

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Civil

“ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE  
LA FIBRA DE CARBONO EMPLEADA COMO  
REFORZAMIENTO DE ELEMENTOS  
ESTRUCTURALES DE CONCRETO ARMADO,  
LIMA 2021”

Tesis para optar el título profesional de:  
Ingeniero Civil

**Autores:**

Jonathan Alexander Saavedra Herrera  
Luis Alfredo Ortiz Campos

**Asesor:**

Mg. Alberto Ruben Vasquez Diaz

Lima - Perú  
2021

## INDICE

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS .....	2
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS.....	3
DEDICATORIA .....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS .....	10
INDICE DE ECUACIONES.....	13
IINDICE DE ANEXOS.....	14
RESUMEN.....	15
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
1.1.    Realidad Problemática.....	16
1.2 Antecedentes de la Investigación .....	17
1.2.1. Antecedentes Internacionales.....	17
1.2.2 Antecedentes Nacionales .....	19
1.2.3 Antecedentes Locales.....	20
1.3 Bases teóricas .....	22
1.3.1 El reforzamiento con fibras de carbono .....	22
1.3.2 Propiedades Mecánicas del concreto .....	25
<b>Refuerzo con fibra de carbono .....</b>	<b>32</b>
<b>Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....</b>	<b>35</b>
1.4 Justificación .....	38
1.5 Objetivos.....	39
1.5.1 Objetivo general.....	39
1.5.2 Objetivos específicos .....	39
1.6. Hipótesis .....	39
1.6.1 Hipótesis general .....	39
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>40</b>
2.1. Tipo de investigación .....	40
2.1.1. Por el propósito .....	40
2.1.2. Según el diseño de investigación: .....	40
2.1.3. Diseño de investigación: .....	40
2.2. variables.....	41
2.2.1. Reforzamiento estructural.....	41
2.2.2 Fibra de carbono .....	41
2.2.3. Clasificación de variables.....	41
2.2.4 Operacionalización de variables /Matriz de operacionalización de variables.....	42

2.3. Población y Muestra (Materiales, Instrumentos y Métodos) .....	45
2.3.1. Población. ....	45
2.3.2. Muestra .....	45
2.3.3 Materiales.....	48
2.3.4 Análisis de datos .....	50
2.4 Procedimiento .....	51
2.4.1. Análisis del Problema que presenta el concreto con respecto a flexión y compresión... 52	
2.4.2. Recopilación de información con temas a fines .....	52
2.4.3. Estudio y análisis descriptivo-retrospectivo .....	52
2.4.4 Recopilación de resultados y discusiones .....	53
2.5. Desarrollo de tesis .....	53
2.6 Aspectos éticos.....	54
<b>CAPITULO III RESULTADOS .....</b>	<b>55</b>
3.1 Recopilación de investigaciones científicas .....	55
3.2 Comportamiento de la resistencia a compresión .....	57
3.3 Comportamiento de la resistencia a flexión.....	60
3.4 Modelado de columnas y vigas sin y con refuerzo de fibra de carbono .....	62
3.5 Evaluación económica de la fibra de carbono vs encamisado en viga de concreto armado.. 72	
3.6 Demostración de tipos de reforzamiento mediante el software Sika CarboDur.....	75
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
4.1 Discusión .....	78
4.2. Conclusiones .....	79
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1:</b> Tipificación de Investigación .....	40
<b>TABLA 2:</b> Matriz de clasificación de variables .....	41
<b>TABLA 3:</b> Matriz de operaciones de variables.....,	43
<b>TABLA 4:</b> Matriz de operaciones de variables.....	44
<b>TABLA 5:</b> Conjunto de Investigaciones.....	46
<b>TABLA 6:</b> Conjunto de Investigaciones.....	49
<b>TABLA 7:</b> Recopilación y codificación de las investigaciones de concreto con fibras de carbono.....	55
<b>TABLA 8:</b> Recopilación de las investigaciones de columnas reforzadas con fibras de carbono.....	57
<b>TABLA 9:</b> Comportamiento de resistencia a flexión de vigas con la adición de fibra de carbono.....	60
<b>TABLA 10:</b> Tipo de falla en la edificación de 10 pisos y la fibra a utilizar.....	67
<b>TABLA 11:</b> Falla por corte de la viga.....	70
<b>TABLA 12:</b> Tipificación de Investigación Valores comparativos de viga y columna con refuerzo de fibra de carbono y sin refuerzo.....	71

