

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**INVESTIGACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS  
REFORZADOS CON FIBRAS DE CARBONO COMO MÉTODO DE  
REFORZAMIENTO**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO  
DE BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**PEDRO ALONSO RUIZ MEDIANERO**

**ASESOR**

**HÉCTOR AUGUSTO GAMARRA UCEDA**

<https://orcid.org/0000-0002-3653-1394>

**Chiclayo, 2020**

# ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>II.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>8</b>
<b>1.</b>	<b>ANTECEDENTES DEL PROBLEMA</b>	<b>8</b>
1.1.	ANTECEDENTE 1:	8
1.2.	ANTECEDENTE 2:	9
1.3.	ANTECEDENTE 3:	10
1.4.	ANTECEDENTE 4:	10
1.5.	ANTECEDENTE 5:	11
1.6.	ANTECEDENTE 6:	11
1.7.	ANTECEDENTE 7:	12
<b>2.</b>	<b>BASES TEÓRICAS</b>	<b>12</b>
2.1.	Vulnerabilidad sísmica	12
2.2.	Peligro sísmico	13
2.3.	Riesgo sísmico	13
2.4.	Medida de los sismos	13
2.5.	Mecanismos de generación de terremotos	15
2.6.	Silencio sísmico	16
2.7.	Zonificación	16
2.8.	Reforzamiento estructural	17
2.9.	Métodos de reforzamiento estructural	17
<b>III.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>20</b>
3.1.	OBJETIVO GENERAL	20
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
<b>IV.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>20</b>
4.1.	TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	20
4.2.	HIPÓTESIS	20
4.3.	VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN	20
4.4.	POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO Y MUESTREO	21
4.5.	MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	21
4.6.	PROCESAMIENTO PARA ANÁLISIS DE DATOS	21
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>22</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>23</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>24</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>25</b>

## **LISTA DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1 Escala de Mercalli Modificada 1956 _____	14
Ilustración 2 Áreas de ruptura de los principales terremotos del siglo XX en una zona del borde oeste de Sudamérica _____	16

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1 Tabla de Resultados _____	22
-----------------------------------	----

## **RESUMEN**

La presente investigación busca conocer las propiedades de los polímeros reforzados con fibras de carbono como método de reforzamiento en las estructuras de concreto armado en base a referencias bibliográficas que estén relacionadas con el tema. La problemática se basa es en el estado en el que se encuentra la estructura debido a los cambios de uso que esta pueda tener, déficit en el proceso constructivo, cambios de la norma de diseño, adición de cargas estimadas a la del diseño estructural, acción de agentes externos, entre otros. Se realizará un análisis de las propiedades de las fibras de carbono y su relación con la respuesta sísmica de la estructura. Posteriormente con fichas de análisis que sirven como procesamiento de datos, se presentarán las conclusiones que están relacionadas al reforzamiento estructural y a la respuesta de la estructura.

**PALABRAS CLAVES:** Reforzamiento estructural, polímeros reforzados con fibras de carbono, estructuras.

**ABSTRACT**

This research seeks to know the properties of polymers reinforced with carbon fibers as a method of reinforcement in reinforced concrete structures based on bibliographic references that are related to the subject. The problem is based on the state in which the structure is due to the changes in use that it may have, deficit in the construction process, changes in the design standard, addition of estimated loads to that of the structural design, action from external agents, among others. An analysis will be made of the properties of carbon fibers and their relationship to the seismic response of the structure. Later, with analysis cards that serve as data processing, the conclusions that are related to the structural reinforcement and the response of the structure will be presented.

**KEYWORDS:** Structural reinforcement, fiber reinforced polymers, structure

## I. INTRODUCCIÓN

La tierra está conformada por placas tectónicas, donde destacan por su dimensión: Pacífico, América, Euroasiática, Australia-India, África y Antártida [1], las cuales están en permanente interacción en sus bordes. Estas interacciones dan lugar a tipos de borde como subducción, divergente, colisión y transformación [1], generando casi la totalidad de los terremotos en el planeta.

El Perú se encuentra ubicado entre dos placas tectónicas: la Sudamericana y la de Nazca. Esta última cuando se introduce por debajo de la Placa Sudamericana genera una zona de subducción, la cual ocasiona grandes terremotos y daños en la costa continental.

Muñoz [1] señala que, en zonas como Perú y Chile al encontrarse en los bordes de subducción, tienden a sufrir terremotos de gran magnitud. Estos se pueden dar en la zona de interplaca como también en la zona de intraplaca (Zona de Wadati-Beniof). Así mismo Sarria [2] afirma que suceden sismos en el límite de la colisión entre placas al deslizarse por debajo de la otra, así como en la zona de Beniof de la placa subducida.

La actividad sísmica en el Perú viene siendo registrada desde el año 1555, la primera actividad sísmica registrada tuvo lugar en Arequipa, para ese entonces se creía que existía movimientos sísmicos solo en esa zona del Perú debido a sus registros (1582, 1600, 1784) [3]. Además de estos, se registran sismos de importante intensidad como el de Piura y Huancabamba (1912), Lima (1940), Cuzco (1950), entre otros [3]. A partir de los años 70 se empieza a generar una cultura en donde se determina a la costa peruana como una zona vulnerable debido a los sismos ocurridos en Chimbote y Callejón de Huaylas (1970) y Lima (1974) [3].

