



Título del trabajo de grado monografía

**Exploración de la Percepción Profesional sobre el Uso de la Fibra de Carbono en el
Reforzamiento de Edificaciones Vulnerables**

Yeremy Rosero Hernández

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

abril de 2025

**Exploración de la Percepción Profesional sobre el Uso de la Fibra de Carbono en el
Reforzamiento de Edificaciones Vulnerables**

Yeremy Rosero Hernández

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesor(a)
Hugo Alejandro Muñoz Bonilla

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

NRC - 3167

mayo de 2025

Contenido

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1 INTRODUCCIÓN.....	3
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.1 La pregunta de investigación.....	6
2.2 Los objetivos de investigación	7
2.2.1 Objetivo general.....	7
2.2.2 Objetivos específicos	7
2.3 Justificación de la investigación.....	8
3 MARCO DE REFERENCIA.....	10
3.1 Marco de Antecedentes	10
3.2 Marco Teórico	12
3.2.1 Materiales utilizados para la instalación del CFRP	14
3.2.2 Criterios para el diseño de las estructuras según su esfuerzo.	15
3.2.3 ¿Es la fibra de carbono es un material sostenible?	17
3.3 Marco normativo	18
3.3.1 Fórmulas para el diseño de las fibras de carbono.	22
3.3.2 Resistencia a la tracción de CFRP	23
3.3.3 Condiciones de servicio para el refuerzo CFRP	24
3.3.4 Resistencia de corte de una viga con refuerzo CFRP	24
3.3.5 Factor de eficiencia del refuerzo CFRP	25
3.3.6 Refuerzo en compresión con CFRP	25
4 METODOLOGÍA.....	27
4.1 Enfoque y alcance de la investigación	28
4.1.1 Las limitaciones de la investigación:	28
4.2 Población y muestra	29
4.2.1 Definición de la población	29
4.2.2 Cálculo y selección de la muestra.....	29

4.3	Instrumento(s)	30
4.4	Descripción de procedimientos	30
4.4.1	Codificación y recolección de datos	30
4.4.2	Codificación de datos en MICROSOFT EXCEL	31
4.5	Consideraciones éticas	36
4.5.1	Análisis de consideraciones éticas	36
4.5.2	Instrumentos de aceptación y autorización	37
5	HIPÓTESIS	37
5.1	Las variables.....	37
5.1.1	Variable(s) independiente(s).....	37
5.1.2	Variable(s) dependiente(s).....	37
5.2	Planteamiento de hipótesis.....	37
6	RESULTADOS	38
6.1	Análisis de información	38
6.1.1	Respuestas obtenidas a través de foros.....	54
6.2	Análisis de los resultados	57
7	CONCLUSIONES.....	59
8	RECOMENDACIONES	61
9	REFERENCIAS	62

Lista de figuras

Figura 1. <i>Distribución de esfuerzos en una viga isostática</i>	16
Figura 2. <i>Esquemas de instalación de la fibra transversal en los nodos</i>	21
Figura 3. <i>Esquemas de instalación de la fibra transversal para confinamiento en columnas</i>	22
Figura 4. <i>Consentimiento informado</i>	36
Figura 5. <i>Resultados pregunta 1</i>	38
Figura 6. <i>Resultados pregunta 2</i>	39
Figura 7. <i>Resultados pregunta 3</i>	40
Figura 8. <i>Resultados pregunta 4</i>	41
Figura 9 (a) y 9 (b). <i>Resultados pregunta 5</i>	42
Figura 10. <i>Resultados pregunta 6</i>	43
Figura 11. <i>Resultados pregunta 7</i>	44
Figura 12. <i>Resultados pregunta 8</i>	44
Figura 13. <i>Resultados pregunta 9</i>	45
Figura 14 (a) y (b). <i>Resultados pregunta 10</i>	46
Figura 15. <i>Resultados pregunta 11</i>	47
Figura 16. <i>Resultados pregunta 12</i>	48
Figura 17. <i>Resultados pregunta 13</i>	49
Figura 18. <i>Resultados pregunta 14</i>	50
Figura 19. <i>Resultados pregunta 15</i>	50
Figura 20. <i>Resultados pregunta 16</i>	51

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Codificación de datos para cada una de las preguntas planteadas.</i>	32
Tabla 2. <i>Decodificación de datos exportados desde Excel.</i>	35
Tabla 3. <i>Preguntas abiertas de la pregunta 17.</i>	52
Tabla 4. <i>Opiniones de los usuarios a de los foros en Reddit</i>	54
Tabla 5. <i>Comparativa entre las dos IA</i>	56

RESUMEN

La construcción en Colombia, motor económico del país, enfrenta desafíos en sostenibilidad y durabilidad estructural, especialmente en edificaciones con deficiencias constructivas. En este contexto, el refuerzo con fibra de carbono (CFRP) surge como una alternativa innovadora, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente el ODS 12. **Método:** Se realizó un estudio exploratorio basado en encuestas aplicadas a profesionales del sector construcción, complementado con análisis cualitativo de opiniones recogidas en foros especializados, realizando además un análisis de la información a través del lenguaje de la IA, para evaluar la percepción sobre el uso de CFRP en estructuras pequeñas con bajo nivel de diseño técnico. **Resultados:** Aunque el CFRP se reconoce como una solución técnica eficiente y sostenible, su adopción es limitada. Solo el 8% de los encuestados ha trabajado con esta tecnología. Las principales barreras identificadas son el alto costo, la falta de normativas locales, el desconocimiento generalizado y la ausencia de formación técnica específica. **Discusión:** El estudio contribuye a la gerencia de proyectos al visibilizar una solución estructural sostenible con alto potencial, y a la vez revela factores clave para su implementación efectiva, ofreciendo insumos estratégicos para decisiones gerenciales en el sector de la construcción.

Palabras clave: *Construcción, Innovación tecnológica, Desarrollo sostenible, Gestión de proyectos.*

ABSTRACT

Construction in Colombia, the country's economic engine, faces challenges in terms of sustainability and structural durability, especially in buildings with construction deficiencies. In this context, carbon fiber reinforcement (CFRP) emerges as an innovative alternative, aligned with the Sustainable Development Goals, particularly SDG 12. **Method:** An exploratory study was conducted based on surveys applied to professionals in the construction sector, complemented with qualitative analysis of opinions collected in specialized forums, also performing an analysis of the information through the language of AI, to assess the perception of the use of CFRP in small structures with low level of technical design. **Results:** Although CFRP is recognized as an efficient and sustainable technical solution, its adoption is limited. Only 8% of respondents have worked with this technology. The main barriers identified are high cost, lack of local regulations, general lack of knowledge and lack of specific technical training. **Discussion:** The study contributes to project management by making visible a sustainable structural solution with high potential, and at the same time reveals key factors for its effective implementation, offering strategic inputs for management decisions in the construction sector.

Keywords: *Construction, Technological innovation, Sustainable development, Project management.*

1 INTRODUCCIÓN

La construcción en Colombia es uno de los principales sectores de la economía y desarrollo del país, lo que favorece al crecimiento del producto interno bruto (PIB) con una participación del 53.2% como lo reporta el Camacol (2022) y el DANE con un 6.5% de personas ocupadas en esta rama. Debido a que activamente se construye día a día, existe una masiva explotación del uso del suelo y de materiales convencionales como lo son materiales pétreos (arenas, gravas) y cuerpos de agua, ante esta situación los líderes mundiales se plantearon con erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos. Tenemos el objetivo número 12 de los ODS (2015) que tiene por título “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”, que nos habla de cambios en el consumo y para las empresas buscar nuevas soluciones innovadoras que permitan ser más sostenibles en el tiempo con productos y servicios que reduzcan el impacto medioambiental y social, lo que nos da puerta abierta a la (Ley 400 de 1997) sobre el uso de materiales alternos para el diseño y la construcción. La Ley 400 de 1997 dice lo siguiente “Se permite el uso de métodos de análisis y diseño estructural diferentes a los prescritos por esta Ley y sus reglamentos, siempre y cuando el diseñador estructural presente evidencia que demuestre que la alternativa propuesta cumple con sus propósitos en cuanto a seguridad, durabilidad y resistencia, especialmente sísmica” (artículo 10º).

El reforzamiento estructural es una necesidad en edificaciones con deficiencias constructivas o que requieren mayor capacidad de carga. Entre las soluciones modernas, el uso de fibra de carbono ha ganado relevancia por su alta resistencia, bajo peso y facilidad de instalación en comparación con métodos tradicionales como el encamisado de concreto o el refuerzo con acero. Sin embargo, su aplicación aún es limitada, principalmente debido a costos,

desconocimiento y falta de normativas claras, especialmente en estructuras pequeñas con aproximadamente 70 m² con deficiencias constructivas.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el ámbito de la construcción, a pesar de que existe un reglamento de construcción que es válido a nivel nacional, como la normativa sismo resistente del 2010 (NSR-10), aún existe un gran número de edificaciones que están o fueron construidas bajo la construcción informal. Por lo que se emplean malas prácticas constructivas y deficientes que pueden comprometer la integridad, la seguridad de los residentes y la estructura tal como lo plantea Rosero y Mojica (2021).

Existen muchos municipios del país especialmente en sectores de estratos bajos, donde sus construcciones son deficientes y en los cuales muchas de estas se deben a los malos procesos constructivos como por ejemplo el adosamiento de muros a los elementos estructurales adquiriendo cargas de servicio que no les corresponde y cambiando la rigidez de la estructura, estas malas prácticas no cumplen con la construcción sismo resistente que establece el reglamento colombiano y a la hora de presentarse eventos telúricos los elementos no estructurales son los que más cobran vidas. (p. 20)

La norma sismo resistente NSR (2010) en el prefacio exige como obligatoriedad, la revisión de los diseños de por parte de una curaduría o dependencias distritales que expiden las licencias de construcción o bien por un profesional independiente, además de que la ejecución de la construcción debe tener supervisión técnica. Este proyecto de investigación aborda el tema a la necesidad que existe en la carencia de seguridad en viviendas muy antiguas que han cumplido con su ciclo de vida y hechas bajo reglamentaciones antiguas o viviendas que han sido construidas bajo la informalidad (malas prácticas constructivas), es decir aquellas que fueron

construidas sin licencias de construcción, planos arquitectónicos, estructurales, sin supervisión entre otros requisitos.

Henao y Sánchez (2023) plantean otros riesgos asociados que se presentan por los asentamientos informales, los cuales incrementan la vulnerabilidad de sus residentes y por ende la vulnerabilidad de las estructuras. A continuación, se describen los fenómenos que se pueden presentar; Erosión de terrenos; Deslizamientos e Inundaciones; Crecimiento progresivo no planeado de comunidades; Vulnerabilidad sísmica; Inundaciones; Remociones en masa, a todos estos fenómenos son a los que se está expuesto debido a la construcción informal.

2.1 La pregunta de investigación

¿Cuál es la percepción que tienen los profesionales acerca de las barreras que enfrenta el uso de la fibra de carbono como reforzamiento estructural, pero que muchos hoy en día la identifican como una alternativa innovadora y sostenible para el reforzamiento de edificaciones vulnerables?

2.2 Los objetivos de investigación

2.2.1 Objetivo general

- Analizar la percepción de los profesionales de la construcción sobre el uso de la fibra de carbono como alternativa innovadora y sostenible para el reforzamiento de edificaciones vulnerables.

2.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la percepción de los profesionales sobre la sostenibilidad, innovación y efectividad de la fibra de carbono en comparación con métodos tradicionales, a través de encuestas.
- Evaluar los beneficios y limitaciones del reforzamiento con fibra de carbono en comparación con otros métodos de reforzamiento estructural.
- Identificar las principales barreras técnicas, económicas y sociales para su implementación mediante encuestas a profesionales del sector.

2.3 Justificación de la investigación

El reforzamiento estructural se ha vuelto una necesidad hoy en día debido a la alta densidad poblacional, se debe garantizar que las edificaciones con deficiencias constructivas o que han llegado al final de su vida útil debido al envejecimiento puedan renovar su capacidad estructural. De esta manera, se busca que la vulnerabilidad estructural no represente un riesgo para la seguridad de las personas, contribuyendo también a la una prolongación de la vida útil de las construcciones existentes todo esto de una manera sostenible.

La fibra de carbono ha surgido como una alternativa innovadora en el campo del reforzamiento estructural, destacándose por su alta resistencia, ligereza y facilidad de aplicación. No obstante, su adopción frente a métodos tradicionales como el encamisado con concreto o el refuerzo con perfiles metálicos aún genera dudas entre los profesionales y enfrenta barreras relacionadas con la percepción de su alto costo en su implementación, el desconocimiento técnico, la falta de normativa específica y la limitada capacitación profesional en su instalación y uso.

Desde el ámbito académico, este proyecto brindará un análisis exploratorio de la percepción de los profesionales del sector con respecto al uso de la fibra de carbono en edificaciones vulnerables. A través de encuestas, se pretende recoger información valiosa que contribuya al desarrollo de futuras investigaciones o ampliación de la literatura en áreas como el reforzamiento estructural y la gerencia de proyectos, especialmente enfocadas en soluciones innovadoras y sostenibles.

Además, se espera que los resultados sirvan como una herramienta de apoyo para ingenieros y gestores de proyectos, ayudándoles a evaluar de manera más informada el uso de tecnologías como la fibra de carbono dando soluciones viables para la optimización de recursos y tiempo de ejecución ya que es una técnica innovadora, de esta manera, se busca fomentar la adopción de prácticas constructivas más eficientes y comprometidas con el desarrollo sostenible del sector.

Para el marco del programa de especialización de proyectos de la universidad UNIMINUTO, esta investigación se justifica en primer lugar, como un requisito para cumplir con los estándares de alta calidad establecidos por la institución en sus modalidades de grado, los cuales están alineados con sus altos estándares de acreditación, en segundo lugar debido a que su enfoque combina aspectos técnicos innovadores y sostenibles que se utilizan hoy en día a la industria de la construcción con la gerencia de proyectos, porque son herramientas que usa un gerente para la recolección de datos, tomar en cuenta la percepción de los involucrados, utilización de criterios y capaz de tomar decisiones sostenibles, adaptándose a las nuevas necesidades del mercado.

