

PROPUESTA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL CON FIBRA DE CARBÓN PARA EL EDIFICIO PARQUE SANTANDER

Juan Ramirez♦

Emiro Lozano*

Resumen

Este documento propone una solución teórica para el reforzamiento estructural de las columnas del edificio Parque Santander en Villavicencio, mediante la implementación de la fibra de carbón el cual es un material apto para el reforzamiento estructural de elementos que están trabajando a compresión. Se realizaron ensayos de laboratorio experimentales guiados bajo la normativa americana ASTM C39 y cálculos teóricos según lo establecido en normativas de diseño para elementos compuestos con fibras como lo es ACI 440 2R. Los resultados de los laboratorios como de los cálculos teóricos son satisfactorios y se evidencia un incremento en la capacidad de resistencia de hasta un 185%. Con estos resultados se realiza un modelo matemático final donde se lleva a cabo una comparativa del funcionamiento de la edificación si se lleva a cabo el reforzamiento con fibra de carbón, de esta manera se formula una serie de soluciones teóricas donde el resultado sea adaptar la edificación a lo dispuesto en el capítulo A.10 de la NSR-10 el cual se centra en las edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del reglamento.

Palabras clave: Reforzamiento estructural, fibra de carbón, sistema estructural, resistencia de materiales.

Abstract

This document proposes a theoretical solution for the structural reinforcement of the columns of the Parque Santander building in Villavicencio, through the implementation of carbon fiber, which is a suitable material for the structural reinforcement of elements that are working in compression. Experimental laboratory tests and theoretical calculations were carried out according to the provisions of design regulations for fiber composite elements such as ACI 440 2R and ASTM C39. The results of the laboratories as well as the theoretical calculations are satisfactory and an increase in resistance capacity of up to 185% is evident. With these results, a final mathematical model is carried out where a comparison is carried out where the functioning of the building is verified if the reinforcement with carbon fiber is carried out, in this way a series of theoretical solutions is formulated where the result is adapting the building to the provisions of chapter A.10 of NSR-10, which focuses on buildings built before the validity of this version of the regulation.

Keywords: Structural reinforcement, carbon fiber, structural system, resistance of materials.

♦ Universidad Santo Tomás, Villavicencio – Meta, juaneramirez@usantotomas.edu.co – ORCID: 0000-0002-9509-1982

* Universidad Santo Tomás, Villavicencio – Meta, emirolozano@usantotomas.edu.co – ORCID: 0000-0001-9072-427X

Introducción

Las edificaciones construidas durante el régimen de la presente versión del reglamento colombiano de construcción sismo resistente deben ser capaces de soportar eventos máximos de desplazamiento y deformaciones frente a casos de carga, eventos sísmicos y factores climáticos externos, todo esto es con la finalidad de salvaguardar la integridad de las personas que están dentro de las edificaciones durante algún evento natural de alta peligrosidad.

En Colombia existe la necesidad de mejorar las condiciones de funcionamiento de las edificaciones construidas hace décadas, es por eso que se designó el artículo A.10 de la NSR-10, el cual se denomina “Evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del reglamento”. Este capítulo tiene como propósito establecer los parámetros y procedimientos para determinar el grado de vulnerabilidad de las edificaciones antiguas, para así, generar una propuesta de modificación o remodelación en el edificio, dicha propuesta deberá satisfacer las consideraciones de diseño para soportar fenómenos naturales moderados sin generar una presencia de daño en el sistema estructural. Dentro de las consideraciones a tener en cuenta para llevar a cabo una intervención en las edificaciones antiguas se deriva en 6 variables principales: Reparaciones y cambios menores, cambio de uso, vulnerabilidad sísmica, modificaciones, reforzamiento estructural, reparación de edificaciones dañadas por sismos.

La ciudad de Villavicencio tiene en su centro histórico una cantidad considerable de edificaciones antiguas en funcionamiento, en estudios recientes se ha podido determinar el grado de vulnerabilidad que estas edificaciones presentan, estableciendo algunas dentro de los candidatos para llevar a cabo una intervención en su sistema estructural, tal como se dispone en el reglamento NSR-10.

Las edificaciones en la zona central de la ciudad tienen un grado de importancia alto dada la cantidad

de personas que trabajan en ellas diariamente, en su mayoría, estas edificaciones funcionan como oficinas administrativas donde residen entidades gubernamentales, bancos nacionales y empresas de alto impacto en la ciudad. Este grado de importancia es un componente fundamental a tener en cuenta dado que cualquier intervención de gran proporción en estos edificios tendrá un impacto significativo en la comunidad, donde si no se lleva de manera adecuada dicho proceso, se podrá desatar un conflicto de intereses donde posiblemente se tenga la presencia de demandas legales y jurídicas.