A raíz de esto los sismos han venido dejando graves daños y hasta colapsos sobre las estructuras. Esto se puede dar por un mal diseño estructural, errores en los procesos constructivos, asentamientos diferenciales en la estructura y cambio de normas de diseño sismorresistente. Un ejemplo de este último fue que, a raíz del sismo sucedido en Nazca en el año 1996 el cual fue de magnitud igual a 6.4 Ms [4], trajo como consecuencia la publicación de la norma de diseño

sismorresistente del año 1997. Así mismo sucedió con Arequipa, el 23 de junio del 2001 se registró un terremoto de magnitud igual a 7.9 Ms [5]. Dos años después publican la norma de diseño sismorresistente 2003.

En base a dicha situación problemática, el investigador se plantea ¿Cuáles son las propiedades de los polímeros reforzados con fibras de carbono como método de reforzamiento?

Los polímeros reforzados con fibra de carbono traen grandes ventajas de facilidad al momento de tratarlos en campo, así como aportar en la respuesta sísmicas de la estructura dependiendo de las sollicitaciones sísmicas que esta presente.

Esta investigación pretende aportar conocimientos existentes, para entender y conocer más sobre las propiedades de los polímeros reforzados con fibra de carbono como método de reforzamiento en las estructuras, y así tratar de evitar algún tipo de daño o de colapso de esta, con el fin de velar por la seguridad y salud física de los individuos que residen en esa edificación.

## II. MARCO TEÓRICO

### 1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

#### 1.1. ANTECEDENTE 1:

En la referencia de [6], en su artículo “Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras”, en la Universidad Autónoma de Yucatán, detallan las deficiencias que puede sufrir una estructura a lo largo de su vida útil, ya sea por vicios en la construcción, cambios de funcionalidad de la estructura, antigüedad, inclusive agentes externos como la salinidad, corrosión, entre otros; afectando negativamente la resistencia y la capacidad de carga esperada de la estructura, llevándola a un posible colapso. Es por ello que mencionan que la estructura necesita reforzamiento para aumentar la resistencia de una parte o completa de una estructura. En los casos en que debe de haber una intervención de reforzamiento son cuando las estructuras son “autoconstruidas”, cambian el uso con la cual fue construida aumentando la capacidad de carga, se encuentran fallas en el proceso de diseño o construcción, se observe deterioro o daño de algún material o elemento en la estructura y cuando haya cumplido su vida útil de la edificación. Para reforzar existen diferentes métodos, entre ellos el de fibras de carbono. Este es material se utilizó por primera vez en 1879 y se constituye de hilos de poliacrilonitrilo que están compuesto de mini filamentos de carbono y tienen un diámetro alrededor de 5 a 10 micra, más fino que el cabello de los humanos, además de tener una composición parecida al del grafito. La fibra se considera que tiene mejores características, ya que tiene una resistencia mecánica por encima de 10 veces que la del acero de refuerzo, con una densidad de 1750 Kg/m<sup>3</sup>. Así mismo encontramos ventajas como su elevada resistencia a esfuerzos de compresión y tensión, elevado módulo de elasticidad y actúa bien frente a agentes externos. Este material se obtiene de la quema a 300°C de los materiales que eliminan compuestos químicos, y para que las fibras se adhieran, se consigue calentado en un horno a una temperatura de 2000°C. La resistencia en una u otra dirección de la fibra de carbono depende de su trenzado y su resina. Existen trenzados como el “roving” o “heavy roving”, este último es más resistente. Por otro lado, la resina se endurece cuando este en presencia de un catalizador, el más utilizado es de tipo epóxico.

## **1.2. ANTECEDENTE 2:**

Calla y Torres [7], realizaron la tesis denominada “Reforzamiento por flexión de vigas de concreto armado con fibra de carbono”, en la Universidad Católica de Santa María en la ciudad de Arequipa. En la investigación realizada se tuvo como problemática el reforzamiento estructural de un hotel en Ilo, el cual presentaba problemas en algunas vigas. Para esto se selecciono el reforzamiento con fibras de vidrio, en el cual detallan que tiene no se tiene mucha información sobre este método pero que representa un gran aumento de resistencia en la estructura de manera local y global. Las propiedades que este material ofrece es la capacidad de poder adaptarse a cualquier superficie sin alterar su arquitectura, la alta resistencia que tiene, incluso 10 veces mayor que el acero, el cual su tensión promedio es de 4200 N/mm<sup>2</sup>, además de su baja densidad y su buena respuesta frente a agentes externos. Entre sus características principales tenemos su trabajabilidad ya que se puede manipular fácilmente en obra facilitando su colocación, tampoco es necesario un recubrimiento más que por el tema estético y tiene un periodo de vida largo. Los tipos de fibras de carbono tienen buenas propiedades de resistencia y se encuentran en presentaciones de tejidos y platinas que pueden llegar a medir entre 5 a 10 micras, además de estar conformado principalmente por átomos de carbono. Las circunstancias donde se debe de aplicar las fibras de carbono son: de manera preventiva en una estructura en el que se denota problemas en la misma, cuando se necesite algún método de reforzamiento, para reparar la estructura, como medida correctora frente a agrietamientos, fisuras o fallas en el proceso constructivo. El desarrollo se llevo acabo en un laboratorio donde se ensayaron vigas reforzadas con fibras de vidrio el cual se obtuvo una buena respuesta a flexión, comparadas con las vigas sin reforzamiento. A raíz del ensayo se concluye que los momentos flectores obtenidos en las vigas reforzadas fueron de 30% a 40% superiores a las vigas sin reforzar, además que la calidad del concreto influye solo en el 10% de la resistencia total de la viga, además apporto significativamente a controlar los esfuerzos cortantes y deformaciones en un 50% respecto a la viga sin reforzamiento.