Desde una perspectiva personal, esta investigación me ayuda a desarrollar habilidades investigativas para la ingeniería civil y combinarlos con la actual especialización de gerencia de proyectos, la idea de esta investigación es encontrar soluciones innovadoras para aportar a la conocimiento a la academia a al gremio de ingeniería, además de que esto genera ideas para promover proyectos desde el puesto de la gerencia ya que un gerente debe tener una amplia imaginación para generar una lista de soluciones al enfrentar los problemas, tomando decisiones adecuadas para él y todas las interesados del proyecto.

3 MARCO DE REFERENCIA

3.1 Marco de Antecedentes

Evaluación de las alternativas de reforzamiento estructural con fibras de carbono o encamisado de concreto armado mediante la comparativa resistencia y costo de las columnas del centro comercial A, en Lima Metropolitana. En la investigación de Huitalla (2023) lo que busca es hacer una compara el reforzamiento en fibra de carbono reforzada con polímeros (CFRP) y el convencional de encamisado en concreto armado en columnas de un centro comercial comparando efectividad, tiempo y costos, utilizando software de programación como ETABS para el análisis estructural como conclusión del proyecto la fibra de carbono es 85% más costoso que el encamisado de concreto reforzado, pero el tiempo de ejecución es de 65 días para la (CFRP) y 161 días para el reforzamiento convencional, habiendo una diferencia de 96 días, concluyendo que ambas opciones son viables para el refuerzo, pero el centro comercial por temas de tiempos opta por reforzamiento en fibra de carbono.

“Uso de fibra de carbono en reforzamiento de estructuras de edificaciones, centro empresarial camino real, san isidro”. El objetivó de este estudio realizado por Paucar y Manrique (2019) fue el uso de (CFRP) en vigas principales y viguetas de una losa aligerada debido al cambio del tipo de servicio en el cual se incrementaría el peso por metro cuadrado, dentro de en un centro comercial y fue comparado con el reforzamiento en platina de acero, teniendo como resultado un aumento en la resistencia a la tensión, mejorando su confinamiento y cumpliendo el objetivo de un aumento en la capacidad de la carga. El tiempo empleado con la

fibra de carbono fue de 17 días de reducción frente a la instalación de la fibra de carbono con un rendimiento de 40 m/día y con una diferencia en costo de 82.33% frente a las platinas de acero. Concluyendo que esta opción debe ser más viable cuando de tiempo se trate y cuando no se necesite un método tan invasivo, lugares con equipos pequeños y que se necesite ligereza.

Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono. Así como lo dice el título de trabajo, en este trabajo Tisalema (2023) realiza la comparación de probetas de concreto simple y probetas encamisadas con fibra de carbono se usaron los dos grupos de 30 cilindros de concreto que se fallaron a los 28 días de curado con una resistencia de 210 kg/cm², teniendo como un resultado positivo una resistencia a la compresión en los 28 días de un 18.01% más que los cilindros convencionales de concreto simple. El autor llega a la conclusión que la diferencia en costos del metro cubico de hormigón simple y hormigón reforzado es de 378 dólares a la fecha del 2023, siendo mucho más caro la fibra de carbono. También afirma que el tipo de falla de las probetas sin reforzamiento son de falla frágil y pueden ser explosivas, contrario a las revestidas en fibra de carbono.

Reforzamiento de puentes de concreto con fibras de carbono. Este trabajo de grado busca concientizar porque se debe hacer reforzamiento de puentes con fibras de carbono en Colombia, primeramente Mosquera (2007) nos dice cuáles son las condiciones por las cuales se debe hacer un reforzamiento estructural en puentes con láminas CFRP y es por el incremento de cargas, actualizaciones de código, reforzamiento después de haberse presentado un evento sísmico que generen fisuras o daño externo a la estructura del puente, errores de diseños de construcción y menores costos porque si el costo de reforzamiento supera el 50% de lo que cuesta construir un puente nuevo no se debe contemplar esta opción y se opta por buscar otras soluciones o

construirlo nuevamente. Finalmente, el autor invita que el reforzamiento con CFRP no sea utilizado solamente en puentes si no en otro tipo de estructuras como edificaciones debido a su comportamiento mecánico. En su investigación da parámetros para usarlos como guía al realizar su instalación en puentes y promueve el uso de software para facilitar el cálculo crear diferentes escenarios como número de envolturas, ancho de fibra, numero de espaciamientos entre otros

Uso de fibras de carbono como reforzamiento estructural en vigas de concreto armado.

En su investigación Olivera (2022), sugiere comprar el uso de CFRP como alternativa para alargar la vida útil de las estructuras o que ayudan a prevenir o reparar las patologías presentadas en el concreto armado, su objetivo es verificar cómo se comporta una viga de concreto armado y realizó un diseño experimental de un elemento sometido a diferentes formas de diseño es decir con distintas cuantías de acero y refuerzo en fibra de carbono con un control de curado a los 7, 14, 21 y 28 días, como resultado de su investigación logró demostrar que el uso de materiales compuesto por fibra de carbono aumenta de manera positiva la rigidez del elemento estructural, aumentando en 72.06% las propiedades mecánicas de la viga, para solo una capa de recubrimiento con lamina de fibra de carbono se encontró un aumento en la resistencia a flexión de 8.53% = 53.78 kg/cm², para recubrimiento con dos capas el aumento fue de 15.9% = 82.78 kg/cm² y para tres capas el aumento a la flexión finalmente fue de 43.29% = 33.41kg/cm²

3.2 Marco Teórico

Hoy en día la investigación de nuevos materiales está en auge según Mosquera (2007) estos nuevos materiales tienen resistencias mecánicas, físicas y químicas especiales, entre ellas están la fibra de carbono como material de refuerzo estructural que aparece desde 1960 y en 1980 se hizo su primera aplicación en una estructura, su densidad oscila entre 1.6-1. g/cm³. El

reforzamiento debe evaluarse y usarse cuando existe un incremento en la carga de servicio, después de un sismo, actualización de códigos, errores de diseño y construcción

Como manifiestan Paucar y Manrique (2019) La imprimación de las fibras de carbono en algunas estructuras tiene alta resistencia a la tracción y a la corrosión contrario a las varillas de acero que pasan por el proceso de oxidación por lo general se utiliza la fibra de carbono donde se evidencia fallas o grietas moderadas. La fibra de carbono corrige la pérdida de sección en algunos casos por deterioro o deficiencias constructivas, en pocas palabras se usa para la rehabilitación y reparación de elementos estructurales, otra de las bondades de este material es su peso ya que es liviano de fácil trasiego y transporte, evitando que la sección de los elementos estructurales aumente, ya que aumenta la resistencias de elementos tipo viga, losas o columnas sin aumentar peso a la estructura y se les puede dar la geometría deseada, además de que se necesita menos personal para su instalación. Para la correcta instalación se debe utilizar resinas que hayan sido probadas para su adherencia con la superficie del concreto.

Lo que se debe tener en cuenta al momento de llevar a cabo un proyecto de restauración de una estructura es que los materiales deben cumplir con las siguientes características deben ser materiales de calidad, con resistencia, de menor sección y livianos para no cargar con mucho peso la edificación. Por último, como dice la normativa el proyecto debe estar bajo la supervisión de un profesional especializado que sepa en donde realizar la instalación dependiendo de la separación entre columnas o estado de afección a los elementos estructurales existentes y este debe evaluar objetivamente si estas alternativas son convenientes o definitivamente se debe demoler la edificación y empezar de nuevo con las técnicas de construcción convencionales. Si se desea saber más sobre el uso e instalación correcta de las fibras de carbono consultar a Güenes

(2015) técnico colaborador de Sika en donde promociona su producto ampliando mucho más este tema.

3.2.1 Materiales utilizados para la instalación del CFRP

En su guía de cálculo y diseño los autores Baquer et al. (2021) indican que los materiales FRP definido como como fibras de polímero embebidas en resinas están diseñadas principalmente para la industria automovilística, náutica y aeronáutica donde se usa mayormente para productos de protección como prendas militares y accesorios deportivos, debido a que se tiene un mayor conocimiento de su capacidad estructural, su ligereza y su disminución de precio a lo largo de los años y se ha extendido en los últimos años al ámbito de la construcción.

Los CFRP son fibras resistentes a la tracción y su resistencia aumenta según la disposición de los filamentos de carbono y se pueden encontrar en el mercado en diferentes formatos como la fibra de carbono tejida, son agrupaciones que pueden estar tejidas en una, dos o más direcciones, formando telas que son utilizadas en obra.

- **Barras:** Las barras de carbono son filamentos unidireccionales de carbono en forma de un diámetro controlado, trabaja de manera análoga a las barras de acero convencionales y se instalan internamente dentro del elemento estructural
- **Laminados:** Las fibras laminadas son elementos son filamentos unidireccionales o multidireccionales de carbono con disposición geométrica perfectamente lineal y principalmente se utilizan para refuerzos lineales
- **Mechas:** Las mechas de carbono son elementos de fibra de carbono tipo soga utilizadas como anclaje a través del empotramiento mediante resinas y se utiliza especialmente para

refuerzo a cortante o flexión cuando es muy difícil o imposible el envolvimiento con láminas por la falta de espacio, las mechas aseguran la transmisión de esfuerzos de la estructura al refuerzo

- **Resinas:** Las resinas epóxicas son fundamentales para el uso del reforzamiento ya que se encargan de transmitir los esfuerzos desde el elemento estructural revestido, al compuesto de fibra de carbono y viceversa, se deben diseñar para garantizar su adherencia y la resina debe tener excelente resistencia a cortante y sin fluencia

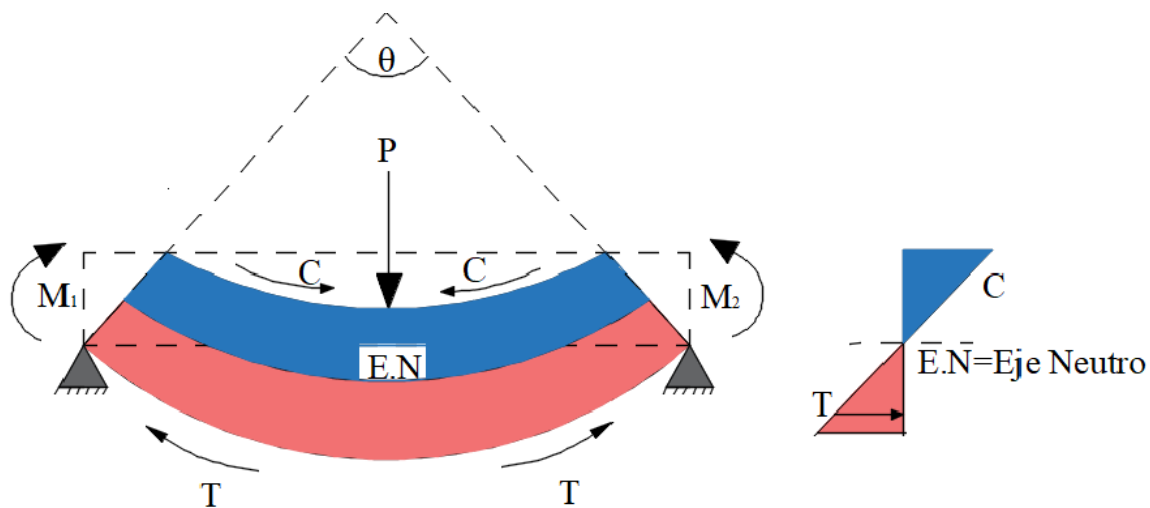
3.2.2 Criterios para el diseño de las estructuras según su esfuerzo.

Criterios de diseño, se diseña teniendo el estado límite de servicio y el estado límite último, en dónde se evalúan todos los modos de rotura del material.

Siguiendo nuevamente con Baquer et al. (2021) los sistemas laminados de fibra de carbono expuestos a la flexión en elementos tipo viga y losa en la figura número 1 se logra observar cómo se distribuyen los esfuerzos dentro del elemento, para la instalación del laminado se adhieren externamente a la superficie en sus zonas de momentos positivos y momentos negativos para contribuir a mejorar la resistencia a la flexión, además de que se usan reglas del cálculo análogas a las de hormigón reforzado solo que con un aumento en la rigidez por tanto es necesario mirar las deflexiones por los esfuerzos de las cargas de servicio y tener en cuenta los cambios de rigidez con respecto al diseño original.

Figura 1.

Distribución de esfuerzos en una viga isostática



Nota: Fuente elaboración propia tomado de *Caracterización mecánica de muretes revestidos en mortero aligerados con núcleo de canastilla de cartón* Mojica y Rosero (2021).

El refuerzo a cortante según Baquer et al. (2021) es un cocido transversal de la estructura y análogamente es muy parecido a la instalación de estribos o flejes en la construcción convencional, la capacidad de este reforzamiento dependerá de la calidad y resistencia del concreto previamente instalado, del módulo elástico de la lámina y la luz libre del elemento lo ideal sería envolver toda la viga pero la gran mayoría en su cara superior está empotrada dentro de la losa si la viga ya está reforzada con lamina a flexión se recomienda instalar la láminas transversales a cortante por encima de esta

Para confinamiento se utiliza especialmente en columnas aunque la fibra de carbono está diseñada para trabajar a flexión y es nula para absorber compresión debido a su elevada esbeltez, sin embargo se puede instalar de manera transversal, de manera que la fibra de carbono quede

perpendicular a los esfuerzos de compresión dando un confinamiento a la columna minimizando una deformación transversal efecto Poisson, aumentando proporcional la compresión por lo que el revestimiento debe ser de una ductilidad baja (baja deformación o estiramiento antes de romperse), debido al aumento de carga y evitando que el reforzamiento falle.

Para saber el diseño y deformaciones de las estructuras con el reforzamiento de CFRP se recomienda mirar las fórmulas en la normativa vigente que muchas son análogas a la formulación de concreto reforzado estas fórmulas están expresadas en este documento en el apartado del marco legal y normativo.

3.2.3 ¿Es la fibra de carbono es un material sostenible?