Caracterización

Algunas de las edificaciones señaladas anteriormente presentan un grado de antigüedad tan alto que llevan consigo falencias constructivas y de funcionamiento frente a los parámetros requeridos por el código vigente de construcción sismo resistente, aunque es necesario aclarar que, dentro de estas edificaciones antiguas localizadas en la zona central de la ciudad, hay algunas donde no se presentan problemáticas estructurales graves como para generar una alerta en el sector aledaño, principalmente porque cuentan con la documentación básica de los principios constructivos implementados durante las etapas de diseño-construcción y aún en la actualidad son capaces de mantener la resistencia adecuada frente a solicitaciones de cargas por gravedad y fenómenos sísmicos. Los problemas detectados en estas eran principalmente de tipo patológicos, pero se consideran dentro de lo esperado dado los comportamientos climáticos de Villavicencio generando presencia de humedad y fisuras en las plantas estructurales. Entre estas edificaciones descritas se encuentra el edificio Parque Santander, el cual por efectos de investigaciones anteriores se sugirió la propuesta de generar un reforzamiento estructural en la edificación, en los resultados se encontraron elementos estructurales que presentan ISE con valores superiores del límite propuesto por la NSR-10.

Metodología implementada

La manera idónea de llevar a cabo este proyecto fue clasificar las actividades a realizar, para lo cual se dispuso un total de 4 fases, en cada una se realizaron intervenciones puntuales para el desarrollo oportuno, dichas fases constan de la siguiente manera:

Fase 1: Analizar antecedentes.

La actividad propuesta aquí fue obtener toda la información relevante para la realización de este proyecto, descartando métodos y procesos.

Fase 2: Ensayos de laboratorio.

Se dispone la fibra de carbono (CFRP), a múltiples pruebas de compresión donde se corroborará su comportamiento y las características que le brindará al concreto como material de reforzamiento estructural.

Fase 3: Modelos matemáticos.

Una vez obtenidos los resultados de los laboratorios se procede a realizar un modelo matemático en el software CYPECAD, donde se especifique cuáles serán las características nuevas de resistencia que tendrá el concreto luego de ser reforzado con CFRP, verificando así el reacondicionamiento de la estructura para que cumpla con los parámetros establecidos en la NSR-10.

Fase 4: Soluciones teóricas.

Luego de construir el modelo matemático del edificio Parque Santander y obtener resultados alentadores de un mejoramiento en el sistema estructural tras ser reforzado con fibra de carbón, se dispondrán un par de soluciones las cuales podrían llegar a ser aplicadas a una escala real en la edificación.

Ensayo de laboratorio

Para la realización del ensayo de laboratorio se dispusieron 4 muestras cilíndricas de concreto con dimensiones de 15x30cm, la resistencia del concreto para los cilindros presentaba un valor teórico de $F'c = 210\text{Kg/cm}^2$. La aplicación del recubrimiento con la fibra de carbón y la resina epóxica fue hecha en 2 de las 4 muestras (siendo estas recubiertas con 2 vueltas de fibra de carbón), con el fin de presentar una mejor comparativa entre la resistencia de las muestras no reforzadas vs las que si están reforzadas. Se usó un tipo de fibra comercial, SikaWrap-300C, sus características fueron obtenidas directamente de la ficha técnica la cual se adjunta en los anexos de este documento y son las siguientes:

- Peso por m² = 300g
- Espesor en seco (tf) = 0,17mm
- Resistencia a tracción (ffm):
4.000N/mm² = 40.788,65 Kg/cm²
- Módulo de elasticidad (ϵf) =
240.000N/mm² = 2.447.318,91 Kg/cm²
- Tensión a la rotura (ϵfu) = 0,017
mm/mm

Este ensayo de laboratorio fue empleado para corroborar los valores de la resistencia del concreto ($F'c$) mediante la división de cargas aplicadas en muestras cilíndricas hasta llegar al punto de fallo y el área de la muestra.

Los procesos, métodos, análisis y conclusiones fueron obtenidos mediante lo dispuesto en la normativa ASTM 39 y ACI 440. Dichas normativas parametrizan lo siguiente:

ASTM C39: Norma americana que estandariza los parámetros y procedimientos a realizar para la cuantificación de la resistencia a compresión de una

muestra cilíndrica hecha en concreto armado. Dichas muestras deben tener dimensiones estándares de 15x30cm, o de ser el caso necesario, se pueden variar las dimensiones siempre y cuando se mantenga la relación 2 a 1 entre la longitud y el diámetro.