### **1.3. ANTECEDENTE 3:**

Alegre [8], realizó su tesis denominada “Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado”, en la Pontificia Universidad Católica del Perú en la ciudad de Lima. La investigación tiene como objetivo determinar el comportamiento elástico e inelástico de vigas que están sujetas a momentos flectores y que a su vez estén reforzadas con fibras de carbono. Estas fibras son de tamaño muy pequeños de 5 a 10 micras de diámetro, las cuales están amarradas entre si formando una resistencia por la unión de sus fibras. Estas fibras de carbono están compuestas por un producto similar al grafito y por el poliacrilonitrilo. Las características de este material es que tiene una densidad baja el cual su rango varía entre 1.8 a 2.2 gr/cm<sup>3</sup>, tiene una gran capacidad de resistencia frente a agentes externos, tiene gran resistencia a la fatiga, además de contar con alta rigidez en comparación con el acero. Este se puede aplicar en diversos campos como la industria aeronáutica, industria naval, industria de la comunicación, entre otros; así como en la industria de la construcción. El desarrollo de esta investigación se llevo a cabo en un laboratorio para poder ensayar las vigas sin y con reforzamiento, a raíz de este resultado se puede concluir que en las vigas con menor cuantía de acero y que han sido reforzadas con la fibra de carbono, aumenta su resistencia a flexión en un valor de 58.9% y respecto a las vigas con una cuantía mayor aumenta su resistencia en un valor de 18.4%. Respecto a la ductilidad, en las vigas con menor cuantía, alcanza un valor de 18.4% de ductilidad inicial, mientras que para las vigas con cuantía elevada alcanza un valor de 60.3% de ductilidad inicial. Además, es más costoso aplicar el método de reforzamiento de fibras de carbono en comparación con el método de encamisado.

### **1.4. ANTECEDENTE 4:**

En el estudio realizado por [9] tiene como finalidad analizar el comportamiento estructural con la norma anterior y comparándolo con la norma vigente con el objetivo de identificar que elementos estructurales reforzamiento. La metodología que usa [9] es el reforzamiento con polímeros reforzados con fibras (RFD). Se realizaron 50 modelos computacionales con diferentes

distribuciones de los cuales el 52% de los elementos estructurales requerían reforzamiento. De los análisis de resultados, [9] concluye que el RFD no controla los problemas de derivas debido a su poco aporte de inercia sin embargo reduce la participación modal y el periodo debido a la alta rigidez que proporciona.

#### **1.5. ANTECEDENTE 5:**

Chávez [10], realizó su tesis denominada “Resistencia a flexión en vigas de concreto simple empleando fibras de carbono como reforzamiento con diferentes anchos”, en la Universidad Privada del Norte, en la ciudad de Lima. Tuvo como problemática el déficit en el proceso constructivo que existe en las edificaciones, diseños inadecuados, cambio de usos en las estructuras, utilización de material pobre para son construcciones. Por ello se planteó hallar la variación de la resistencia a flexión que existe entre vigas sin reforzamiento y con reforzamiento. Las fibras de carbono tienen ventajas la alta flexibilidad , alta trabajabilidad, tienen buen aislamiento térmico, entre otros. Para el desarrollo de su investigación [10] propuso hacer una muestra de 60 vigas de concreto simple para ensayarla y para la obtención de datos usara una ficha técnica. Como consecuencia del estudio, se tienen resultados como el aumento de la resistencia a flexión, esta se incremento en un 27.02% en un tiempo de 28 días y aplicando el curado de vigas esta se incrementó en un 36.87%

#### **1.6. ANTECEDENTE 6:**

Espinoza [11], en su tesis de investigación “Vulnerabilidad sísmica y refuerzo estructural con fibra de carbono (CFRP) de las unidades educativas: "Nuestra Familia" y "Alberto Andrade Arizaga Brummel"”, en la Universidad Católica de Cuenca, expone la problemática que existe en ambas instituciones educativas debido a que presentan problemas de vulnerabilidad sísmica, en donde se observa que las instituciones presentan problemas de fisuras, grietas de gran magnitud lo que afecta la respuesta estructural del sistema, por ende se propone reforzarlo con polímeros de fibra de carbono con material epóxico. La metodología aplicada por [11], consta del uso del esclerómetro para obtener la resistencia del concreto y de un scanner de acero para poder sacar datos del refuerzo, así como su recubrimiento. Usa el programa SAP para poder hacer el análisis sísmico de la edificación. Se empleó el CFRP debido a sus ventajas como:

no aporta peso considerable para la estructura, tiene buen funcionamiento frente a agentes externos, su elasticidad varía entre 240 Gpa a 400 Gpa, entre otros. Respecto a sus propiedades frente al concreto este material aporta en la resistencia a la tracción a la estructura, se acomoda bien a la superficie a reforzar, además obtiene mayor resistencia con el sistema epóxico. A raíz del análisis, se puede concluir que las vigas con reforzamiento de fibras de carbono con material epóxico se comportan mejor que las vigas sin reforzamiento, aumentando su resistencia a momentos flectores y a esfuerzos por cortante.