Esta es una respuesta que nos responde la empresa de reino unido Composites Construction UK (2022) en su blog, la cual nos habla sobre las bondades de la fibra de carbono como su ligereza y su alta resistencia (5 veces más resistente que el acero convencional) y que su objetivo organizacional es la disminución la huella de carbono en el planeta y comprometidos a minimizar el impacto del medio ambiente, nos habla sobre el impacto por el uso excesivo de la fibra de carbono y es que la fibra de carbono es y al mismo tiempo no es un material verde ya que la fibra de carbono se presenta en muchas formas y algunas formas demoran más en degradarse en el tiempo, por tanto son más difíciles de reutilizar, así que en sus proyectos de construcción intentan minimizar la huella de carbono utilizando fibras de carbono verdes es decir que el material utilizado es un material verde, esta empresa expone el ejemplo de que la fibra de carbono compuesta o basado en lignina (polímero natural que se presenta en las paredes de las plantas) presentan una cantidad de carbono entre 50% y 71% de carbono por lo que las hace un material preferible para aplicaciones de bajo coste ya que su producción y reciclaje es ecológico

tiene ventajas como su alta resistencia a la tensión y su baja conductividad térmica dándole alta resistencia a las temperaturas. Sin embargo, la gran mayoría de fibras de carbono no son biodegradables ya que su función es que no pierda su forma y sus propiedades y se fabrican con el fin de durar por lo menos 50 años en las estructuras por lo que es importante controlar los desperdicios. La fabricación de fibras de carbono requiere procesos de oxidación y carbonización y requiere de mucha energía para su fabricación por lo cual es importante que los productores utilicen energías limpias y renovables como la energía eólica o la hidráulica con una reducción de 20 toneladas de CO₂ por cada tonelada de fibra de carbono, por lo que se debe ser responsable al momento de contratar proveedores y contratistas especializados.

3.3 Marco normativo

En Colombia no existe una NTC que especifique el uso de (CFRP), también está la norma sismo resistente NSR-10 pero esta no especifica o contempla de manera específica el reforzamiento de estructuras con materiales no convencionales, en Colombia es común usar normativas internacionales en proyectos que incluyan refuerzo con fibra de carbono como una de las guías más usadas nivel mundial de Association Concrete Institute (ACI 440.2R-17) y la (ACI 440.1R-15), estas guías nos da una formulación, diseño, instalación y control de calidad para refuerzos de flexión, cortante, y confinamiento aplicados en sistemas de FRP (Fiber Reinforced Polymer) en elementos estructurales. Aunque también se puede complementar con algunas otras guías y normativas internacionales como, por ejemplo.

- ISO 14484:2013 – Performance Guidelines for Design of FRP Structures
- fib Bulletin 14 – Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures

A continuación, se realizará una síntesis de las recomendaciones que da la normativa ACI 440.2R (American Concrete Institute (2017)) primeramente nos habla sobre las directrices diseño, evaluación y rehabilitación de estructuras de concreto existentes reforzadas con materiales alternativos como es en este caso la fibra de carbono o como se conoce por sus siglas en inglés (CFRP) y habla también de las barras de acero como material alternativo a las barras de acero convencionales.

Primeramente en la introducción de esta normativa se nos habla acerca de sobre que alcances tiene la guía ya que solo se centra en el refuerzo con CFRP y se establece que siempre debe hacerse una evaluación inicial antes de aplicar el revestimiento en los elementos estructurales, que se han deteriorado con el tiempo por envejecimiento y deben recuperar su estado original o incluso aumentar la resistencia de las estructuras las cuales no cumplen los requisitos de cargas debido al aumento de las cargas establecidas en el diseño original, se debe hacer un análisis del estado actual de la estructura a través de métodos no de inspección no destructivos para localizar fisuras, corrosión o soldaduras sobre la superficie se puede hacer a través de inspección visual con lupas, cámaras o microscopios, existen otros métodos para saber el estado interno de la estructura sin que sea invasivo y genere alguna afectación a la estructura como la radiografía (rayos X o Gamma), ultrasonido, acústico, líquidos penetrantes, termografía por infrarrojos entre otros métodos.

El CFRP es muy resistente a la intemperie lo que hace que exista una alta durabilidad y resistencia a la corrosión, por lo que es ideal para ser usado en ambientes como lo son puentes, túneles o estructuras marítimas, pero el material es vulnerable a la corrosión del refuerzo interno que genera la estructura original por lo que se debe estar haciendo constante monitoreo en el tiempo, por pérdida de adherencia o degradación del material.

Para la instalación del material consta de varios pasos y lo primero que se debe hacer es lo siguiente es preparar la adecuadamente la superficie esta debe estar libre de estar limpia y libre de polvo, grasa, aceites, pinturas o cualquier contaminante que pueda afectar la adherencia entre el concreto y el CFRP, en caso de haber alguna mal formación de concreto se debe desbastar o eliminar asegurando que la superficie este lisa y seca, inspección previa a la estructura, para la superficie debe tener una planeidad bajo la regla de 2 m menor o igual a 10 y regla de 30 cm y la superficie debe tener una humedad igual o mejor del 4% y está debe estar libre de suciedad, manchas y limpieza en caso de partes mal adheridas e instalarse a una temperatura ambiente de 5 a 30° C.

A continuación, se aplica resina epóxica a la superficie y esta actúa como un adhesivo entre el concreto y CFRP, esta también es resistente a la corrosión y son durables en condiciones ambientales hostiles, esta resina se asegura la integridad de la estructura y que estos elementos permanezcan unidos durante toda su vida útil.

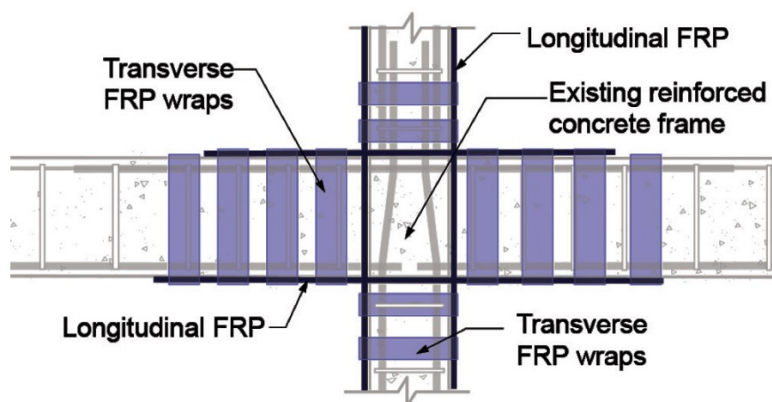
Para la colocación del CFRP puede ser instalado en patrones dependiendo del tipo de carga o el área que se va a reforzar y también se instalar en capas uniformes para maximizar su capacidad, por ejemplo en las intersecciones de vigas y columnas también conocidos como nodos estructurales (ver figura 2) son zonas críticas debido a sus altos momentos de flexión y altos esfuerzos de tensión por corte y deben instalarse de una manera especial, aquí no solo se colocan en forma horizontal como se hace en la cara de las vigas, es decir se debe colocar un refuerzo adicional en las esquinas de vigas y columnas se deben envolver alrededor asegurando que toda la superficie quede cubierta o se puede colocar a lo largo de las aristas para asegurar una mayor resistencia a torsión y ayudar a distribuir las cargas, la norma también menciones el

uso de otros materiales en algunos casos para la envoltura combinada en los nodos como la fibra de vidrio, aramidas mallas metálicas en caso de que se quieran reducir costos.

Nota: la fibra de carbono reforzada debe instalar de acuerdo con el diseño estructural y aun estando fresca la resina y hacer uso de un rodillo o espátula asegurando que no queden burbujas en su interior.

Figura 2.

Esquemas de instalación de la fibra transversal en los nodos.



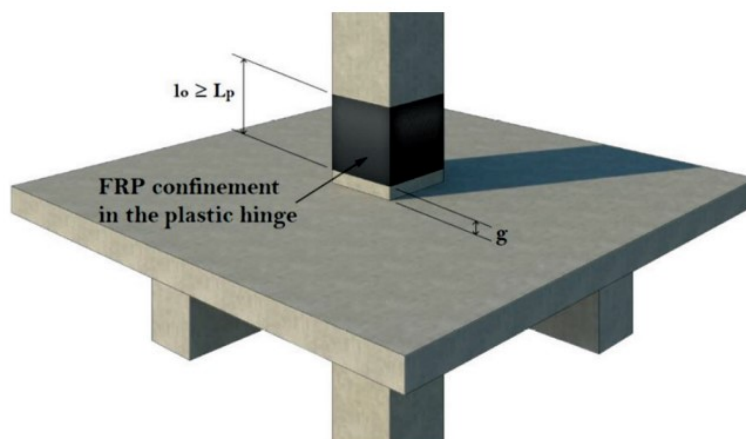
Nota: Tomado de American Concrete Institute. (2017). *ACI 440.2r-17* (p.41)

Como ya se habló anteriormente para la instalación en vigas se instala longitudinalmente para mejorar el refuerzo a flexión (en la parte inferior de las vigas) y transversalmente para los nodos que trabajan esfuerzos de corte, en vigas no necesariamente el CFRP no debe confinar a menos que se vaya a hacer un aumento de su ductilidad, el confinamiento es mucho más común en las columnas para el aumento de resistencia a cargas de compresión (modulo elástico), aumento de resistencia laterales en un evento de cargas sísmicas, mejora de ductilidad y pandeo. Se debe instalar en forma envolvente enrollando la columna ver figura 3. Para finalizar la instalación se debe hacer un curado del material para asegurarse la correcta adherencia del material, para el curado se puede usar calor o secado a temperatura ambiente este tiempo de curado depende del tipo de resina puede llevar horas (con equipos especiales) o días, se

recomienda hacer un curado de mínimo 7 días antes de poner la carga o revisar la ficha técnica de las resinas que nos da el proveedor, una vez finalizado el curado se hace una inspección post-instalación puede ser inspección visual o ensayos de tracción sobre el material para asegurar que la adherencia haya sido exitosa.

Figura 3.

Esquemas de instalación de la fibra transversal para confinamiento en columnas.



Nota: Tomado de American Concrete Institute. (2017). *ACI 440.2r-17* (p.39)

3.3.1 Fórmulas para el diseño de las fibras de carbono.

Para calcular la resistencia a la flexión de una viga de concreto con refuerzo CFRP aplicado en su cara inferior (debajo de la viga)

Cuando se utiliza CFRP para reforzar una viga de concreto, la fórmula general para la resistencia a la flexión es:

$$M_u = M_{concreto} + M_{FRCP}$$

Donde:

- M_U = Momento de flexión última.
- $M_{Concreto}$ = Momento de flexión resistido por el concreto.
- M_{CFRPM} = Momento de flexión resistido por las fibras de carbono (CFRP).

La contribución del CFRP en flexión se calcula usando:

$$M_{CFRP} = A_f * f_f * (d - a_f)$$

Donde:

- A_f = Área de las fibras de CFRP (normalmente en mm² o cm²).
- f_f = Resistencia de las fibras de CFRP (en MPa).
- d = Distancia desde la fibra más comprimida hasta la fibra más tensa (mm).
- a_f = Distancia desde la fibra de carbono hasta el centroide de la sección de concreto (mm).

3.3.2 Resistencia a la tracción de CFRP

La resistencia a la tracción de las fibras de carbono también se puede calcular utilizando:

$$F_{CFRPF} = A_f * f_f$$

Donde:

- F_{CFRPF} = Fuerza máxima resistida por las fibras de carbono.
- A_f = Área de las fibras de CFRP.
- f_f = Resistencia de las fibras de CFRP.

3.3.3 Condiciones de servicio para el refuerzo CFRP

El ACI 440.2R-17 también menciona las limitaciones y las condiciones bajo las cuales se debe trabajar el material CFRP, como la **deformación máxima admisible**. La deformación máxima del CFRP ϵ_f se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\epsilon_f = \frac{f_f}{E_f}$$

Donde:

- ϵ_f = Deformación máxima de las fibras de carbono.
- f_f = Resistencia de las fibras de carbono.
- E_f = Módulo de elasticidad de las fibras de carbono (aproximadamente 230,000 MPa).

3.3.4 Resistencia de corte de una viga con refuerzo CFRP

El refuerzo CFRP también puede aplicarse en la sección de corte para aumentar la capacidad de corte de la viga. La fórmula básica para el refuerzo de corte con CFRP es:

$$V_u = V_c + V_f$$

Donde:

- V_u = Resistencia de corte última.
- V_c = Resistencia de corte proporcionada por el concreto.
- V_f = Resistencia de corte proporcionada por el refuerzo CFRP.

El refuerzo de corte proporcionado por las fibras CFRP se calcula como:

$$V_f = f_f A_f * (d)$$

3.3.5 Factor de eficiencia del refuerzo CFRP

El factor de eficiencia de un refuerzo CFRP para flexión o corte está relacionado con el aumento de la capacidad de carga proporcionado por el material CFRP y es un parámetro importante en el diseño. Se puede calcular utilizando una relación de la forma:

$$\eta = \frac{M_{FRCP}}{M_{Concreto}}$$

Donde η es el factor de eficiencia que representa la mejora en la resistencia debido al refuerzo CFRP

3.3.6 Refuerzo en compresión con CFRP

En estructuras de concreto sometidas a compresión, el uso de CFRP se emplea generalmente para aumentar la capacidad de compresión y mejorar la estabilidad frente a fallas por pandeo o flexión. Sin embargo, es importante entender que el refuerzo CFRP en compresión funciona de manera diferente que en flexión.

3.3.6.1 Fórmula para la resistencia a la compresión en secciones reforzadas con CFRP

El refuerzo CFRP en compresión se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$P_u = P_{Concreto} + P_{CFRP}$$

Donde:

- P_u = Resistencia total a la compresión de la sección reforzada.
- $P_{concreto}$ = Resistencia a la compresión del concreto.
- P_{CFRPP} = Resistencia adicional proporcionada por el CFRP.

La resistencia proporcionada por el CFRP se puede calcular como:

$$P_{CFRPP} = A_f * f_f$$

Donde:

- A_f = Área del refuerzo CFRP.
- f_f = Resistencia a la tracción de las fibras de carbono.