**TABLA 13:** Cuadro comparativo del encamisado..... 73

**TABLA 14:** Cuadro comparativo de la fibra de carbono .....74

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> Demanda mundial de fibra de carbono.....	23
<b>FIGURA 2:</b> Concreto premezclado.....	25
<b>FIGURA 3:</b> Aplicación de concreto en vigas y losa .....	26
<b>FIGURA 4:</b> Muestra de concreto antes y después de fraguado.....	27
<b>FIGURA 5:</b> Tipos de ductilidad en estructuras de concreto armado.....	30
<b>FIGURA 6:</b> Comportamiento a flexión de una viga.....	31
<b>FIGURA 7:</b> Comportamiento a corte de una viga.....	32
<b>FIGURA 8:</b> Comportamiento a corte en una viga de concreto reforzada.....	32
<b>FIGURA 9:</b> Ley constitutiva de fibras, Matriz, y el compuesto.....	33
<b>FIGURA 10:</b> Especificación del valor $f'_c$ del concreto .....	36
<b>FIGURA 11:</b> Factor de Reducción de FRP .....	36
<b>FIGURA 12:</b> Propiedades básicas del acero y concreto .....	37
<b>FIGURA 13:</b> Formato de guía investigaciones.....	49
<b>FIGURA 14:</b> Ojiva .....	50
<b>FIGURA 15:</b> Procedimiento de la investigación .....	51
<b>FIGURA 16:</b> Comportamiento de resistencia a compresión de columnas con la adición de fibra de carbono .....	59

<b>FIGURA 17:</b> Comportamiento de resistencia a flexión de vigas con la adición de fibra de carbono.....	61
<b>FIGURA 18:</b> Proceso de modelado en ETABS.....	62
<b>FIGURA 19:</b> Resultados previa evaluación de la estructura en ETABS.....	62
<b>FIGURA 20:</b> Adición de cargas a la estructura en ETABS.....	63
<b>FIGURA 21:</b> Modelado general de la edificación en ETABS.....	63
<b>FIGURA 22:</b> Plano de estudio de la edificación de 10 pisos.....	64
<b>FIGURA 23:</b> Vista perfil de la columna de la edificación en ETABS.....	65
<b>FIGURA 24:</b> Cuadro resumen de la columna C2.....	66
<b>FIGURA 25:</b> Tipos de fallas en columnas reforzadas con fibra de carbono .....	66
<b>FIGURA 26:</b> Cuadro resume de la columna C2 .....	67
<b>FIGURA 27:</b> Vista de planta de vigas del piso 1 de la edificación en ETAB.....	68
<b>FIGURA 28:</b> Resumen de vigas evaluadas de dimensiones 25x45cm.....	68
<b>FIGURA 29:</b> Tipos de fallas en vigas.....	69
<b>FIGURA 30:</b> Falla por corte de la viga .....	69
<b>FIGURA 31:</b> Vigas evaluados con la fibra de carbono.....	70

<b>FIGURA 32:</b> Datos de las vigas evaluadas con la fibra de carbono.....	71
<b>FIGURA 33:</b> Plano de edificación.....	72
<b>FIGURA 34:</b> Viga de 0.25x0.40 m.....	75
<b>FIGURA 35:</b> Refuerzos en la viga 0.25x0.40 m.....	75
<b>FIGURA 36:</b> Resumen de resultados de la evaluación de la viga.....	76
<b>FIGURA 37:</b> columna de 0.38x0.60 m.....	77
<b>FIGURA 38:</b> Resumen de resultados de la evaluación de la columna.....	77



## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>ECUACIÓN 1: Ley de Hooke.....</b>	<b>29</b>
--------------------------------------	-----------

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Ficha resume N°1.....	86
Anexo 2: Ficha resume N°2.....	87
Anexo 3: Ficha resume N°3.....	88
Anexo 4: Ficha resume N°4.....	89
Anexo 5: Ficha resume N°5.....	90
Anexo 6: Ficha resume N°6.....	91
Anexo 7: Ficha resume N°7.....	92
Anexo 8: Ficha resume N°8.....	93
Anexo 9: Ficha resume N°9.....	94
Anexo 10: Ficha resume N°10.....	95
Anexo 11: Ficha resume N°11.....	96
Anexo 12: Ficha resume N°12.....	97
Anexo 13: Ficha resume N°13.....	98
Anexo 14: Ficha resume N°14.....	99
Anexo 15: Ficha resume N°15.....	100
Anexo 16: Ficha resume N°16.....	101
Anexo 17: Ficha resume N°17.....	102
Anexo 18: Ficha resume N°18.....	103
Anexo 19: Ficha resume N°19.....	104
Anexo 20: Ficha resume N°20.....	105
Anexo 21: Ficha técnica Sika CarboDur S.....	106
Anexo 22: Plano de la vivienda familiar.....	110
Anexo 26: Cuadro de cargas de columna reforzada C2 ETABS.....	111
Anexo 27: Cuadro de cargas de columna no reforzada C2 ETABS.....	114
Anexo 28: Cuadro de cargas de viga reforzada B9 ETABS.....	117
Anexo 29: Cuadro de cargas de viga no reforzada B9 ETABS.....	134