### **1.7. ANTECEDENTE 7:**

Argento [12] en su investigación denominada “Refuerzo estructural de elementos de hormigón con fibras de carbono (PRFC)” realizada en la Universidad Tecnológica Nacional en la ciudad de Concordia, tiene como principal objetivo analizar el método de reforzamiento con fibras de carbono en las estructuras, dando a conocer su proceso constructivo, sus ventajas y desventajas, su cálculo, entre otros; para poder ofrecer soluciones a estructuras vulnerables. En el desarrollo de la investigación [12] se apoya del ACI 440, además de un laboratorio donde desarrollaría ensayos de la fibra de carbono tanto en el interior de la viga como en el exterior, funcionando este último con un sistema epóxico. A raíz de los resultados el autor llega a concluir que las fibras de carbono son un material que se adapta muy bien al concreto cuando está reforzado con resina epoxi, además de ser un material liviano y que no afecta la arquitectura de la estructura. Así como la trabajabilidad que presentan al momento de ser colocados, tiene un elevado módulo de elasticidad, actúa bien frente a agentes externos, aumenta la resistencia a flexión y compresión en los elementos estructurales. Respecto al tema económico, es muy costoso, pero esto se equilibra en el momento del proceso constructivo, debido a que es trabajable y fácil de colocar, se disminuirá tiempos, mano de obra, herramientas, entre otros.

## **2. BASES TEÓRICAS**

### **2.1. Vulnerabilidad sísmica**

La vulnerabilidad sísmica según [1] es el daño que puede sufrir la estructura

ante un sismo, teniendo en cuenta sus características propias. Los daños que puede sufrir una estructura son de dos tipos: elementos estructurales, medidos a partir del comportamiento de vigas, columnas, muros, etc.; y los daños de elementos no estructurales, considerado a partir de las irregularidades de planta o altura. Una estructura sin una adecuada rigidez es más vulnerable a sufrir daño, que otra construida con criterios sísmicos, indiferentemente de la zona de estudio.

## **2.2. Peligro sísmico**

En [1] definen como peligro sísmico a la severidad del sismo dependiendo del entorno del ambiente. Estos factores pueden ser la topografía local, fallas geológicas, propiedades del suelo, panorama sísmico técnico de la zona, entre otros. El peligro se puede expresar como el valor máximo alcanzado en la zona de estudio, indicando la severidad del sismo, por ejemplo, la aceleración máxima del suelo (roca) o la intensidad local.

## **2.3. Riesgo sísmico**

La referencia [1] afirma que es el daño que se presentaría en una estructura predeterminada como consecuencia del peligro sísmico y de la vulnerabilidad propia de la edificación.

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Esta fórmula permite relacionar el riesgo como el producto de dos agentes independientes. El peligro, que depende del entorno ambiental donde se encuentre la estructura, la cual no se puede prevenir y la vulnerabilidad de la estructura que puede ser controlada para contrarrestar el riesgo de las obras civiles.

## **2.4. Medida de los sismos**

- Intensidad

[1] define a la intensidad como el daño que produce el sismo en una determinada zona geográfica. Esta medida se cuantifica en factores como daños producidos, cambios del entorno, efecto que causa en las personas, entre otros.

Como es de esperar, la intensidad es mayor en el área epicentral y se va reduciendo mientras mayor sea la distancia epicentral. En 1902, Mercalli presenta una escala para determinar la intensidad, pero fue modificada por Richter en 1956 teniendo como resultado la siguiente tabla:

*Ilustración 1 Escala de Mercalli Modificada 1956*

<i>Escala de Mercalli Modificada, 1956</i>	
<i>Grado</i>	<i>Descripción</i>
I	Sentido sólo por algunas personas en condiciones sumamente favorables.
II	Percibido por personas en descanso, especialmente en los pisos altos de los edificios.
III	Percibido en el interior de los edificios, pero sin reconocerse como sismo.
IV	Percibido en el interior de edificios y por algunas personas en las calles. Objetos colgantes que oscilan. Vibración perceptible en puertas, ventanas y vajilla. Los vehículos detenidos oscilan.
V	Percibido por la mayoría de personas. Algunas personas despiertan. Objetos inestables se vuelcan. Es posible estimar la dirección del movimiento.
VI	Percibido por todos. Personas que huyen hacia exteriores. Caminar inestable. Se rompen vidrios, caen objetos de los armarios y muros. Muebles desplazados. Algunas grietas en revestimientos y construcciones tipo D. Pequeñas campanas que tañen. Árboles sacudidos visiblemente.
VII	Dificultad para mantenerse en pie. Percibido por conductores de automóviles en marcha. Tañen las campanas. Grietas en edificaciones tipo D. Algunas grietas en edificaciones tipo C. Algunas chimeneas caen. Ondas en los lagos. Pequeños deslizamientos y hundimientos en terraplenes y taludes de arena y grava. Daños en canales de concreto para riego.
VIII	Manejo inseguro de vehículos. Daños y hasta colapsos parciales en edificios tipo C. Daños menores en construcciones tipo B. Ningún daño en construcciones tipo A. Caen chimeneas, monumentos, torres y depósitos elevados. Desprendimiento de tabiques. Se quiebran las ramas de los árboles. Cambios en las corrientes de agua. Grietas en suelos húmedos y pendientes escarpadas.
IX	Pánico general. Destrucción de construcciones tipo D. Daños serios en edificaciones tipo C, inclusive algunos colapsos. Daños importantes en edificaciones tipo B y en depósitos de agua. Ruptura de tuberías subterráneas. Grietas grandes en suelos secos. Pequeñas eyecciones de arena y barro en suelos aluviales.
X	Gran destrucción de edificaciones. Grandes daños en malecones, represas, diques y terraplenes. Grandes desplazamientos de tierra en taludes y orillas de los ríos. Agua de canales, ríos y lagos sale hacia las playas. Rieles de las vías férreas deformados.
XI	Pocas edificaciones quedan en pie. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. Puentes destruidos. Grandes grietas en el suelo. Rieles de vías férreas muy retorcidos. Hundimientos y desplazamientos en suelos blandos.
XII	Destrucción casi total. Cambios en la topografía. Desplazamiento de grandes masas de roca. Líneas de mira y niveles distorsionados. Objetos lanzados al aire.