En este caso, las fibras de CFRP se colocan generalmente en las caras laterales o exteriores de la viga o columna para reforzar la compresión, especialmente en elementos como columnas o paredes.

3.3.6.1.1.1 Resistencia de cortante con CFRP en columnas

En el caso de las columnas reforzadas con CFRP, el refuerzo en cortante se calcula considerando la capacidad adicional proporcionada por las fibras de carbono. Se puede expresar como:

$$V_f = A_f * f_f * \left(\frac{h}{2}\right)$$

Donde:

- h = Altura de la columna.

4 METODOLOGÍA

El estudio se basa en fuentes secundarias y primarias, utilizando una metodología con un enfoque mixto cuantitativa descriptivo y se base también análisis cuantitativos exploratorios:

- Revisión de literatura sobre el desempeño de la fibra de carbono en estructuras de concreto.
- Encuestas online y preguntas abiertas elaboradas con ayuda de inteligencia artificial a ingenieros y profesionales del área para recopilar datos sobre su uso, ventajas y desventajas.
- Análisis de las respuestas cerradas desde la gerencia de proyectos, considerando factores de viabilidad económica, operativa y revisar en que escenarios sería más viable el uso de CFRP, en el caso de las preguntas abiertas. Se realizará un análisis a través del lenguaje de la IA, en este caso se usará ChatGPT y Gemini para la identificación de patrones, opiniones frecuentes y percepciones relevantes, el “Prompt” utilizado se ve desarrollado en el análisis de resultados de la pregunta número 17. (ver página 55)
- Conclusiones de la información recopilada.

Se obtiene una evaluación objetiva sobre el uso de fibra de carbono en estructuras pequeñas, determinando si su aplicación es viable desde una perspectiva técnica, económica y de gestión de proyectos. Los resultados pueden servir como base para futuras recomendaciones en normativas y buenas prácticas de reforzamiento estructural en edificaciones vulnerables. Obsérvese en la tabla número 1, se logra ver la lista de preguntas que se realizaron a los encuestados en el apartado codificación de datos.

4.1 Enfoque y alcance de la investigación

Esta investigación tiene un enfoque mixto en mayor parte cualitativo combinado con un análisis cuantitativa. En el análisis cuantitativo descriptivo se comparan tiempos de ejecución, costos y preguntas cerradas para hacer un análisis mensurable por lo que se lleva a cabo una estadística descriptiva en donde se verán gráficos, porcentajes, frecuencias y medias en caso de ser necesario para las preguntas cerradas. Esta investigación se define como una investigación descriptiva, esto quiere decir que no se realizó experimentación y el análisis se hizo sobre datos existentes y experiencias de los profesionales, el tiempo de investigación es transversal, es decir en un solo periodo, sin un seguimiento longitudinal.

Se analiza si es conveniente el uso de CFRP en estructuras con baja eficiencia constructiva frente a otras alternativas de reforzamiento estructural en términos de eficiencia y costos. Esta información se obtiene de un marco de antecedentes en donde se ha empleado proyectos con refuerzo en fibra de carbono y a través de encuestas a profesionales en grupos de ingeniería para evaluar su experiencia y percepción sobre la fibra de carbono en reforzamiento estructural, se realiza un análisis de resultados a las barreras que perciben los profesionales en el sector y por último a partir de los análisis de resultados se hace la elaboración de las conclusiones y recomendaciones pertinentes al final del documento.

4.1.1 Las limitaciones de la investigación:

La investigación no es experimental ya que no se hará manipulación de variables, en otras palabras, no se realizaron ensayos en laboratorio con un entorno controlado. En lugar de centrarse en análisis estructurales avanzados como pruebas de durabilidad, comportamiento sísmico o resistencia al fuego, el estudio se desarrollará desde una perspectiva descriptiva y

aplicada, orientada a la gerencia de proyectos. El objetivo es analizar aspectos como costos, tiempos de ejecución y saber si se puede de implementación de la fibra de carbono como técnica de reforzamiento estructural a través de encuestas que solo se realizaran a la población de ingeniería civil.

Por último, el trabajo se centra en el análisis de percepciones y experiencias profesionales, a partir de fuentes secundarias (literatura técnica y casos documentados) y fuentes primarias (encuestas a profesionales del área de ingeniería civil). Asimismo, se aclara que el estudio no aborda el uso de barras internas de fibra de carbono, ya que estas suelen aplicarse en edificaciones nuevas y no en estructuras existentes, que son el foco central del presente análisis.

4.2 Población y muestra

4.2.1 Definición de la población

La encuesta está dirigida a todos los profesionales de la construcción como lo son ingenieros civiles, constructores, residentes de obra, empresas enfocadas a la instalación de refuerzo estructural, arquitectos, supervisores, directores de obra entre otros.

4.2.2 Cálculo y selección de la muestra

En esta selección de muestra no se tiene una región específica, la muestra esta centrada especialmente en profesionales de Colombia o Latinoamérica ya que como se ha mencionado anteriormente los códigos y normativas son internacionales, tampoco se tiene criterios de edad o sexo, se preguntará la antigüedad y tipo de cargo, las encuestas solo estarán orientadas a profesionales en el área de la construcción. Se aplicará un muestreo no probabilístico como lo

dice Pimienta R. (2000) que la muestra no será aleatoria se escogerá por conveniencia con los criterios subjetivos ya expuestos anteriormente por lo cual no representa un total de la población y se hace especialmente para tener un estudio exploratorio en donde podamos entender un fenómeno específico.

4.3 Instrumento(s)

El procedimiento de recolección de datos fue realizado por medio de una encuesta que constaba de preguntas cerradas de selección múltiple y una pregunta abierta, la encuesta se estructuró con ayuda de la inteligencia artificial OpenAI (2025) se distribuyó por medio de redes sociales, grupos de ingeniería y construcción, foros de discusión de materiales en Reddit. La encuesta se realizó en Google Forms y se obtuvieron 21 datos, aunque por descarte o error en la contestación se descarta 1 y solo quedaron 20 datos con los que se trabajó esta monografía. La encuesta tuvo una duración de 6 días que estuvo abierta desde el 19 de marzo del 2025 hasta el 26 de abril de este mismo año.

4.4 Descripción de procedimientos

4.4.1 Codificación y recolección de datos

Estos fueron los datos obtenidos por la comunidad de la ingeniería y la construcción la participación fue baja debido a que la gran mayoría manifestó no saber mucho acerca del tema al ser un producto innovador, esto podría ser bueno ya que solo responden población con conocimiento en el tema, pero también podría generar sesgos en la investigación. Las siguientes ilustraciones son tomadas de Google Forms por encuesta realizado por el autor Rosero Y. (2025) “Encuesta sobre la Viabilidad del Uso de Fibra de Carbono en Comparación con Otras Técnicas

de Reforzamiento Estructural”, (el cuestionario estará abierto indefinidamente para poder seguir teniendo opiniones más adelante el enlace se encuentra en las referencias de este documento).

4.4.2 Codificación de datos en MICROSOFT EXCEL

Las preguntas 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15 y 16 son variables de orden cualitativa nominal, solo sirve para identificar y la magnitud no tiene un resultado en específico, contrario a las preguntas 2, 10 y 12 que son variables ordinales ya que tienen una escala de satisfacción, por ejemplo, la pregunta número 2 mide el tiempo de experiencia del encuestado de entre menos de 5 años, de 5 a 10 años y mayor a diez años. La pregunta número 10 se cuestiona el nivel de efectividad del método entre muy efectiva, moderadamente efectiva, poco efectiva y nada efectiva. Y la pregunta número 12 cuestiona si es útil en edificaciones realizadas por autoconstrucción como una solución viable las posibles respuestas están a una escala de “si es efectiva, depende y nada efectiva”.

A continuación, se muestra en la tabla número 1 las 17 preguntas realizadas a los encuestados y como se clasifico su codificación se enumeraron de orden ascendente con nomenclatura de números.

Tabla 1.

Codificación de datos para cada una de las preguntas planteadas.

1. ¿Cuál es su especialidad dentro de la ingeniería civil?	
Construcción	1
Supervisión de obras	2
inspección	3
Residencia de obras	4
inspección	5
Gerencia de proyectos	6
2. ¿Cuántos años de experiencia tiene en proyectos de reforzamiento estructural?	
Menos de 5 años	1
Entre 5 y 10 años	2
Más de 10 años	3
3. ¿Ha trabajado en proyectos de reforzamiento de edificaciones con deficiencias constructivas o envejecimiento estructural?	
Sí	1
No	2
4. ¿Ha trabajado en proyectos donde se utilizó fibra de carbono como método de reforzamiento estructural?	
Sí	1
No	2
5. ¿Cuáles considera que son las principales causas de vulnerabilidad estructural en edificaciones con baja eficiencia constructiva? (Seleccione hasta 3 opciones)	
Mala calidad del concreto o acero	1
Deficiencias en el diseño estructural	2
Falta de mantenimiento y deterioro con el tiempo	3
Afectaciones por eventos sísmicos o cargas inesperadas	4
Errores constructivos	5
6. ¿Cuáles de las siguientes técnicas de reforzamiento ha aplicado en sus proyectos? (Seleccione todas las opciones que correspondan)	
Encamisado con concreto y acero	1
Adición de perfiles metálicos	2
Uso de placas de acero adheridas con resina epóxica	3
Refuerzo con fibra de carbono (FRP)	4
Ninguna	5

7. En su experiencia y/o conocimiento, ¿Que métodos de reforzamiento consideras mas viables para viviendas autoconstruidas (construcción realizada por el mismo propietario o comunidad)?

Encamisado con concreto y acero	1
Uso de placas de acero adheridas con resina epóxica	2
Refuerzo con fibra de carbono (FRP)	3
Refuerzo en fibra de vidrio (GFRC)	4

8. ¿En qué casos considera que el reforzamiento con fibra de carbono es más adecuado que otras técnicas? (seleccione varias opciones)

Cuando se requiere mínima afectación de la estructura existente (no invasivo)	1
Cuando el aumento de carga estructural debe ser bajo	2
Cuando se busca una solución de rápida ejecución	3
Cuando el aumento de carga estructural es alto y no se puede expandir más la estructura	4

9. ¿En qué casos considera que la fibra de carbono NO es la mejor opción de reforzamiento?

Cuando la estructura tiene daños severos en el concreto y acero	1
Cuando se requiere un aumento significativo de la capacidad del servicio estructural	2
Cuando los costos son una limitación importante	3
Todas las anteriores	4

10. ¿Qué tan efectiva considera la fibra de carbono en la mejora de la capacidad estructural de edificaciones con deficiencias constructivas o envejecimiento?

Muy efectiva	1
Moderadamente efectiva	2
Poco efectiva	3
Nada efectiva	4

11. ¿Cuál considera que es la opción de reforzamiento más viable en términos de costo-beneficio?

Encamisado con concreto y acero	1
Refuerzo con perfiles metálicos	2
Placas de acero adheridas con epóxico	3
Fibra de carbono	4

12. En proyectos de reforzamiento de viviendas pequeñas ($\approx 6 \times 12$ m), hechas por autoconstrucción, ¿cree que la fibra de carbono es una solución económicamente viable?

Sí, en la mayoría de los casos	1
Solo en casos específicos	2
No, es demasiado costosa	3

13. ¿En qué elementos estructurales cree usted que se debería usar la fibra de carbono? (Puede seleccionar varias opciones)

Vigas	1
Columnas	2
Nudos estructurales	3
Losas	4

14. Desde la gerencia de proyectos, ¿cuáles considera que son las principales barreras para la implementación de fibra de carbono en el reforzamiento estructural? (Seleccione varias opciones)

Alto costo de los materiales	1
Falta de conocimiento y capacitación en su aplicación	2
Dificultad para evaluar su desempeño a largo plazo	3
Regulaciones y normativas poco claras	4

15. Desde la perspectiva de gestión de proyectos, ¿qué factores considera más importantes al elegir una técnica de reforzamiento estructural? (Seleccione hasta 3 opciones)

Costo del material y mano de obra	1
Tiempo de ejecución	2
Impacto en la estructura existente	3
Disponibilidad de materiales en el mercado	4

16. ¿Considera que en el futuro el uso de fibra de carbono aumentará en proyectos de reforzamiento estructural?

Sí, debido a sus ventajas técnicas	1
No, debido a su alto costo	2
Dependerá de la reducción de costos y avances en normativas	3

Una vez eliminadas las participaciones de sesgo, se observa la decodificación de datos en Excel los cuales fueron llevados al programa gratuito “Jamovi Project” que nos permite hacer análisis estadísticos de manera sencilla, especialmente por su apartado gráfico. Como observamos en la tabla número 1 y 2 las preguntas 5, 6, 8, 13, 14 y 15 son de selección múltiple con varias opciones de respuesta.

Tabla 2.*Decodificación de datos exportados desde Excel.*

	Codificación de datos																			
pregunta 1	1	2	3	4	1	4	6	-	7	-	9	1	3	1	-	4	1	4	6	1
pregunta 2	1	2	3	1	1	1	3	1	2	2	3	2	-	1	1	1	1	1	1	1
pregunta 3	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
pregunta 4	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1
pregunta 5	4	5	3	2	2	2	2	4	4	3	3	2	2	2	4	2	2	-	4	3
	-	-	-	-	3	-	4	3	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	4	3	-	-	-	4	3	4	-	-	-	-	4	-	-	-
	1	1	1	2	Otra	5	1	-	1	1	1	1	5	5	5	5	5	-	-	-
pregunta 6	4	-	4	-	-	-	-	2	3	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	2	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1
pregunta 7	2	1	1	1	1	1	4	1	1	2	1	1	+	-	1	1	1	-	-	-
pregunta 8	1	1	2	3	1	1	4	1	4	1	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	4	3	4	3	2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pregunta 9	2	3	1	1	4	2	1	2	3	3	1	1	-	-	1	1	-	-	-	-
pregunta 10	2	2	2	1	3	3	1	2	2	2	1	2	2	2	3	3	2	1	2	2
pregunta 11	2	1	1	2	1	1	4	1	1	3	4	3	1	1	1	1	1	1	1	1
pregunta 12	2	3	3	3	2	2	1	2	3	3	2	2	-	-	-	-	3	2	3	1
	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	-	1	1
pregunta 13	3	3	2	-	3	3	2	-	-	2	2	4	-	4	-	-	3	4	4	3
	-	-	3	-	4	4	3	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3	2
	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	2	-
	2	1	1	1	1	1	2	2	1	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1	1
pregunta 14	4	2	2	-	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3
	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	1	1	1	3	1	2	1	1	2	1	1	-	-	2	1	1	2	1	1
pregunta 15	2	4	2	4	4	3	3	2	-	3	2	2	-	-	-	-	2	-	2	2
	-	2	-	2	-	2	4	3	-	4	3	3	-	-	-	2	-	-	3	-
pregunta 16	3	3	3	1	3	1	1	3	1	3	1	3	2	3	2	2	2	2	1	2

4.5 Consideraciones éticas

4.5.1 Análisis de consideraciones éticas

Para la recolección de datos se utilizó el siguiente enunciado en las grupos y foros de ingeniería para salvaguardas la anonimidad de los participantes, haciendo un aviso de confidencialidad de los datos, no se hará uso de información personal y que la encuesta es voluntaria y solo es hecha para fines académicos, esto se hace para que los participantes respondan de manera abierta y sincera. En la figura 4 Se muestra el consentimiento informado que se les presento a los encuestados.