ACI 440 2R: La norma ACI 440 2R, es una guía completa donde se especifican los parámetros y procedimiento a ejecutar cuando se tiene la propuesta de implementar sistemas hechos a base de fibras para el reforzamiento estructural en edificaciones. En su contenido se explican todas las consideraciones a las cuales se tendrá que enfrentar un ingeniero civil cuando trate de utilizar este tipo de sistemas con fibra, entre ellas se observan aspectos para el confinamiento de elementos estructurales, refuerzos a cortante, flexión, uniones viga-columna y el refuerzo para muros hechos en hormigón armado. De esta normativa se rescatan las ecuaciones donde se verifica la resistencia para columnas no circulares reforzadas con fibra de carbón, lo cual es el eje central de esta investigación.

Dichas ecuaciones constan en:

Resistencia para el concreto envuelto con CFRP:

$$f'_{cc} = f'c + \psi f * 3.3 * ka * fi$$

Resistencia máxima para el concreto envuelto con CFRP:

$$fi = \frac{2 * Ef * n * tf * \epsilon fe}{D}$$

Deformación máxima permitida para el CFRP:

$$\epsilon fe = Ke * \epsilon fu$$

Nomenclatura de las ecuaciones:

$F'c$ = Resistencia del concreto

ϵfe = Deformación del CFRP

ψf = Constante según la norma = 1

ka = Constante según la norma = 1

Ke = Constante según la norma = 0,55

Ef = Módulo de elasticidad de la fibra

tf = Espesor de la fibra

N = Número de vueltas de la fibra

Resultados del laboratorio

Una vez realizado el ensayo de laboratorio se consigue una serie de valores con un alto porcentaje de efectividad al aumentar la resistencia de las muestras cilíndricas, dichos valores se pueden evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 1

Valores de la resistencia a compresión de las muestras

Muestra #	Resistencia a la compresión teórica (Kg/cm ²)	Carga aplicada hasta el fallo (Kg)	Resistencia a la compresión obtenida (Kg/cm ²)
1	210	125.323,34	578
2	210	145.997,02	584
3	210	47.498,36	234
4	210	50.817,83	223

Nota. Fuente: Propia

Comprobación del cumplimiento del reforzamiento según ACI 440 2R.

Cuando se efectúa el cálculo para encontrar la resistencia máxima del concreto envuelto en CFRP según las ecuaciones y los valores tanto de la fibra de carbón como de los cilindros de concreto expuestos anteriormente se obtiene:

$$f_i = \frac{2 * 2.447.318,91 * 2 * 0,017 * \left(0,55 * 0,017 \frac{\text{mm}}{\text{mm}}\right)}{15\text{cm}}$$

$$= 103,73 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Tabla 2
Comparativa de resistencias a la compresión

Muestra #	Resistencia a la compresión teórica (Kg/cm ²)	Carga aplicada hasta el fallo (Kg)	Resistencia a la compresión ensayo de laboratorio (Kg/cm ²)	Resistencia a la compresión teórica calculada según ACI 440 2R (Kg/cm ²)
1	210	125.323,34	578	552,31
2	210	145.997,02	598	552,31
3	210	47.498,36	234	-
4	210	50.817,83	223	-

Nota. Fuente: Propia.

Tal como se puede apreciar, al recubrir los cilindros con CFRP, se obtiene un aumento en la resistencia a la compresión, tanto en los valores experimentales dados por los ensayos como por los guiados a partir del cálculo teórico.

Modelo matemático en CYPECAD.

La creación de un modelo matemático hecho en el software CYPECAD-v2018.m, funciona como actor principal para dar un mejor entendimiento del comportamiento presente en la estructura cuando está trabajando bajo las solicitaciones de carga y efectos sísmicos de diseño.

La falta de documentación sobre el diseño de los elementos estructurales en la edificación fue una problemática constante, el modelo matemático