Fuente: Ingeniería Sismorresistente, 2004. Muñoz.

- Magnitud

[1] Afirma que es importante medir que tanto afecta el evento geológico a una determinada zona, por lo que el tamaño de un terremoto se le denomina magnitud, este se relaciona con la cantidad de energía que se libera durante el sismo. Para grandes sismos, las escalas mb (magnitud de cuerpo de onda corta) y Ms (magnitud superficial) se saturan entre 6.5 y 8.5 respectivamente, lo que interfiere con los datos reales del tamaño del terremoto. Para terremotos de gran magnitud se usa la escala Mw (magnitud de momento sísmico) propuesta por Kanamori en 1977.

## 2.5. Mecanismos de generación de terremotos

[1] Asevera que los sismos son producidos por el movimiento de las placas tectónicas, es decir, la interacción entre ellas. La corteza aumenta las deformaciones y esto conlleva a que acumule energía. Cuando los esfuerzos en el interior alcanzan valores incrementados, se produce una ruptura del material en el interior de la corteza y la energía acumulada se libera en forma de fricción, calor y ondas sísmicas durante un corto tiempo. Esta energía alcanza la superficie y puede llegar a generar cambios importantes en el paisaje. Hasta el momento no se conoce con total autenticidad la localización de los núcleos de sismos; sin embargo, se sabe que los sismos son producidos por fallas geológicas y de subducción.

- Falla por desgarre

[1] Menciona que son movimientos horizontales de las rocas en ambos lados del plano de fallas, se dan en zonas dorsales oceánicas, en bordes de placas, zonas de subducción, zonas colisión y zonas triples; siendo una de las más conocidas y estudiadas: la falla de San Andrés, en California.

- Fallas normales

Según la referencia [1], afirma que se da en zonas de corteza y corresponden a un desplazamiento de la roca de manera inclinada lo cual permite que descienda uno respecto del otro. Se originan por el desprendimiento de las placas tectónicas.

- Fallas inversas

[1] Afirma que se da en las zonas de interacción de continentes y corresponden a un desplazamiento de la roca de manera inclinada lo cual permite que ascienda uno respecto del otro. Se llaman así porque la fuerza que hace subir un bloque respecto al otro es de compresión.

- Zona de subducción

Según [1] manifiesta que, en esta zona de interacción de placas, es una de las zonas de mayor sismicidad del mundo donde abarca toda la costa occidental de América del Sur.

## 2.6. Silencio sísmico

[1] Manifiesta que el silencio sísmico es un periodo largo de tiempo donde no han ocurrido terremotos en los últimos años, indiferentemente de que sea una zona de baja sismicidad o de alta sismicidad. En esta última podemos suponer que tarde o temprano llegara un terremoto de gran intensidad. Así fue el caso del sur del Perú con el norte de Chile, quienes formaban una ventana sísmica extensa, pero en el 2001 se produjo un terremoto de magnitud  $M_w=8.4$  con una extensión de 400km. de longitud en la parte sur del Perú.

*Ilustración 2 Áreas de ruptura de los principales terremotos del siglo XX en una zona del borde oeste de Sudamérica*



Fuente: Ingeniería Sismorresistente, 2004. Muñoz.

## 2.7. Zonificación

[13] Sostiene que “se entiende por peligrosidad sísmica (seismic hazard) la probabilidad de que un parámetro elegido para medir el movimiento del suelo (desplazamiento, velocidad, aceleración, magnitud, intensidad, etc.) supere un nivel dado a lo largo del tiempo que se considera de interés”.

## **2.8. Reforzamiento estructural**

Las estructuras se llevan a cabo para que completen su vida útil, cumpliendo con las condiciones de servicio y resistencia, considerando los aspectos de capacidad estructural en el diseño, construcción, mantenimiento y operación.

La necesidad de un reforzamiento estructural se basa en diferentes factores, como diseños inadecuados, errores en el proceso constructivo, daños estructurales ocasionados por sismo o asentamientos, actualización a nuevos reglamentos o normas, entre otros. Al presentar uno de estos factores es necesario aplicar algún tipo de reforzamiento con la finalidad de que la estructura garantice una buena capacidad ante las cargas de gravedad y adecuada respuesta ante un evento geológico.

## **2.9. Métodos de reforzamiento estructural**

- **ADICIÓN DE MUROS DE CORTANTES:**

Este método empleado es muy usual cuando se le quiere adicionar a la estructura resistencia y rigidez. Las consideraciones que se deben tener en cuenta es que si las columnas existentes son lo suficientemente fuertes para funcionar como elementos de borde, así como las vigas para ser tomadas en cuenta como acoplamiento. Así mismo este método se utiliza para eliminar rigideces excéntricas y aumentar la capacidad de carga. Según [14] se plantea lo siguiente:

- El muro puede ser metido dentro del plano del pórtico de concreto existente.
- El muro puede ser metido como un elemento vertical continuo unido a los pórticos existentes.
- El muro puede ser metido como un elemento vertical independiente separado de los pórticos.