Figura 4.

Consentimiento informado

Preguntas Respuestas **21** Configuración

Encuesta sobre la Viabilidad del Uso de Fibra de Carbono en Comparación con Otras Técnicas de Reforzamiento Estructural

B *I* U ↻ ✕

"Buenas (días, tardes o noches dependiendo), colegas ingenieros, residentes, estructuristas y constructores comparto la siguiente encuesta es de carácter académico y tiene como objetivo recolectar información para un estudio sobre la percepción del uso de tecnologías innovadoras en el reforzamiento estructural de edificaciones vulnerables. La participación es totalmente voluntaria y anónima. No se recolectarán datos personales sensibles, y las respuestas serán tratadas de manera confidencial, utilizándose únicamente con fines de análisis académico. Al continuar, usted acepta participar de manera libre e informada, agradezco su colaboración "

4.5.2 Instrumentos de aceptación y autorización

El instrumento no está verificado ni validado por algún profesional, debido a la imposibilidad de conocer expertos en el área sobre este producto novedoso. Solo se puede controlar que los encuestados sean profesionales en el área.

5 HIPÓTESIS

5.1 Las variables

5.1.1 Variable(s) independiente(s)

Como variables independientes que son el motivo o causa que afectan a este fenómeno de la deficiencia estructural principalmente esta la “Fibra de carbono”, métodos de refuerzo estructural, calidad de materiales y tipo de edificación.

5.1.2 Variable(s) dependiente(s)

Como variables dependientes para esta investigación se tiene la siguiente lista que se trataran en las encuestas: principalmente esta “el impacto en el inmueble”, costo de la inversión, tiempo de ejecución, viabilidad del método aplicado para reforzamiento y relación costo beneficio.

5.2 Planteamiento de hipótesis

El uso de fibra de carbono como reforzamiento estructural solo podrá ser usado cuando las fisuras de los elementos estructurales como vigas, columnas o losas y solo se deberá usar

cuando no existe demasiado deterioro y se le exija una carga de servicio mayor, y en donde no se puede aumentar tamaño y carga de peso a la estructura.

6 RESULTADOS

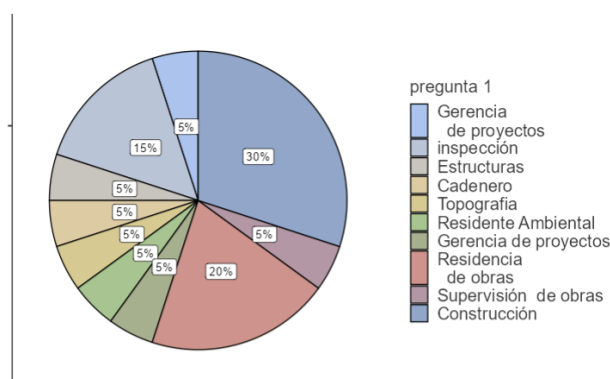
6.1 Análisis de información

Se presenta el grafico de cada una de las preguntas realizadas en la encuesta junto con su respectiva pregunta

Pregunta número 1. ¿Cuál es su especialidad dentro de la ingeniería civil? En el gráfico de la figura 5 podemos definir las características de nuestra muestra de la población, en cuanto a perfil profesional. Se observa que los datos que se repiten con mayor frecuencia son los profesionales en gerencia de proyectos y los residentes de obra que representan el 50%, seguidos de una gran variedad de profesiones como lo son topógrafos, cadeneros, residentes ambientales, inspectores, supervisores de obra, constructores y estructuristas que representan el otro 50% de la muestra.

Figura 5.

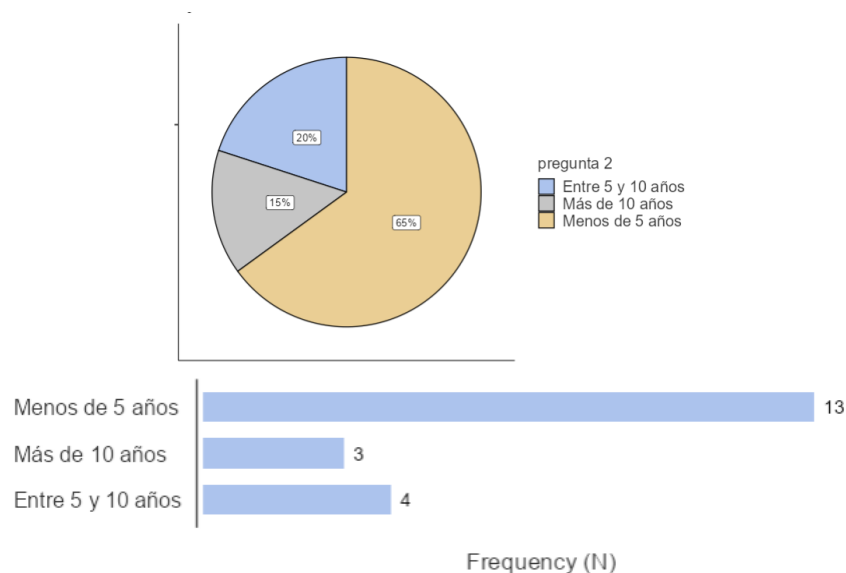
Resultados pregunta 1



Pregunta número 2. ¿Cuántos años de experiencia tiene en proyectos de reforzamiento estructural? En este punto en específico se pregunta a los participantes directamente sobre su participación en actividades de refuerzo estructural a la cual se busca evaluar el nivel de experiencia, entre los participantes hay una empresa dedicada a la instalación y diseño de reforzamiento estructural con fibra de carbono que participo en esta encuesta, la cual lleva más de 20 años en el sector de la construcción haciendo esta actividad de reforzamiento de puentes vehiculares, peatonales y edificaciones en general tiene por razón social “SPI S.A. de C.V” de México. En la figura 6 aunque en gran porcentaje la mayoría de encuestados (65%) tienen menos de 5 años de experiencia o ninguna experiencia, el 15% tienen más de 10 años de experiencia y 20% tiene entre 5 y 10 años, aunque esta respuesta, no nos indica si el 100% encuestados han trabajado en reforzamiento estructural, pero acá ya podemos ir clasificando su experiencia.

Figura 6.

Resultados pregunta 2

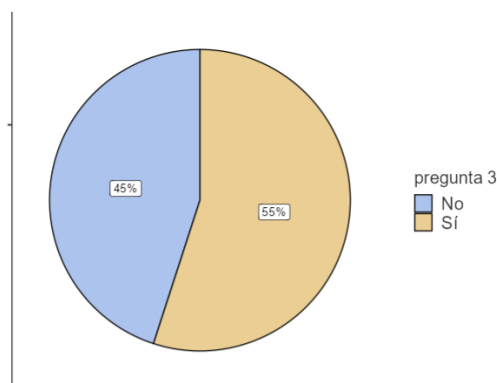


Nota: falta la opción de si no tiene experiencia, pero esta incógnita se responde más adelante en la pregunta 6. (ver página 42)

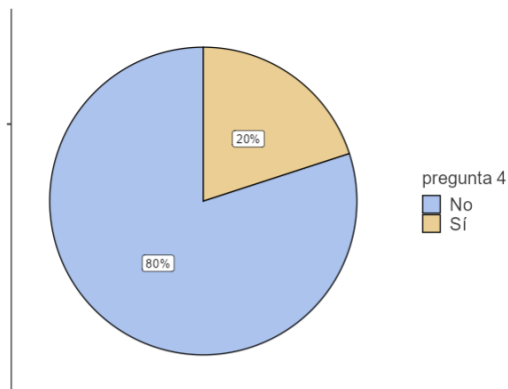
Pregunta número 3. ¿Ha trabajado en proyectos de reforzamiento de edificaciones con deficiencias constructivas o envejecimiento estructural? Este apartado es parecido al anterior en donde se pregunta la experiencia del individuo, y todos no han trabajado en edificaciones ya que mirando los resultados individuales un participante ha realizado rehabilitación de vías, las cuales no tienen que ver con edificaciones que es el tema de esta investigación, se especula que el 55% si ha trabajado en edificaciones que fueron construidas informalmente y fueron reconstruidas para que cumplieran con la normatividad vigente, mientras que el otro 45% no ha trabajado en este tipo de obras.

Figura 7.

Resultados pregunta 3



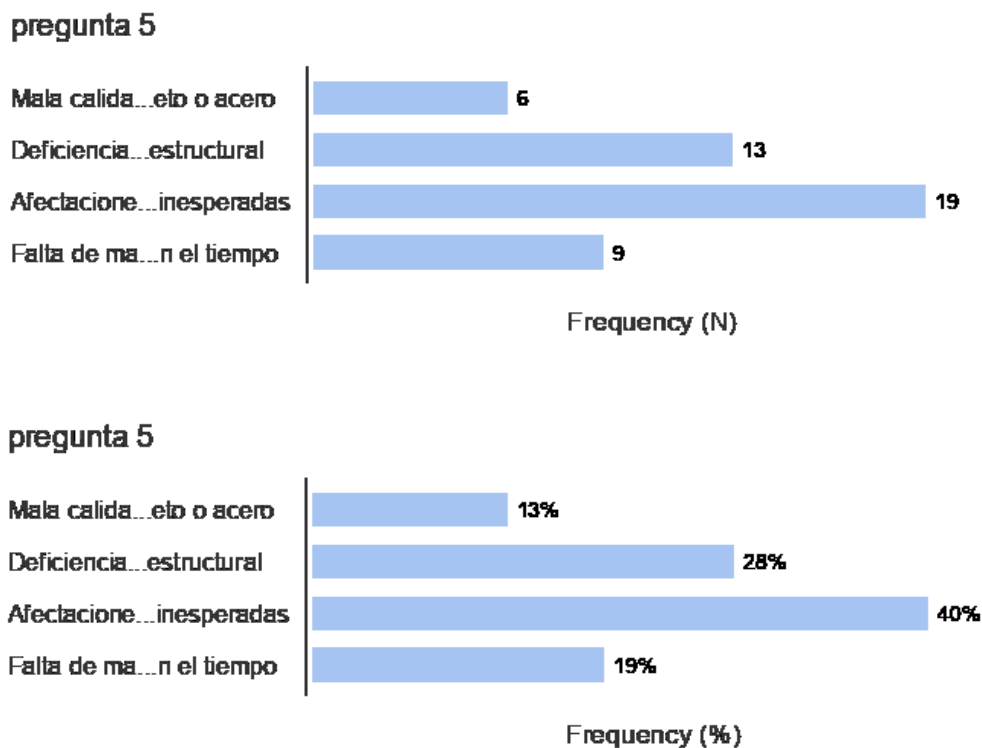
Pregunta número 4. ¿Ha trabajado en proyectos donde se utilizó fibra de carbono como método de reforzamiento estructural? Acá abordamos más específicamente el proyecto de investigación preguntando directamente si los participantes han trabajado con fibra de carbono en sus proyectos y como vemos en la figura 8 solo el 20% de los encuestados que han trabajado en refuerzo estructural han trabajado con CFRP en sus obras. Por lo que es fácil tener un sesgo en las siguientes respuestas, debido a que solo el 20% tiene conocimiento empírico y técnico, mientras que el otro 80% no ha utilizado el CFRP en el reforzamiento en sus proyectos.

Figura 8.*Resultados pregunta 4*

Pregunta número 5. ¿Cuáles considera que son las principales causas de vulnerabilidad estructural en edificaciones con baja eficiencia constructiva? (Seleccione hasta 3 opciones). En esta pregunta que tiene opción múltiple de respuesta es interesante mirar la frecuencia en cantidad y en porcentaje se nos indica que lo que más puede causar la vulnerabilidad de las estructuras con un 40% de aceptación es la afectaciones por eventos sísmicos (se deben tener en cuenta en sus diseños como protección pasivas), cargas no contempladas porque debemos recordar que muchas veces las viviendas cambian su tipo de uso de residencial a comercial sin tener en cuenta el uso de suelo o cambio en el comportamiento de cargas, es la deficiencia del diseño estructural con un 28% con secciones de viga y columnas pequeñas que son muy comunes en la autoconstrucción, otra opción con el 19% de votos es la mala calidad del concreto también es un factor fundamental y más si no se hace uso de acelerantes o un correcto curado de 28 días, siendo estas respuestas muy ciertas ya que en la autoconstrucción los constructores no tienen nada de esto en cuenta. Ya lo demás son factores externos como el deterioro por el intemperismo y/o falta de mantenimiento, deterioro por el ambiente y envejecimiento.

Figura 9 (a) y 9 (b).

