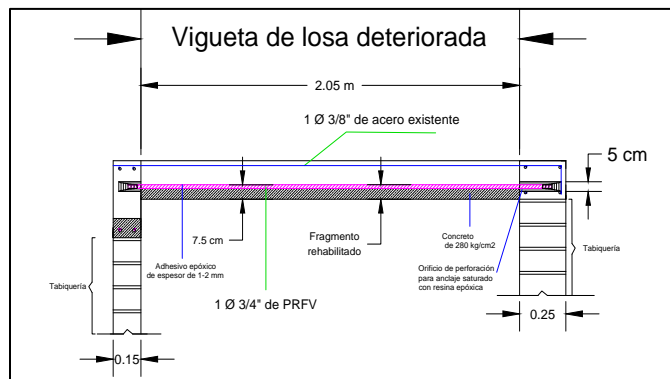


Fig. 5 Esquema de rehabilitación de viguetas de losa de concreto con refuerzo de PRFV, según análisis.

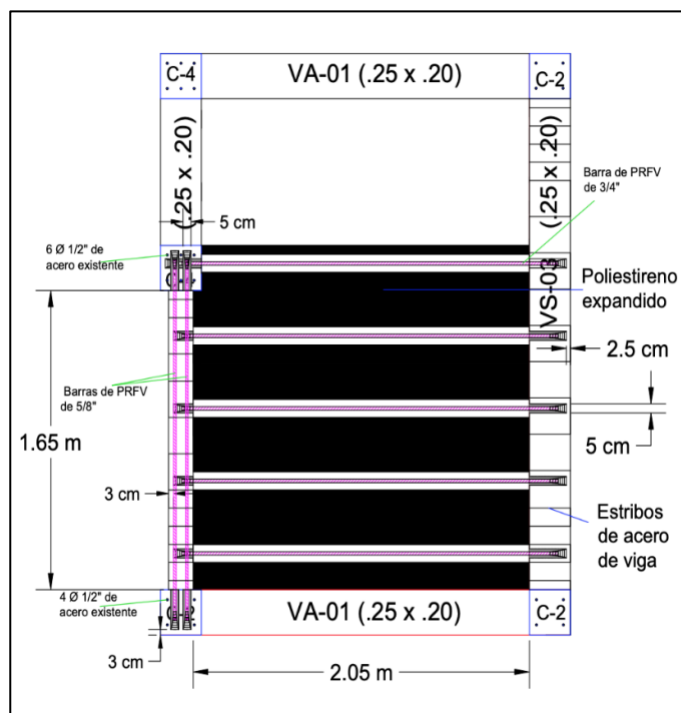


Fig. 6 Esquema de rehabilitación de viga y losa de concreto con refuerzo de PRFV, según análisis.

IV. CONCLUSIONES

Mediante el análisis realizado para el paño de losa y viga de concreto armado con refuerzo positivo corroído en un 50% del área nominal, se pudo determinar la cantidad de varillas de PRFV necesarias para rehabilitar los elementos estructurales mediante la información de diseño para polímeros reforzados brindados por el ACI.

Para asegurar el correcto funcionamiento de viga y losa de concreto con refuerzo de PRFV frente a las cargas que serán sometidas durante su vida útil, se hizo uso de varias investigaciones realizadas por diferentes autores. Por un lado, se encontraron investigaciones que analizan el comportamiento de los elementos, vigas y losas con presencia de PRFV, frente a esfuerzos internos y externos mediante ensayos bajo flexión en dos, tres y cuatro puntos [3]; así como análisis de cargas sísmicas simuladas para garantizar el funcionamiento de anclajes [9]. Por otro lado, se presentan investigaciones que garantizan la adherencia de las barras PRFV con el concreto mediante ensayos de Pull-Out [10]; y ensayos de durabilidad trabajados en ambientes húmedos [11]. De las investigaciones mencionadas se concluyeron que las curvas de resistencia a flexión entre elementos con acero convencional y PRFV poseen un comportamiento similar; asimismo, referente a la durabilidad se demostró que el acero convencional en presencia de humedad se degrada constantemente a lo largo del tiempo hasta no llegar a aportar ninguna resistencia a los elementos, sin