Este método se emplea cuando se presenta irregularidades en como torsión extrema, discontinuidad de muros, entre otros.

- **ENCAMISADO CON CONCRETO REFORZADO**

Esta técnica de reforzamiento a elementos existentes esta encaminada a mejorar la capacidad a cortante, flexión y axial, así como mejorar la rigidez y

resistencia de toda la estructura. Para que haya una buena adherencia entre el concreto existente y el concreto nuevo se debe aplicar algún tipo de aditivo en la superficie para no tener problemas posteriores como contracciones volumétricas durante el proceso de fraguado.

A pesar de que es un método tradicional [15] demuestra que “capacidad a flexión de los pórticos aumenta cuando se logra implementar la técnica del revestimiento tanto en concreto como en acero, ya que, se provee nuevo refuerzo longitudinal y lateral”.

- ENCAMISADO CON ELEMENTOS METÁLICOS

[15] Afirma que “Esta técnica también es capaz de devolver o restaurar la rigidez inicial de una columna afectada por fuerzas externas”. Podemos considerar a la fuerza externa como el evento sísmico ya que las columnas son propensas a fallar por cortante. Así como el encamisado de concreto, este método aporta rigidez y resistencia de toda la estructura, asimismo mejora la capacidad a cortante, flexión y axial del elemento. Una diferencia con el encamisado de concreto se encuentra en el proceso constructivo.

Según [14] debemos tener en cuenta que la superficie de concreto sobre la cual será instalada el encamisado de acero, este libre de cualquier contaminación, esta limpieza se realiza con el propósito de aumentar y asegurar adherencia y además los espacios libres que queden entre el concreto y el acero debe ser rellenado con material epóxico.

- ADICIÓN DE MARCOS DE ACERO

Según [14] afirma que “Esta técnica está orientada a mejorar la capacidad global a cortante, así como la capacidad lateral al desplazamiento, esta última ligada fuertemente a la rigidez global”.

La conexión de tirantes de acero en forma diagonal conectados a un marco de acero adherido a una estructura aporricada de concreto, agrega resistencia y rigidez a la edificación. Los tirantes de acero pueden ubicarse dentro del marco en forma concéntrica u excéntricamente. El uso de marcos con tirantes de acero sirve para mantener las derivas dentro de los parámetros que manda la norma

sísmica, esto se logra mediante el modelamiento que incluye tanto la rigidez del marco de acero, los tirantes y el sistema aporticado.

- **CONTRAVIENTOS DE ACERO**

Este tipo de reforzamiento es empleado para reducir el desplazamiento lateral de la estructura así como aumentar la resistencia de la misma. Su diseño se basa en la correcta trasmisión de fuerzas entre las diagonales de acero y la estructura de concreto reforzado. Mediante diversos análisis realizados sobre las características de las diagonales de acero, se ha podido establecer la disposición que mejor desenvuelve la capacidad de respuesta, siendo esta en forma de “X” [14].

- **MATERIALES COMPUESTOS FRP**

También conocidos como Polímeros Reforzados con Fibra, en elementos sirve para aumentar la capacidad a cortante y flexión y en la estructura llega a aumentar la resistencia y la ductilidad. Este método es muy empleado ya que no modifica estéticamente la estructura y además es un material muy liviano. Este material se compone de dos elementos, uno de ellos es la resina que vendría a ser el polímero, y el otro material sería la fibra que puede ser de carbono, vidrio y orgánicas. Según investigaciones la fibra de carbono es la que mejor se comporta estructuralmente, ya que posee buenas características mecánicas y químicas. Con la unión de estos materiales se consigue un nuevo elemento con mayor capacidad estructural a comparación de que cada material trabaje por sí solo.

- **DISIPADORES DE ENERGÍA**

Los aisladores de base, situados sobre la cimentación de la edificación, separan parcialmente la estructura del edificio de los factores de aceleración procedentes del suelo mejorando la respuesta de estructura, añadiéndole notablemente ductilidad y por lo tanto causando una menor demanda en cada uno de los elementos estructurales.

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

-Conocer las propiedades de los polímeros reforzados con fibra de carbono como método de reforzamiento.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

-Identificar las situaciones cuando la estructura necesita reforzamiento estructural.

-Conocer los beneficios de los polímeros reforzados con fibra de carbono como método de reforzamiento.

### **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **4.1. TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS**

El tipo de investigación a desarrollar es de tipo No Experimental, de tipo Descriptiva porque se busca dar a conocer las propiedades de los polímeros reforzados con fibra de carbono como método de reforzamiento estructural en base a la revisión de libros, tesis y artículos.

#### **4.2. HIPÓTESIS**

Las propiedades de los polímeros reforzados con fibra de carbono aportan de manera positiva como método de reforzamiento en la estructura dañada.

#### **4.3. VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN**

- Variable independiente:

-Estado de la estructura

- Variable dependiente:

-Reforzamiento con polímeros reforzados con fibra de carbono

#### **4.4. POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO Y MUESTREO**

Población: Para la presente investigación, la población de estudio esta constituido por el estado de las estructuras de concreto armado.