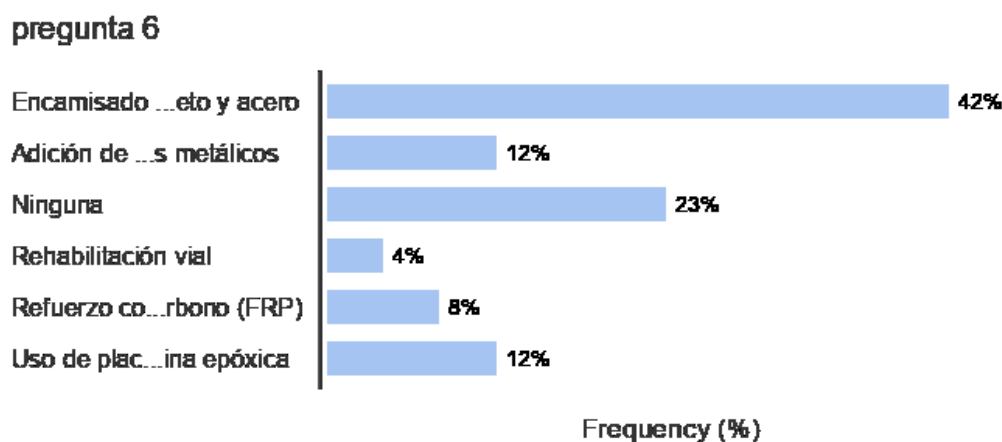
Resultados pregunta 5.



Pregunta número 6. ¿Cuáles de las siguientes técnicas de reforzamiento ha aplicado en sus proyectos? (Seleccione todas las opciones que correspondan). Aquí como se menciona anteriormente podría haber un sesgo en la investigación y nuevamente se habla de la experiencia ya que como se observa en la figura 10 solo dos personas es decir solo el 8% han trabajado con CFRP que es el enfoque de esta investigación, ya que lo que más se usó para reforzamiento estructural son los métodos convencionales como encamisado de concreto que es el 42% de los encuestados con un total de 11 personas, el 12% han trabajado con adición de perfiles metálicos, una persona ha trabajado en rehabilitación de vías o el 20% es decir 6 personas nunca ha trabajado este tipo de proyectos de reforzamiento estructural. **Nota:** *Existe un sesgo en las respuestas debido que en la pregunta 4, el 20% dice que si ha trabajado con CFRP.*

Figura 10.

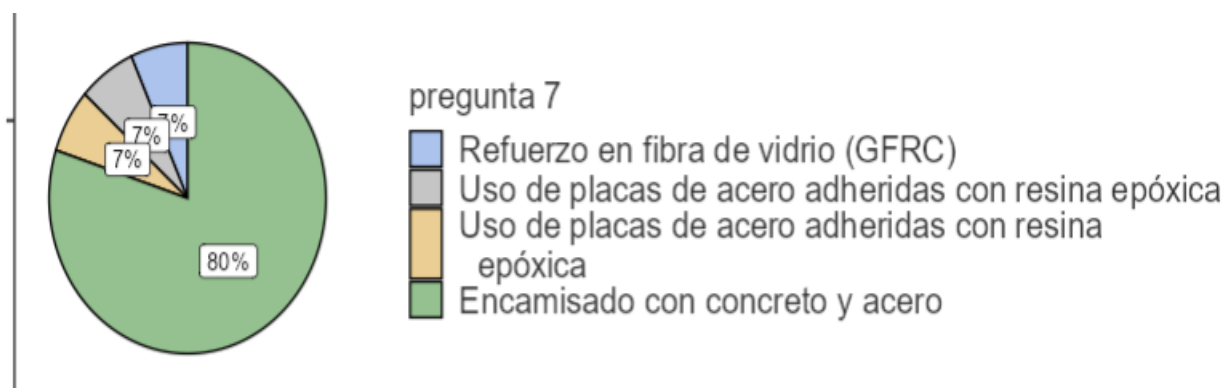
Resultados pregunta 6.



Pregunta número 7. En su experiencia y/o conocimiento, ¿Que métodos de reforzamiento considera más viables para viviendas autoconstruidas (construcción realizada por el mismo propietario o comunidad)? En la figura 11 el 80% de los participantes aconsejan que es mejor para las casas que fueron autoconstruidas, hacer uso de encamisado de concreto ya que es más viable si se tiene errores constructivos que atentan las normativas y la integridad de las personas, la desventaja de este método es que su aplicación aumentara el peso de la vivienda y de la cimentación, por eso es mejor optar por otras opciones antes de evaluar la demolición del predio, el refuerzo a través de fibra de carbono o fibra de vidrio o uso de placas de acero adheridas con resinas para evitar cargar mucho peso a la estructura, aunque todo esto se debe evaluar con un ingeniero estructurista.

Figura 11.

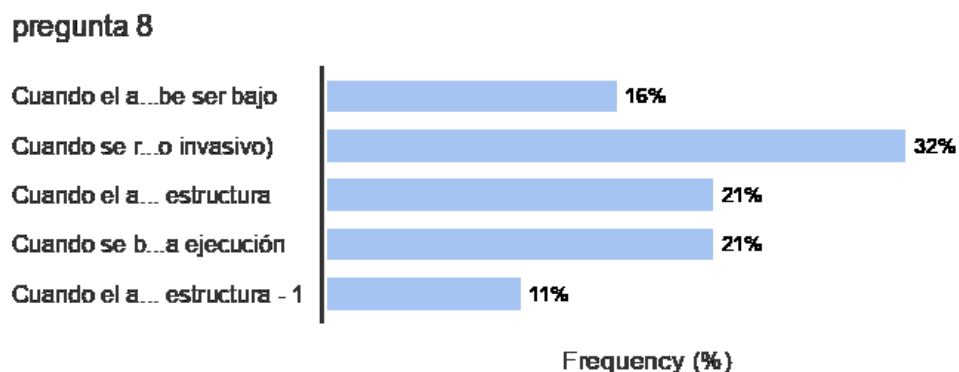
Resultados pregunta 7.



Pregunta número 8. ¿En qué casos considera que el reforzamiento con fibra de carbono es más adecuado que otras técnicas? (seleccione varias opciones). Esta pregunta nos indica sobre cuando debemos hacer uso correcto de las láminas de CFRP y con un 32% de las respuestas es cuando la estructura requiere mínima afectación de la estructura existente (no invasivo), es decir que esta no se requiera de tocar mucho y cuando su carga de servicio aumente y en segundo lugar con un empate del 21% y de igual importancia, es cuando se busca agilidad en la ejecución y cuando se requiere un aumento en la carga del diseño original.

Figura 12.

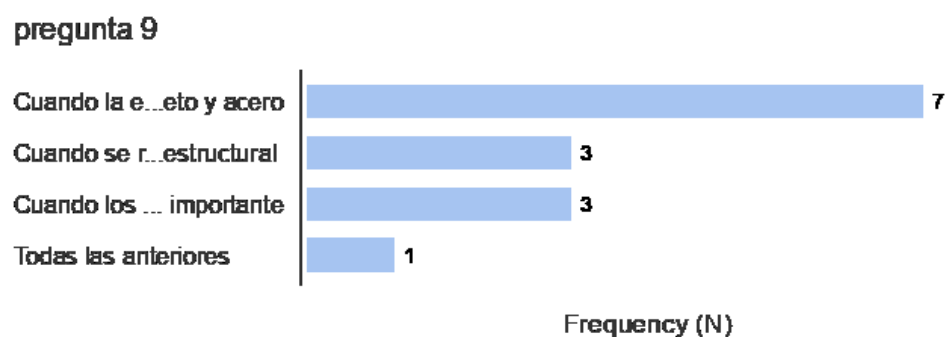
Resultados pregunta 8.



Pregunta número 9. *¿En qué casos considera que la fibra de carbono NO es la mejor opción de reforzamiento?* Contrario a la anterior pregunta, en la figura 13 se no dice cuando no debemos hacer uso de la fibra de carbono y es en los casos en los cuales la estructura tiene daños severos en el concreto y acero, el otro caso más destacado es cuando se requiere un aumento significativo de la capacidad del servicio estructural, en estos casos es importante hacer uso de reforzamientos estructurales convencionales en donde se interviene directamente la estructura por lo general aumentado las secciones de vigas y columnas con concreto y barras de acero.

Figura 13.

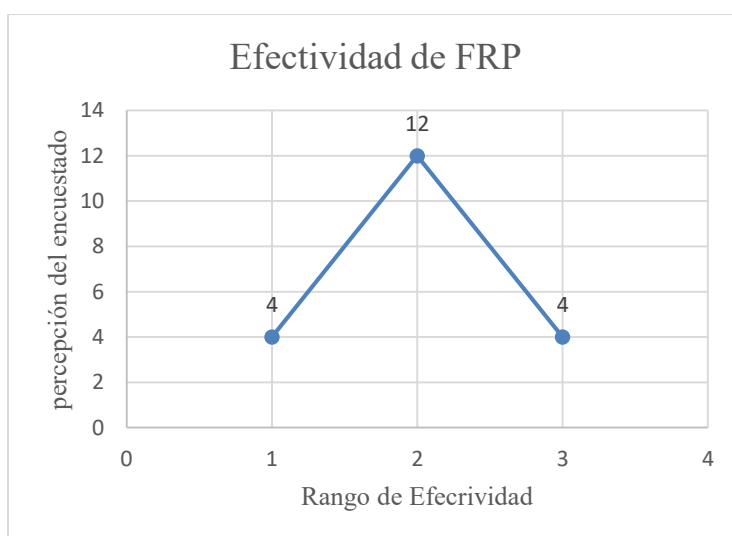
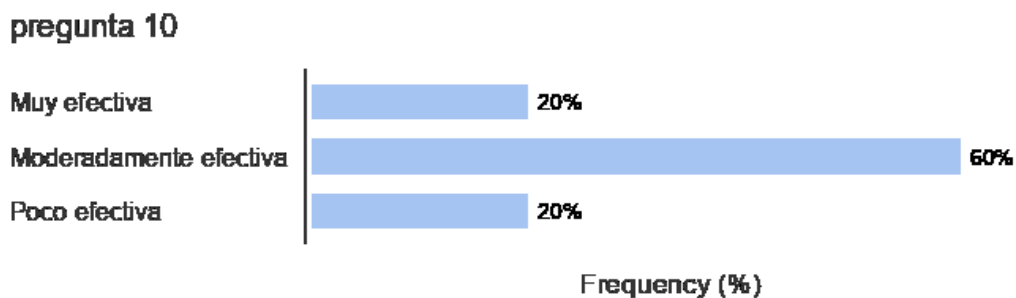
Resultados pregunta 9.



Pregunta número 10. *¿Qué tan efectiva considera la fibra de carbono en la mejora de la capacidad estructural de edificaciones con deficiencias constructivas o envejecimiento?* Acá tenemos la percepción subjetiva de los encuestados sobre el uso de CFRP, con el nivel de percepción que estos tienen sobre esta técnica que lleva algunos años en el mercado, en la figura 14(b) se observa que la variable es ordinal y que 1 significa poco efectivo y 3 es muy efectivo, por lo tanto podemos deducir que la media es que es una alternativa moderadamente efectiva debido a los factores anteriormente mencionados y existe mucho escepticismo sobre si este método realmente puede ser una solución efectiva, ya que está en un término intermedio.

Figura 14 (a) y (b).

Resultados pregunta 10.

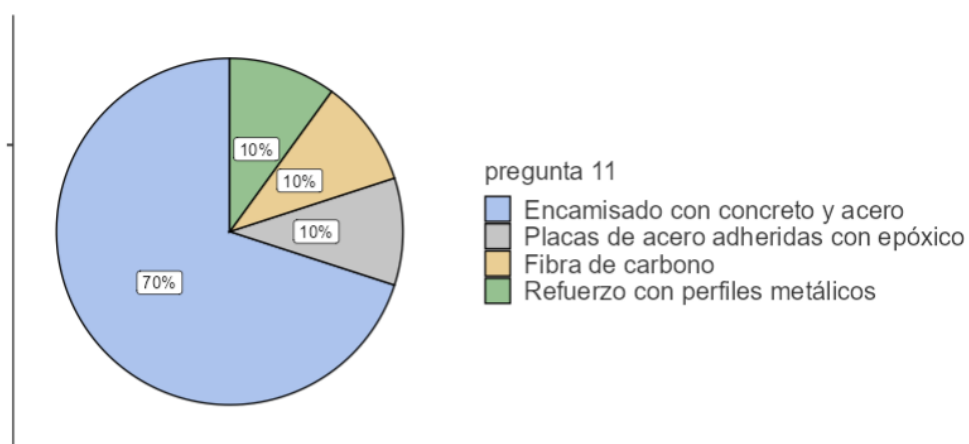


Pregunta número 11. ¿Cuál considera que es la opción de reforzamiento más viable en términos de costo-beneficio? En la figura 15 el 70% de los encuestados responde que es mejor usar métodos convencionales como encamisado de concreto y solo el 10% recomienda el uso de fibra de carbono, esto también nos confirma lo que se menciona anteriormente en la literatura de antecedentes la fibra de carbono es un material que es costo-beneficio flaquea a la hora de poder escoger un método constructivo para reparación de infraestructura vertical, debido a su alto costo

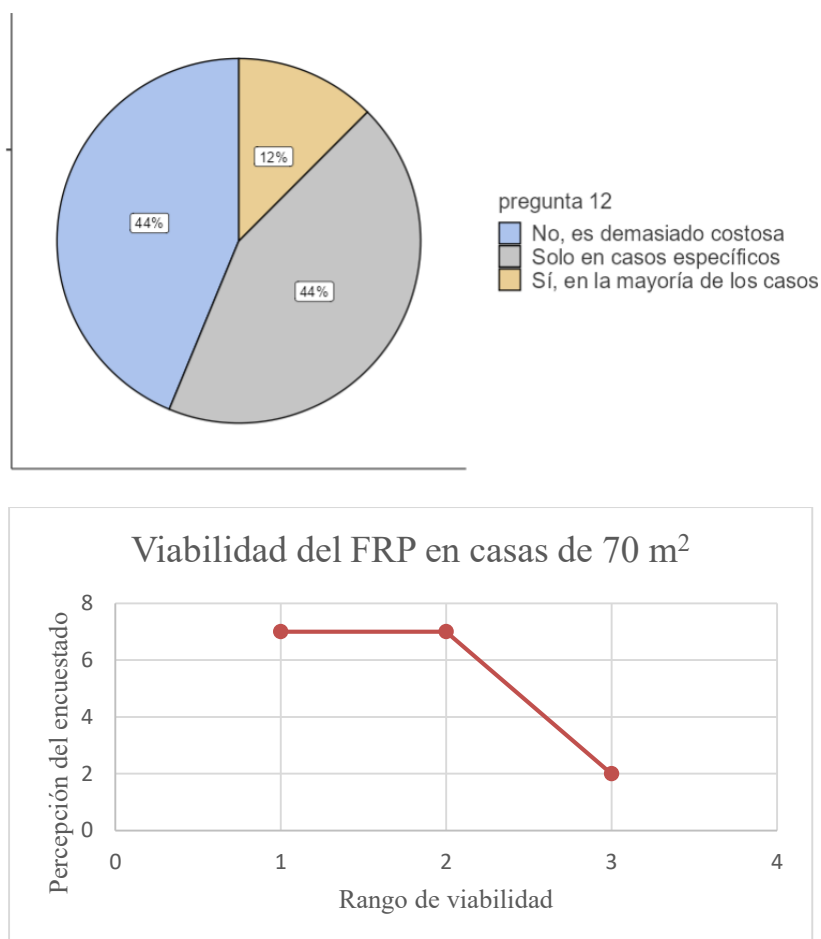
por metro lineal, pero se deben revisar costos en la parte de que se necesita menor mano de obra (deben contar con capacitación) y se debe evaluar los tiempos de ejecución ya que se reduce en un gran número de días las intervenciones.