## RESUMEN

En respuesta a la creciente necesidad de reparar estructuras de concreto armado, han surgido nuevas tecnologías de reforzamiento estructural entre las cuales los polímeros reforzados con fibras de carbono de alta resistencia (CFRP). Generalmente estas nuevas solicitaciones se presentan por el aumento en su carga de servicio en la estructura, problemas de durabilidad debido a materiales de construcción que no cumplieron estándares de calidad e inapropiados, cambios en el ambiente omitidos en el estudio y diseño inicial.

La siguiente investigación tiene como objetivo principal determinar de qué manera influye la fibra de carbono empleada como reforzamiento en elementos estructurales de concreto armado. Para lo cual se analizarán vigas y columnas de concreto armado reforzadas con fibras de carbono (CFRP). Se analizará estudios de investigación con referencia al tema, mediante la recopilación y constatando con lo investigado.

Finalmente se concluye a partir de los resultados de las investigaciones analizadas de resistencia a flexión y compresión se puede afirmar que utilizar fibras de carbono como reforzamiento aumenta las propiedades de los elementos. Este estudio de investigación demuestra como el reforzamiento estructural con fibra de carbono se emplea ante una mayor solicitación de resistencia, soluciona este requerimiento y no debilita a la estructura ni el funcionamiento y además el reforzamiento con fibra resulta más económico que el refuerzo mediante el encamisado.

**Palabras clave:** Refuerzo; fibra de carbono; PRFC; flexión; cizallamiento

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

## REFERENCIAS

- Alves.S.R. y Ferrari.V.J. (2012). Diseño automático de refuerzo de vigas de hormigón con polímeros reforzados con fibra (FRP) *Ambiente Construido* ,34(2). Rescatado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226535005>
- Bonić, Z., Čurčić, G. T., Davidovič, N., & Savič, J. (2015). Damage of concrete and reinforcement of reinforced-concrete foundations caused by environmental effects. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.187>
- Bueno Da Silva.A.O, Lopes Moreno.A, Dos Santos Ferreira.G.C (2012). *Revista Escula de Minas*, 65(3). Recuperado de: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext & pid= S0370446720 12000300004&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037044672012000300004&lng=pt&tlng=pt)
- Cunha, J.C., Luciano. P. S., Leila. M. S., y Lopes. Z. F. (2015) Distribucion otimizada de refuerzo con fibras de carbono en estructura de concreto armado. *Ambiente Construido*, 15 (2), 153-167. [doi.org/10.1590/ s1678-86212015000200019](https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000200019)
- Da Silva Rodrigues.H.L, Moreira Da Silva.P y Carvalho De Oliveira.D.R (2015). Losas planas reforzadas para perforar con tacos de polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP). *Revista acta scientiarum technology*, 37(4). Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303241625002>
- Duque, Andrés, Amazo, Ingrid, & Ruiz, Daniel. (2011). Ensayos de resistencia de pórticos de concreto a escala, reforzados con CFRP en los nudos. *Tecnura* 15(28) ,83-93. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script =sc iarttext&pid=S0123-921X2011000100008&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2011000100008&lang=es)