Muestra: Para la presente investigación, la muestra de estudio esta constituido por las tesis y artículos acerca de los polímeros reforzados con fibra de carbono.

#### **4.5. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

TÉCNICAS	INSTRUMENTO	INSTRUMENTOS
Análisis de documentos	Ficha de análisis	Datos de ficha de referencias bibliográficas

#### **4.6. PROCESAMIENTO PARA ANÁLISIS DE DATOS**

En primer lugar, se investigará bibliografías que tengan relación con el objetivo de la investigación. Posteriormente las bibliografías obtenidas se organizarán en fichas de análisis para facilitar su comprensión. Como consecuencia, se procederá a realizar las conclusiones del caso.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1 Tabla de Resultados

ANTECEDENTE	TÍTULO	CRITERIOS		
		ESTADO DE LA ESTRUCTURA/ ELEMENTO	PROPIEDADES DE POLIMEROS REFORZADOS CON FIBRA DE CARBONO	RESPUESTA ESTRUCTURAL
Nº 1	LAS FIBRAS DE CARBONO COMO UNA ALTERNATIVA PARA REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS	-Corrosión del acero -Cambio de uso -Adición de cargas estimadas a la del diseño	-Resistencia mecánica y a la corrosión -Ligereza y rapidez de colocación -Aporta resistencia al elemento cuando se confina con este	-Aumento de la resistencia a la estructura -En caso de las vigas se puede utilizar en tiras para ayudar a la captación de los esfuerzos tensionantes -En las columnas, restaurando su capacidad para resistir esfuerzos de tensión cuando el acero ha dejado de ejercer su función y aumenta el confinamiento
Nº 2	REFORZAMIENTO POR FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON FIBRA DE CARBONO	-Las vigas se encuentran en pesima condiciones y con corrosión de acero	-Buena trabajabilidad -Facil y rapidez de aplicación -Largo periodo de vida -Aporta a la resistencia de la viga	-En la vigas ensayadas se obtuvieron momentos resistentes mayores, llegando así a un aumento aproximado de 30% a 40% en comparación a las que no fueron reforzadas -El reforzamiento de la fibra de carbono controla y evita deformaciones significativamente aproximadamente a un 50% en evitar tales deformaciones.
Nº 3	ESTUDIO DE LA INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA Y DUCTILIDAD DE LAS FIBRAS DE CARBONO UTILIZADAS COMO REFORZAMIENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO	-Aumento de cargas de servicio -Utilización de material pobre en el proceso constructivo -Deficit en el proceso constructivo	-Material flexible -Altamente resistente -Elementos livianos y de baja densidad en comparación con el acero -Rapida puesta en servicio -Bajo costo de instalación	-El incremento de la resistencia a flexión alcanza un valor de 58.9% para la sección con menor cuantía de acero, y en el caso de la sección de mayor cuantía de acero, la resistencia se incremento en un valor de 18.4%. -Se comprobó que la sección con menor cuantía de acero alcanza un valor de 18.4% de su ductilidad inicial, y en el caso de la sección con mayor cuantía de acero alcanza un valor de 60.3% de su ductilidad inicial
Nº 4	COMPARATIVE ANALYSIS OF STRUCTURES WITH AND WITHOUT REINFORCEMENT (FRP)	-Se modelaron 50 estructuras con diferentes características de 3 a 4 pisos con irregularidades	-Eficiente en estructuras que no cumplen con parametros de diseño sismorresistente -Aumenta capacidad de resistencia y capacidad de deformación del elemento, por ende de toda la estructura -Facilidad de colocación -Resistencia a la corrosión	-Las estructuras del proyecto, tienen características geométricas similares, de las que un 52% se reforzó por presentar problemas de derivas, y fallas a cortante en las vigas por lo cual se uso el CFRP -El reforzamiento con FRP trabaja a medida que se deforma, proporcionando rigidez, reduciendo el periodo, y los porcentajes de participación modal pero es ineficiente para corregir problemas de derivas, por su escasa aportación de inercia, y puede inducir a problemas de fallas frágiles y de torsión.
Nº 5	RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO SIMPLE EMPLEANDO FIBRAS DE CARBONO COMO REFORZAMIENTO CON DIFERENTES ANCHOS	-Se realizaron 60 vigas de concreto simple	-Resistente a agentes externos como la corrosión -Alta capacidad de resistencia	-La resistencia a flexión reforzadas con fibra de carbono con anchos de 2, 3 y 4 cm aumenta su resistencia con respecto a la muestra patrón en 6.69%, 15.56% y 27.02%
Nº 6	VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFUERZO ESTRUCTURAL CON FIBRA DE CARBONO (CFRP) DE LAS UNIDADES EDUCATIVAS: "NUESTRA FAMILIA" Y "ALBERTO ANDRADE ARIZAGA BRUMMEL	-Las estructuras analizadas no cumplen con la Norma Ecuatoriana de la Construcción en lo que respecta al diseño sismorresistente	-Peso mínimo, por lo que la carga muerta a considerar es baja -Es anticorrosivo -Instalación rápida, ahorrando tiempo y dinero -Posee ductilidad menor a 1% por lo que se acomoda a diferentes formas -Densidad muy baja	-Se comprueba, con SAP 2000, que el refuerzo con fibras de carbono aumenta la resistencia en los elementos de hormigón armado que están sometidos a flexión, cumpliendo con los requerimientos de la norma vigente
Nº 7	REFUERZO ESTRUCTURAL DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN CON FIBRAS DE CARBONO (PRFC)	-Aumento en la capacidad portante de una estructura -Pérdida de capacidad de carga -Estructura mal diseñada -Hormigón tiene una resistencia menor a la establecida en el cálculo estructural	-Muy elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado. -Baja densidad, en comparación con otros materiales, como por ejemplo el acero. -Resistencia a agentes externos. -Resistencia a las variaciones de temperatura, conservando su forma, sólo si se utiliza matriz termoestable.	-Se puede afirmar que son materiales sumamente compatibles con el hormigón y es por eso que son una excelente alternativa para ser utilizados como refuerzos en estructuras de hormigón armado ya que se consigue una buena respuesta sísmica.