Figura 15.

Resultados pregunta 11.



Pregunta número 12. En proyectos de reforzamiento de viviendas pequeñas ($\approx 6 \times 12$ m), hechas por autoconstrucción, ¿cree que la fibra de carbono es una solución económicamente viable? Observamos que en esta pregunta se evalúa nuevamente la percepción subjetiva de los encuestados sobre el uso de CFRP en viviendas de aproximadamente 70 m^2 , de acuerdo con el nivel de percepción como se indica en la figura 12(b) que la variable es ordinal donde 1 corresponde a No es viable debido al costo que tiene su implementación, 2 significa que solo debe utilizarse en casos específicos y 3 corresponde a que si se puede hacer uso de CFRP en la mayoría de las viviendas pequeñas, pero se presentan las problemáticas discutidas en la pregunta anterior.

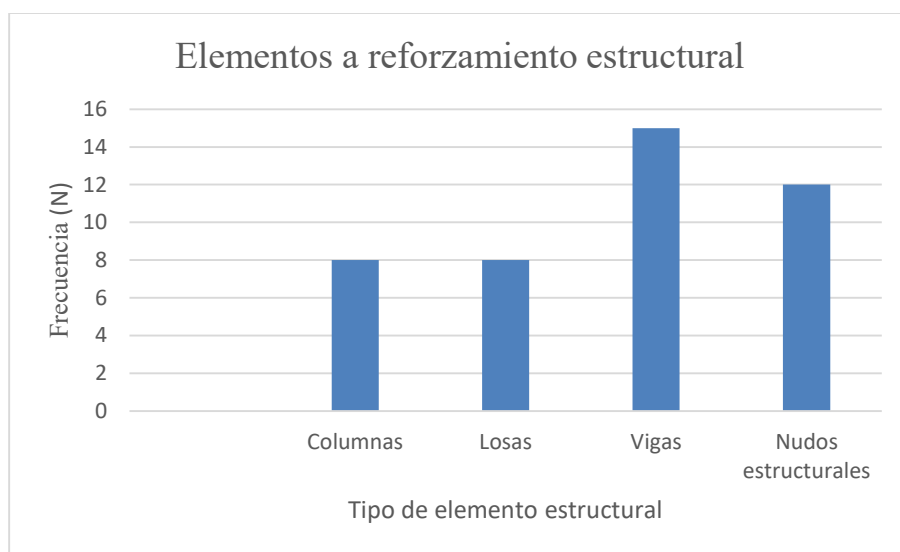
Figura 16.*Resultados pregunta 12.*

Pregunta número 13. *¿En qué elementos estructurales cree usted que se debería usar la fibra de carbono? (Puede seleccionar varias opciones)*, en la figura 17 los profesionales encuestados muestran que opinan que el CFRP sirve para casi todos los elementos estructurales, en vigas nudos estructurales ya que este material trabaja a tracción en columnas existe un debate ya que si se encamisán las columnas puede existir una falla frágil (es decir que estas estallan y no muestran fisuras antes de la falla, lo que no da reacción de evacuar a las personas), para columnas se puede usar encamisado en CFRP siempre y cuando se diseñe con valores de factores

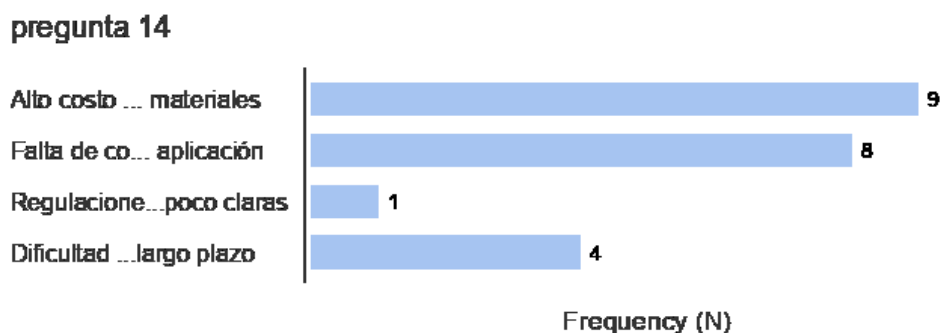
de seguridad o resistencia ultima por debajo de la carga real que tiene la estructura antes de llegar a fallar y en losas es un material muy efectivo debido a que se utiliza desde hace un tiempo para reforzamiento de puentes vehiculares.

Figura 17.

Resultados pregunta 13.

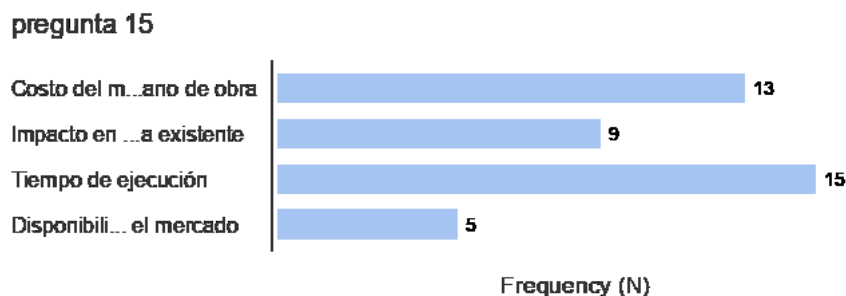


Pregunta número 14. Desde la gerencia de proyectos, ¿cuáles considera que son las principales barreras para la implementación de fibra de carbono en el reforzamiento estructural? (Seleccione varias opciones). Como se ve en la figura 18 y como se mencionó en la pregunta numero 11 el costo del material flaquea frente a la implementación de CFRP por tanto debe ser evaluado este punto con respecto a los tiempos de entregado de la obra, otro factor para la implementación para su uso es falta de conocimiento sobre el tema, ya que existen muchos métodos y los diseñadores están más seguros diseñando con metodologías convencionales y no se arriesgan a diseñar con otros tipos de metodologías, y por ultimo tenemos una dificultad para saber cómo se comporta el material en el tiempo (después de 50 años), y por último saber con certeza su resistencia a la humedad y el calor.

Figura 18.*Resultados pregunta 14.*

Pregunta número 15. *Desde la perspectiva de gestión de proyectos, ¿qué factores considera más importantes al elegir una técnica de reforzamiento estructural? (Seleccione hasta 3 opciones).* El gerente de proyectos siempre debe velar que los tiempos de entrega se cumplan y velar financieramente por los rendimientos del capital de los accionistas y de todos los *Stakeholders*, este es el punto más importante de la pregunta número 15 como se observa en la figura 19. El gerente de proyectos debe encontrar un punto de equilibrio entre costo y tiempo por lo que debe analizar sus gráficos de Gantt, las proyecciones realizadas y en caso de que los tiempos de entrega sean un factor importante o que exista algún cambio a lo ya ejecutado, se recomienda mirar la opción de usar el FPR consultando con la junta del proyecto, que son los que dan el último veredicto en este tipo de caso.

Figura 19.*Resultados pregunta 15*



Pregunta número 16. ¿Considera que en el futuro el uso de fibra de carbono aumentará en proyectos de reforzamiento estructural? Como se observa en la figura 20, existe una divergencia de opiniones por lo que se deben mejorar todos los factores formulados en esta pregunta, las barreras siguen siendo las mismas mencionadas anteriormente, por lo tanto es imprescindible seguir en investigación para ver si se logra obtener este material con las mismas resistencias mecánicas a menor costo y se debe pensar en las falencias anteriormente mencionadas para que en un futuro todos los propietarios de viviendas que tengan deficiencias constructivas no piensen en la demolición o intervenciones de arduo trabajo, si no que de esta manera se puedan reparar sus viviendas más rápidamente y alargar unos años más su periodo de vida.

Figura 20.

Resultados pregunta 16.

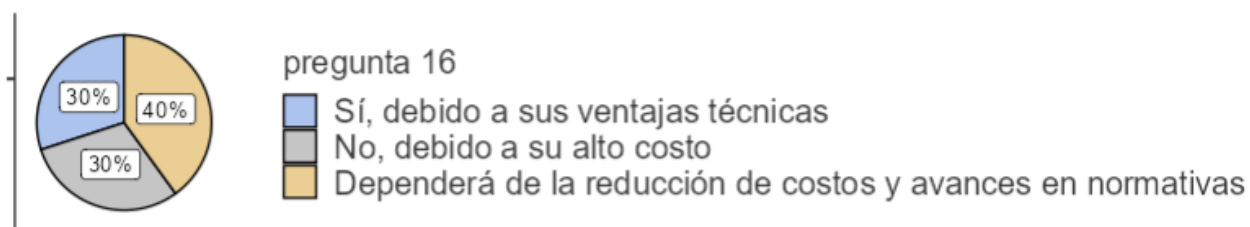


Tabla 3.

Preguntas abiertas de la pregunta 17.

Opinión del encuestado	17. ¿Qué piensa sobre el uso de fibra de carbono como reforzamiento estructural, para combatir la vulnerabilidad estructural especialmente en la autoconstrucción que es una realidad en la clandestinidad de la construcción colombiana?
1	Es necesario
2	No creo que prospere, por su alto costo no es costeable
3	El uso de fibra de carbono será viable siempre y cuando el costo baje, dado que, para vivienda de 1 piso, auto construida tendrá un alto costo, esta técnica está dirigida y aplicado a viviendas industriales por su resistencia estructural y la duración.
4	El uso de fibra de carbono puede ser un problema si la vivienda tiene errores de construcción, puede ser una solución efectiva pero debido a que el material no es muy dúctil y tiene falla frágil no lo recomiendo para columnas, en cambio si para refuerzo necesita para refuerzo de losas y vigas que son las bondades mecánicas de este material es el de trabajo a flexión
5	La fibra de carbón debe utilizarse en casos específicos con pequeñas fisuras con una buena instalación, lo más recomendado es encamisado en las columnas o instalación de platinas de acero
6	Estoy en México, no te puedo responder
7	Si
8	Es un método muy efectivo debido a que es muy ligero y el agua no afecta este tipo de material, en cuanto a costos, el costo del material se podría equilibrar con el tiempo y la mano de obra que se ahorraría al momento de su instalación.
9	Qué aumente la fibra de carbono
10	Es una solución de reforzamiento adecuada desde el punto de vista técnico.

11

1. Alta resistencia a tracción: La fibra de carbono tiene una relación resistencia-peso altísima, mucho mayor que el acero.
 2. Peso liviano: No añade cargas significativas a la estructura existente.
 3. Fácil aplicación: Puede aplicarse externamente (envoltura de columnas, refuerzo de vigas, confinamiento de muros) sin demoler.
 4. Durabilidad: Alta resistencia a la corrosión, ideal en climas húmedos o agresivos.
 5. Versatilidad: Se adapta a múltiples elementos y formas estructurales.
-

6.1.1 Respuestas obtenidas a través de foros.

Opiniones relevantes de colegas de la ingeniería civil, por pregunta que se formuló en foro para esta investigación. “¿Qué opinas sobre el uso de fibra de carbono como alternativa de refuerzo estructural en términos de mecánica y costos?”

Tabla 4.

Opiniones de los usuarios a de los foros en Reddit

<ul style="list-style-type: none"> • “La fibra de carbono tiene baja ductilidad, así que no creo que sustituya a las varillas de acero en un futuro próximo. Creo que tendrá usos especiales donde destacará, como las varillas de acero inoxidable. Si por "refuerzo" te refieres al refuerzo de estructuras existentes, entonces ya se utiliza mucho para reforzar estructuras de hormigón y parece ser un método muy eficaz. De hecho, casi todos los proyectos en los que he trabajado que involucran puentes existentes llevan algún tipo de revestimiento de fibra de carbono”.
<ul style="list-style-type: none"> • “Solo lo especifico para trabajos de modernización. No hay mucha información sobre si durará más de 50 años”.
<ul style="list-style-type: none"> • “Es más un complemento para fortalecer que un reemplazo completo del refuerzo
<ul style="list-style-type: none"> • “Es muy bueno pero carísimo, pero hay que estudiar factores de rentabilidad, lo veo como última opción, pero apuesto que el sistema debe funcionar muy bien”
<ul style="list-style-type: none"> • “Es algo caro pero este sistema podría lograr columnas más finas con refuerzo que aguanten las mismas cargas que se le imponen como si fuera una columna más gruesa”.

A continuación, para la pregunta número 17 se tendrá en cuenta las respuestas abiertas por parte de los encuestados y las opiniones de los usuarios de los foros en Reddit para eso se utilizará las inteligencias artificiales de Open IA (ChatGPT) y la inteligencia artificial de Gemini y se recopilarán las respuestas en la tabla 4, se les dará el siguiente “Prompt” a las dos inteligencias artificiales.