embargo para el caso de las barras PRFV al ser un material anticorrosivo este no tiende a degradarse y las presiones internas que hace el agua sobre este, simplemente crea una pequeña expansión de volumen de las barras de PRFV, lo cual resulta conveniente ya que se intensifica la adherencia entre barras PRFV y concreto. Estos aportes son fundamentales para el desarrollo de este trabajo o investigación por el hecho que la vivienda analizada se encuentra en una zona que cuenta con aproximadamente 100% de humedad relativa.

Para evitar daños en la estructura durante el proceso de rehabilitación, se recomienda realizar un cálculo de apuntalamiento para viga y losa de concreto armado a reparar, tomando en consideración las cargas a las que estos se encontraban expuestas en sus condiciones óptimas. Asimismo, para futuras investigaciones, se sugiere estudiar la confiabilidad de colocar a las barras de PRFV, como refuerzo para rehabilitar columnas de concreto armado con presencia de corrosión, que se verifiquen mediante ensayos a flexo compresión.

V. AUTOCRÍTICA

De acuerdo a la recopilación de información científica, que sirvió como guía a lo largo de esta investigación, y al análisis de cada una de ellas para así ser aplicado a nuestra metodologías, se establece un límite para la rehabilitación estructural mediante el uso de barras PRFV usando la técnica IRF, ya que la tipología de barras cumplen un desempeño óptimo a flexión pero más no a compresión, por lo que en elementos verticales se necesitaría realizar una investigación adicional para poder establecer una viabilidad en su comportamiento estructural.

AGRADECIMIENTO

A nuestros asesores, por ser una parte esencial para el desarrollo de esta investigación y por su constante motivación.

REFERENCIAS

- [1] ACI Committee. (2015). Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars. ACI440. 1R-15, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 88(2), 546-565.
- [2] Salih, R., & Fangyuan, Z. (2019). Numerical Investigation of the Behavior of Reinforced Concrete Beam Reinforced with FRP Bars. *Exec. Manag.*, 5, 2296.
- [3] Escórcio, P., & França, P. M. (2016). Experimental study of a rehabilitation solution that uses GFRP bars to replace the steel bars of reinforced concrete beams. *Engineering Structures*, 128, 166-183.
- [4] Bencardino, F., & Condello, A. (2016). Innovative solution to retrofit RC members: Inhibiting-Repairing-Strengthening (IRS). *Construction and Building Materials*, 117, 171-181.
- [5] Padilla, A., Flores, J., Cortes, J & Landa, G. (2006). Contribución al estudio de adherencia entre varillas de PRFV y concreto. XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.
- [6] Tavares, D. H., Giongo, J. S., & Paultre, P. (2008). Behavior of reinforced concrete beams reinforced with GFRP bars. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 1(3), 285-295.

- [7] Hasaballa, M., & El-Salakawy, E. (2018). Anchorage Performance of GFRP Headed and Bent Bars in Beam-Column Joints Subjected to Seismic Loading. *Journal of Composites for Construction*, 22(6), 04018060.
- [8] Senamhi. (2019). "Distritos de Lima alcanzan hasta 100% de humedad relativa". Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=lima&p=prensa&n=969>
- [9] Hasaballa, M., & El-Salakawy, E. (2015). Shear capacity of exterior beam-column joints reinforced with GFRP bars and stirrups. *Journal of Composites for Construction*, 20(2), 04015047.
- [10] El Zareef, M. A., & El Madawy, M. E. (2018). Effect of glass-fiber rods on the ductile behaviour of reinforced concrete beams. *Alexandria engineering journal*, 57(4), 4071-4079.
- [11] Fergani, H., Di Benedetti, M., Oller, C. M., Lynsdale, C., & Guadagnini, M. (2018). Long-term performance of GFRP bars in concrete elements under sustained load and environmental actions. *Composite Structures*, 190, 20-31.