- Esfahani, M. R., Kianoush, M. R. y Moradi, A. R. (2009). Resistencia al corte por punzonado de las conexiones interiores entre losas y columnas reforzadas con láminas de polímero reforzado con fibra de carbono. *Estructuras de ingeniería*, 31 (7), 1535-1542. doi: 10.1016 /j.engstruct.2009.02.021
- Guerra C. (2014). Estudio de la corrosión atmosférica sobre dos tipos de acero de bajo carbono en instalaciones industriales petroleras cercanas al mar en el noroeste del Perú. (Tesis de maestría, Universidad Nacional mayor de San Marcos). Recuperado de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/3689>
- Mashrei, Mohammed. A., Makki, Jamal. S., y Sultan, Ali A., (2019). Fortalecimiento por flexión de vigas de hormigón armado utilizando láminas de polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP) con ranuras. *Sólidos y Estructuras*, 16 (4), 162-176. doi:org/10.1590/1679-78255514
- Mendoza.C. J, Aire Y D.P (2011). Influencia de Las Fibras de Polipropileno en las Propiedades del Concreto en Estados Plástico y Endurecido. *Estructuras de ingeniería*, 2(2).Recuperado de: [//www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid = S2007-30112011000100003&lang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000100003&lang=es)
- Meza De La Luna. A; Moreno Virge.R; Herrera Montoya; Alvarado Laguna. A; gallegos Sánchez (2018). Dispositivo para Producir Fibras Rizadas para Reforzar el Concreto. *Revista conciencia tecnológica ecológica*, 1(1).Recuperado de: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/944/94457671006/index.html>

Moncayo Theurer, M., & Rodriguez, J., & Alcívar, & López, & Soriano, & Villacis, (2016).

Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras.  
Ingeniería, 20(1), 57-62.

Perez Alonso, M., De La Rosa Gonzalez, J. (2011). Estudio y Validación del reforzamiento de elementos de hormigón armado sometidos a flexión con fibras de carbono. Revista de Arquitectura e Ingeniería, 5(3). Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193921377004>

Poot Cauich, P., Martínez Molina, R., Gamboa Marrufo, J.L., Herrerafranco, P.J. (2019). Control de Calidad, Patología y Recuperación de refuerzo con fibras de carbono en vigas. Revista de Arquitectura e Ingeniería, 2019, 9(2).

Rajeh A., Ahmed K., Abdulaziz I., Shuraim, B. y Alhozaimy, M., (2014). Fortalecimiento de vigas RC amplias y poco profundas dañadas estructuralmente utilizando placas de CFRP unidas externamente. Sólidos y Estructuras, 11 (6), 946-965. doi:org/10.1590/S1679-78252014000600003

Reis, J.L., (2005) Caracterización mecánica del hormigón polímero reforzado con fibra. Investigación de materiales, 8 (3), 357-360. doi:org/10.1590/S1516-14392005000300023

Rodrigues, P. C. y Araújo, D. L. (2018). Análisis de la eficiencia del fortalecimiento de modelos de diseño para columnas de hormigón armado. Estructuras e Materiales, 11 (6), 1418-1452. doi:org/10.1590/s1983-41952018000600013

- Silva, A.S., Y Bandeira, AA., (2019) Análisis de vigas de hormigón armado reforzadas con CFRP bajo flexión: enfoques teóricos y computacionales. Estructuras e Materiales, 12 (2), 233-254. doi.org: 10.1590/s1983-41952019000200003
- Simoes.Y. S, Santos.F.R. (2019). Contribución a las vigas de hormigón armado degradadas por el fuego: análisis comparativo entre el refuerzo estructural con fibras de carbono y láminas de acero. Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, 9(1). Recuperado de: <http://www.redalyc.org/jatsRepo/4276/427657394021/index.html>
- Solovev, V., Nurtidinov, M., & Kukhar, I. (2018). Effective concrete types with carbon fiber. Revista Matec web of conferences, 193(3049). Recuperado de: <https://sci-hub.tw/10.1051/ma-tecconf/201819303049>
- Spagnolo. J.R., L.A., Sánchez Filho, E. S., y Velasco, M. S. L., (2013). Vigas RC T reforzadas para cortar con compuestos de fibra de carbono. Estructuras e Materiales, 6 (1), 1-12. doi.org/10.1590/S1983-41952013000100002
- Valcuende, M.; Benlloch, J.; Parra, C.(2004).Revista información tecnológica, 2004, 15(6). Recuperado de: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642004000600003&lang=es](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642004000600003&lang=es)
- Vieira.M., Santos, A.S., Montalverne. A.M., Bezerra.L.M., Montenegro, L.C. y Cabral, A.E. (2016) Análisis experimental de vigas de hormigón armado reforzadas en flexión con polímero reforzado con fibra de carbono. Ibracon de Estructuras Materiales, 9 (1), 123-152. Doi.org/10.1590/S1983-41952016000100008



Yuan, Xin, Zheng, Wei, Zhu, Chaoyu, & Tang, Baijian. (2020). Rendimiento de fatiga y predicción de vida de la placa CFRP en el refuerzo del techo del puente RC. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 17(2), 240-250. Doi:org/10.1590/1679-78255789