PROMT: Por favor realiza un análisis del documento anexo estas son respuestas abiertas que dieron los usuarios sobre el uso de fibra de carbono como método estructural, identifica el tema más recurrente en las opiniones de los usuarios. clasifica las respuestas positivas y negativas por último extrae cuales son las barreras que identificas.

Tabla 5.

Comparativa entre las dos IA

	● Ideas positivas:	● Ideas negativas:	⚠ Barreras identificadas:
ChatGPT	<ul style="list-style-type: none"> * Se usa exitosamente en refuerzos de estructuras existentes (especialmente en puentes). * Es eficaz en trabajos de modernización y refuerzos localizados. * Tiene buen comportamiento a flexión (ideal para losas y vigas). * Es un complemento útil al acero, no un reemplazo total. * Puede ser viable con buena instalación y condiciones adecuadas. 	<ul style="list-style-type: none"> * No reemplazará al acero debido a su baja ductilidad. * Tiene alto costo, no accesible para vivienda de bajo presupuesto. * Poca información sobre su durabilidad a largo plazo (>50 años). * Puede ser inseguro si hay errores constructivos. No recomendable para columnas por su tipo de falla frágil. 	<ul style="list-style-type: none"> * Costo elevado * Falla frágil / baja ductilidad * Instalación especializada necesaria * Falta de estudios a largo plazo * Uso restringido a ciertos contextos
Gemini	<ul style="list-style-type: none"> • Eficaz para el refuerzo de estructuras existentes: Demuestra buenos resultados en proyectos de modernización y rehabilitación, especialmente en puentes. • Beneficioso para el refuerzo a flexión: Útil en losas y vigas donde sus propiedades mecánicas son ventajosas. • Potencial en construcciones industriales: Su resistencia y durabilidad pueden ser valiosas en este sector. 	<ul style="list-style-type: none"> • No es un reemplazo directo del acero: Su baja ductilidad limita su aplicación en todos los casos. • Durabilidad a largo plazo no comprobada: Existe escepticismo sobre su desempeño a largo plazo. • Costo actual no es costeable: El precio elevado dificulta su adopción generalizada. • Aplicabilidad limitada a ciertos tipos de construcción: Se ve más adecuado para proyectos industriales o refuerzos específicos. • Potencial problema en estructuras con errores: No se considera una solución para fallas constructivas preexistentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto Costo: Considerado prohibitivo para vivienda de bajo costo y autoconstrucción. Se requiere una reducción significativa para una mayor viabilidad. • Baja Ductilidad y Falla Frágil: Limita su uso en elementos estructurales como columnas, donde se prefiere un comportamiento más dúctil. • Incertidumbre sobre la Durabilidad a Largo Plazo: Falta de datos y experiencia sobre su desempeño en horizontes de tiempo extensos (más de 50 años). • Alcance Limitado como Reemplazo Total: Se percibe más como un complemento o solución para usos específicos en lugar de un sustituto universal del acero. • Sensibilidad a Errores de Construcción: Su efectividad puede verse comprometida si la estructura base tiene defectos. • Necesidad de Instalación Especializada: Requiere mano de obra calificada y control de calidad para asegurar su correcto funcionamiento.

6.2 Análisis de los resultados

En cuanto a los resultados que convergen en las dos IA tanto ChatGPT como Gemini podemos usar estas dos herramientas para complementar el lenguaje de la una con la otra y viceversa, obteniendo un análisis mucho más sólido.

En las ideas positivas que convergen las dos IA es que el uso de la fibra de carbono es ideal para el reforzamiento en vigas, losas, especialmente en puentes y también converge en que su uso es eficaz en trabajos puntales y en modernización de estructuras, pero ChatGPT toma otros puntos que no aportan mucho al análisis.

En cuanto a la recopilación de ideas negativas sobre por qué no es tan recomendable el uso de CFRP las dos IA convergen en muchos aspectos como la poca información sobre la durabilidad a largo plazo quiere decir un tiempo mayor de 50 años, tiene un coste elevado su implementación y no accesible para las viviendas de bajo presupuestos, no recomendable para las estructuras las cuales tengan errores constructivos generalmente por falta de diseño en las cuantías y las secciones de las estructuras y no logra ser un reemplazo del acero debido a su baja ductilidad, aunque cabe recordar las estructuras estas diseñadas para fallar primero el concreto por su propiedades de falla frágil, así que se debe evaluar mejor este punto en investigaciones previas para determinar si es cierto, pero no se ve tan viable su uso en edificaciones pequeñas si no en proyectos industriales de gran escala.

Por último, en las barreras identificadas están nuevamente el costo elevado, lo que lo hace inviable para viviendas de estratos bajos, la baja ductilidad debido a su alta rigidez, la necesidad de personal capacitado por lo que el propietario también deberá costear estos gastos y

se percibe como una solución para casos específicos, pero posiblemente no reemplazará el acero y los métodos de rehabilitación de viviendas convencionales.

Para analizar los objetivos planteados en esta investigación se cita a Polo y Ulloque (2013) Anexo a sus ensayos de laboratorio realizan la comparación de costos en sus análisis, concluyendo que existe un aumento significativo del 8.9% con el CFRP, siendo un elemento competitivo gracias a su versatilidad en geometría, su fácil manipulación, trasiego y transporte, el material como bondades adicionales está el toque estético y alta resistencia a la corrosión, esto quiere decir que es durable en el tiempo y no se oxida o corroe como el acero interno de los elementos estructurales, en el tiempo de ejecución se tuvieron unos tiempos de 13 horas con CFRP comparado con el revestimiento en concreto de 59 horas y en contraste con lo que se ha especulado en los foros y las preguntas abiertas del cuestionario, la fibra de carbono es una excelente opción para reforzar casas con errores constructivos, Pero inicialmente como en todo inicio del ciclo de vida de un proyecto se debe hacer un presupuesto inicial y hacer una evaluación financiera y debe ser instalado por mano de obra calificada para que sea efectiva la reparación de la estructura.

7 CONCLUSIONES

Las siguientes conclusiones parten de los objetivos generales y el análisis de los resultados, este ejercicio ayuda a sintetizar dichos resultados.

En línea con el objetivo general que busca la percepción de los profesionales en el área de construcción. No se puede dar una respuesta concisa sobre si el uso de la fibra de carbono es una opción viable, ya que solo el 8% de los encuestados ha trabajado con CFRP. Muchos de los análisis interpretados se basan en la percepción del autor, a partir de las opiniones abiertas en los foros, la percepción de los encuestados sobre lo que han escuchado acerca de las láminas de fibra de carbono y los resultados obtenidos por otros investigadores en los antecedentes.

En primer lugar de acuerdo con los objetivos específicos, se concluye que la percepción de los encuestados sobre el uso CFRP es que lo perciben como una alternativa innovadora y sostenible para el reforzamiento de estructuras existentes debido a sus propiedades mecánicas en términos de resistencia, geometría, durabilidad mayor a 50 años, ligereza y fácil instalación, pero con algunas limitantes para su implementación las cuales concuerdan con la hipótesis planteada en este documento, que habla sobre temas de demasiado deterioro por fisuras y se le quiera imponer una carga demasiado elevada a los elementos estructurales, aunque todo esto debe ser evaluado por un profesional especializado en estructuras. A colación se trae que a pesar de que se reconoce los beneficios sostenibles el 80% de los encuestados se sienten mucho más seguros usando métodos de rehabilitación de estructuras convencionales.

Como se ha evidenciado las barreras principales en esta investigación para el implemento de la aplicación de esta novedosa solución en estructuras de alta y mediana vulnerabilidad es que si no hay un diagnóstico de la estructura por parte de un profesional no se debería hacer ya que más

allá de un diagnóstico o inspección visual, por lo general es necesario hacer otros ensayos no destructivos para saber cómo esta internamente la estructura y saber su estado de salud, otra barrera es la falta de conocimiento ya que estos temas de innovación solo se escuchan en los simposios o congresos como nuevas patentes pero no como tal en los centros de formación, además de que en Colombia no existe una adaptación normativa o NTC que hable sobre el uso de este material, solo existen normas internacionales como el ACI 440.2R que es la más conocida.

Este material no según las percepciones de profesionales se debe usar para recuperar la estructura original y no debe ser usado cuando se realice un trabajo en donde su busque un aumento excesivo de las cargas de servicio de la edificación, aunque se debe hacer una evaluación tanto técnico como económica en caso de ser usado para tal fin. Por último, la barrera más importante (obtuvo 45% de entre todas las opciones) que impide el uso masivo de este material es el factor económico como factor limitante a pesar de los beneficios reconocidos, el costo inicial es elevado comparado con otras metodologías lo que impide su adopción en proyectos de pequeña y mediana escala.

En síntesis, en esta investigación converge con los resultados obtenidos de los antecedentes presentados en este documento, se demuestra que no existe un interés sobre el uso de la fibra de carbono para su uso como refuerzo estructural por sus propiedades mecánicas, mucho más resistente que el acero y su capacidad de hacer más rígida la estructura sin agrandar su peso con metodologías de refuerzo convencionales, su reducción en el tiempo de ejecución, las limitaciones no son técnicas ya que hay mucha investigación al respecto reportando sus ventajas, las limitaciones económicas, formativas y normativas. La inclusión de todos estos aspectos

resulta fundamental para la toma de decisiones desde la parte gerencial para una construcción más sostenible e innovadora.

8 RECOMENDACIONES

Para los futuros investigadores, se recomienda hacer encuestas más directas que se enfoquen en cómo combatir la vulnerabilidad estructural de manera sostenible, abordando materiales alternativos a los convencionales para evitar pérdidas humanas e indirectamente las de las infraestructuras al momento de presentarse eventos sísmicos. Preguntar directamente si han trabajado en construcciones con errores constructivos o construcciones informales para mejorar su estructura. También se recomienda que, en el futuro de acuerdo con los avances investigativos y avances en las normativas, las universidades o instituciones incorporen cursos para la formación de este tipo de materiales sostenibles con el medio ambiente especialmente en fibra de carbono, para reducir brechas en la información.

Se sugiere a las empresas de inversión privada como constructoras, diseñadores y gerentes de proyectos realizar análisis de costo-beneficio de la implementación de fibra de carbono para el diseño original de algunos de sus elementos estructurales, reduciendo tal vez el volumen y secciones de concreto en elementos tipo viga, se debe hacer primero un estudio costo-beneficio y en caso de hacer uso de la fibra de carbono como refuerzo estructural se aconseja que si las fisuras son por humedad arreglar primero estos problemas de drenaje ya que la fibra de carbono no se considera una membrana impermeabilizante, además se debe hacer consultoría con un ingeniero estructural y por bajo ningún motivo se debe realizar mejoras o construir edificaciones en zonas de alto riesgo o de alta vulnerabilidad para los residentes del lugar.

9 REFERENCIAS

- American Concrete Institute. (2017). *ACI 440.2R-17: Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures*. American Concrete Institute. https://afzir.com/knowledge/wp-content/uploads/2018/03/ACI_440_2R_17_Guide_for_the_Design.pdf
- Baquer Sistach, J., Agüera Martínez, Ó., Calvo Costa, Á., González García, J. P., Herrero Moreno, J. E., Jiménez Salado, B., & Pugibet Martí, J. (2021). *La fibra de carbono en refuerzo de estructuras de hormigón* (2.^a ed.). Institut d'Estudis Estructurals. <https://www.aceweb.cat/es/formacion/jornadas/dijous-a-lace-es/nova-edicio-monografic-la-fibra-de-carboni-en-reforc-destructures-de-formigo/>
- Carama colombiana de la construcción (Camacol) (2022). *Proyección sectorial: PIB edificador 2023*. https://camacol.co/sites/default/files/descargables/Informe%20Econ%C3%B3mico%2015_0.pdf
- Construction UK. (2022). *Is carbon fibre a sustainable material for strengthening buildings and structures?* Fibrwrap. Tomado de <https://www.fibrwrap-ccuk.com/carbon-fibre-strengthening/is-carbon-fibre-a-sustainable-material-for-strengthening-buildings-and-structures/>
- Güenes, J. (2015). *Refuerzo de estructuras con fibra de carbono*. Tomado de Unidad técnica de aparejadores de Huesca, S.L.
- Henao, L., & Sánchez, N. (2023) *Construcción informal en Colombia: causas, características y efectos socioeconómicos; ambientales y jurídicos de una problemática latente*

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/27165/ARTICULO%20FINAL%20APROBADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Huitalla, J. (2023). *Evaluación de las alternativas de reforzamiento estructural con fibras de carbono o encamisado de concreto armado mediante la comparativa resistencia y costo de las columnas del centro comercial A*, en Lima Metropolitana

Mojica, Y., & Rosero, Y. (2021). *Caracterización mecánica de muretes revestidos en mortero aligerados con núcleo de canastilla de cartón* [Trabajo de grado, Universidad de La Salle]. Repositorio Institucional Universidad de La Salle.

https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/961/

Mosquera, J. (2007). Reforzamiento de puentes de concreto con fibras de carbono. Tomado de repositorio UNIANDES

Naciones unidas. (2015)., *Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible*

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>

Olivera, D. (2022). *Uso de fibras de carbono como reforzamiento estructural en vigas de concreto armado*. Tomado de repositorio de universidad continental.

Pimienta Lastra, R. (2000). *Encuestas probabilísticas vs. no probabilísticas. Política y Cultura*, (13), 263-276.

Polo, O. y Ulloque, E. (2013). *Análisis comparativo de comportamiento y costos, en el reforzamiento de vigas sometidas a flexión por medio del uso de encamisado en concreto reforzado y fibras de carbono*, tomado de repositorio Universidad de Cartagena.

Reglamento colombiano sismo resistente, NSR (2010). *Prefacio*.

https://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

Rosero, Y. (2025). “Encuesta sobre la Viabilidad del Uso de Fibra de Carbono en Comparación con Otras Técnicas de Reforzamiento Estructural” (Formulario en línea). Google Forms

<https://forms.gle/1X4xVM1fSCYk7v529>

SPI, S.A. (2024). Reforzamiento estructural con fibra de carbono.

<https://refuerzoestructural.com.mx/>

The Jamovi project. (2024). *jamovi (version 2.6)*. open statistical software for the desktop and

cloud. <https://www.jamovi.org/>