Fuente: Propia

## VI. CONCLUSIONES

En base a la bibliografía estudiada, se detallan las siguientes conclusiones:

- Se concluye que el estado de la estructura que presentan daños estructurales por deficiencias del proceso constructivo, aumento de cargas de servicio, estructuras mal diseñadas, cambios de usos, cambios de normas entre otros; necesitaran de un método de reforzamiento.
- Se llega a la conclusión de que las principales propiedades de los polímeros reforzados con fibra de carbono son resistencia mecánica y a la corrosión, facilidad y rapidez de aplicación, elementos livianos y de baja densidad en comparación con el acero, posee ductilidad menor a 1% por lo que se acomoda a diferentes formas, resistencia a las variaciones de temperatura.
- Se concluye que la estructura reforzada con fibras de carbono mejora la respuesta sísmica de la misma, aumentando la resistencia de la estructura, proporcionando rigidez, reduciendo el periodo, aumenta los porcentajes de participación modal y permite mayor deformación de los elementos.

## VII. REFERENCIAS

- [1] J. Muñoz, Ingeniería Sismorresistente, Lima, 2004.
- [2] A. Sarria, Terremotos e infraestructura, Bogotá: Universidad de los Andes, 2008.
- [3] E. Silgado, Historia de los sismos mas notables ocurridos en el Perú (1513-1974), Lima: Instituto de Geología y Minería, 1978.
- [4] Insituto Nacional de Defensa Civil, «Insituto Nacional de Defensa Civil,» 12 Noviembre 1996. [En línea]. Available: [https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/6\\_terre.pdf](https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/6_terre.pdf). [Último acceso: 27 Mayo 2020].
- [5] H. Tavera, «Instituto Geofísico del Perú,» 23 Junio 2001. [En línea]. Available: <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/1121>. [Último acceso: 27 Mayo 2020].
- [6] M. Moncayo y J. Rodriguez, «Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras,» *Ingeniería*, vol. XX, n° 1, pp. 57-62, 2016.
- [7] F. Calla y J. Torres, «Reforzamiento por flexión de vigas de concreto con fibra de carbono,» Universidad Catolica de Santa María, Arequipa, 2015.
- [8] G. Alegre, «Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2017.
- [9] J. Paéz, «Análisis comparativo de estructuras con y sin reforzamiento (FRP),» *Alternativas*, vol. 17, n° 3, pp. 43-52, 2016.
- [10] K. Chávez, «Resistencia a flexión en vigas de concreto simple empleando fibras de carbono como reforzamiento con diferentes anchos,» Universidad Privada del Norte, Lima, 2019.
- [11] M. Espinoza, «Vulnerabilidad sísmica y refuerzo estructural con fibra de carbono (CFRP) de las unidades educativas: "Nuestra Familia" y "Alberto Andrade Arizaga Brummel",» Universidad Católica de Cuenca , Cuenca, 2018.
- [12] M. Argento, «Refuerzo estructural de elementos de hormigón con fibras de carbono (PRFC),» Universidad Tecnológica Nacional, Concordia, 2015.
- [13] M. Herraíz, Conceptos básicos de sismología para ingenieros, Lima: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 1997.
- [14] Federal Emergency Management Agency, Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, Washington D. C., 2006.
- [15] J. Acuña y J. Forero, «Estado del Arte de las Técnicas de Reforzamiento Estructural para Edificaciones Existentes Hechas en Concreto Reforzado en Colombia,» Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2017.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 01:

TÍTULO DEL ARTÍCULO	
NOMBRE DE LA REVISTA	
FECHA	
AUTOR(ES)	
volumen(número), páginas	
PROBLEMA QUE SOLUCIONO LA INVESTIGACIÓN	
SOLUCIÓN PROPUESTA	
METODOLOGÍA, MÉTODOS, TÉCNICA, NORMAS, PRUEBAS, DIAGRAMAS etc, HERRAMIENTAS QUE UTILIZA EL ING. CIVIL indicar el nombre y para que utilizo en la investigación	
CONCLUSIONES	
TRABAJOS FUTUROS	
BASE DE DATOS (IEEE, ACM, REDALYC, UNIVERSIDAD....)	
Dirección URL	

### Anexo 02:

TÍTULO DE LA TESIS	
FECHA	
AUTOR(ES)	
PROBLEMA QUE SOLUCIONO LA INVESTIGACIÓN	
SOLUCIÓN PROPUESTA	
METODOLOGÍA, MÉTODOS, TÉCNICA, NORMAS, PRUEBAS, DIAGRAMAS etc, HERRAMIENTAS QUE UTILIZA EL ING. CIVIL indicar el nombre y para que utilizo en la investigación	
CONCLUSIONES	
BASE DE DATOS (IEEE, ACM, REDALYC, UNIVERSIDAD....)	