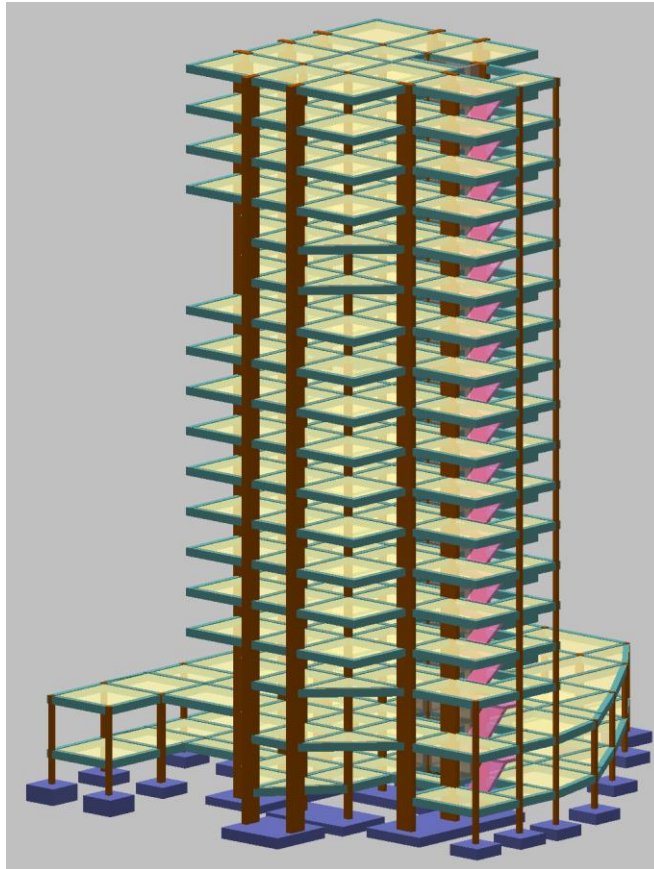
Con esto ya se puede calcular el valor de la resistencia del concreto envuelto en CFRP según la normativa:

$$f'_{cc} = 210 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} + 1 * 3.3 * 1 * 103,73 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 552,31 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Ahora, se puede comparar el valor teórico calculado frente al valor experimental del incremento de la resistencia a la compresión de los cilindros envueltos en CFRP frente a los que no. En la siguiente tabla se puede evidenciar esta comparativa:

funciona como apoyo para generar una idea básica sobre dichos diseños que hasta hoy son desconocidos. El uso de este software se cataloga viable gracias a su funcionamiento el cual consiste en el sistema BIM (Building Information Modeling), con ello se pueden obtener análisis y diseños de múltiples elementos estructurales los cuales se podrán evaluar según los parámetros de la normativa nacional de construcción sismo resistente. De esta manera se clasifican cuáles son los elementos que no están funcionando de manera adecuada dando lugar a la propuesta de reforzarlos con CFRP.

La siguiente figura es una ilustración del resultado final del diseño en el software:



Fuente: Tomado y modificado de CYPECAD.

Las primeras variables para la creación del modelo constan de la clasificación de los materiales, de los cuales se tienen las siguientes características:

- **Concreto.**

Resistencia $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad = 300.000 Kg/cm^2

- **Acero de refuerzo grado 60.**

Resistencia $Fy = 42000 \text{ Kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad = $2.100.000 \text{ Kg/cm}^2$

- **Suelo.**

Tipo de terreno = Grava

Tipo de perfil de suelo = D

Tensión admisible en situaciones persistentes = $3,0 \text{ Kp/cm}^2$

Tensión admisible en situaciones accidentales = $4,5 \text{ Kp/cm}^2$

Variables sobre el sistema estructural:

- Tipo de análisis = estático (Fuerza Lateral equivalente)
- Espectro de diseño = Según la Norma
- Coeficiente de disipación de energía (X) = 5,00
- Coeficiente de disipación de energía (Y) = 5,00
- Coeficiente de irregularidad en altura = 0,9
- Coeficiente de irregularidad en planta = 0,9

- Coeficiente por ausencia de redundancia (X) = 0,75
- Coeficiente por ausencia de redundancia (Y) = 0,75
- Tipología estructural (X) = I
- Tipología estructural (Y) = I

Variables de la zona de amenaza sísmica:

- Ciudad = Villavicencio
- Amenaza sísmica = Alta
- Velocidad media de onda de cortante (Vs) = 180ms/s
- Aceleración horizontal pico efectiva (Aa) = 0,35
- Velocidad horizontal pico efectiva (Av) = 0,30
- Tipo de edificación según NSR-10 = Tipo II
- Criterio de Armado por ductilidad = Especial (DES)

Distribución de cargas:

La valoración de las cargas vivas y las cargas muertas se determinó siguiendo los valores predeterminados por la Norma Sismo Resistente colombiana, esto principalmente porque no hay evidencia del metrado de cargas efectuado al momento de generar el diseño inicial de la edificación. Dichas cargas quedaron de la siguiente manera:

$$CV = 2.0 \text{ KN/m}^2$$

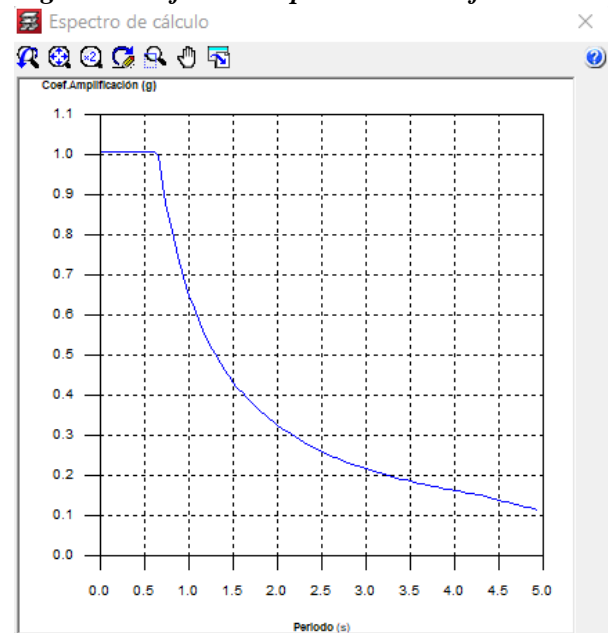
$$CM = 1.8 \text{ KN/m}^2$$

El programa de manera automática se encarga de proporcionar el análisis del peso propio de la edificación, teniendo en cuenta el

dimensionamiento de los elementos estructurales que lo componen, en este caso, consta de vigas, columnas, muros estructurales para el ascensor y un entre piso forjado en viguetas de concreto.

Estos elementos se asignaron en el modelo con la geometría dada en los planos arquitectónicos recuperados gracias a la administración del edificio. La asignación de las cargas sísmicas, también son inducidas mediante el programa gracias a la designación de la ciudad donde se ejecuta el proyecto, el tipo de perfil de suelo con el que se cuenta, los valores correspondientes para las irregularidades según la NSR-10 y el tipo de sistema usado para la edificación. Con estos datos es posible crear el espectro de diseño con el cual interactuará la edificación, teniendo en cuenta su periodo fundamental y el coeficiente de amplificación, justo como se evidencia en la siguiente figura:

Figura 1 Gráfica del espectro de la edificación.



Fuente: Tomado y modificado de CYPECAD.

Verificación del estado de las columnas según el programa.

Una vez realizado el modelo con la asignación de sus elementos estructurales, materiales, condiciones del terreno, cargas, el tipo de sistema estructural y las demás consideraciones, se procede a ejecutar el cálculo matemático en el programa, aquí se hace un supuesto para verificar el funcionamiento en conjunto de todo el sistema estructural del edificio Parque Santander cuando actúa bajo los casos de carga, combinaciones de diseño y efectos sísmicos teniendo presente la reglamentación establecida en

la presente versión de la norma sismo resistente colombiana.

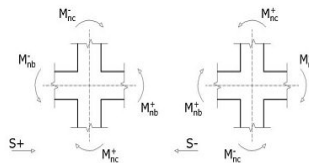
Dentro de los resultados obtenidos se logra evidenciar problemáticas en el funcionamiento de las columnas, para efectos de una mejor explicación se seleccionó una sola columna para explicar el análisis hecho por el programa, las otras columnas presentan una problemática parecida para lo cual se dispone una solución similar, aunque no igual, en una escala real cada caso deberá ser estudiado, cuantificado y solucionado conforme se disponga.

Los resultados del cálculo especifican lo siguiente:

Figura 2 Valoración columna fuerte viga débil.

Resistencia mínima a flexión de columnas. (NSR-10, Título C)

Las resistencias a flexión de las columnas deben satisfacer la ecuación (Artículo 21.6.2.2):
Para este caso, resulta más desfavorable el esfuerzo axial máximo: $N_d = 755.43 \text{ t}$.



$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \cdot \sum M_{nb}$$

Donde:

$\sum M_{nc}$: Suma de los momentos nominales a flexión de las columnas.
 $\sum M_{nb}$: Suma de los momentos resistentes nominales a flexión de las vigas.

$$114.34 \text{ t}\cdot\text{m} \geq 130.74 \text{ t}\cdot\text{m} \quad \times$$

Fuente: Tomado y modificado de CYPECAD.

En el detalle de la NSR-10, justo en **CR21.6.2- Resistencia mínima a la flexión de columnas**. Se describe la posibilidad de presentar problemáticas severas en el funcionamiento de una edificación cuando las columnas tienden a la fluencia tras ser parte del sistema de resistencia frente a los fenómenos sísmicos. Es decir, no se dispone del estándar columna fuerte viga débil, cuando se tiene un caso de estos donde las columnas poseen una menor resistencia que las vigas en la unión de un nodo se da paso al debilitamiento estructural, generando fluencia por flexión en todas las columnas de un mismo piso lo cual se desataría en un colapso inevitable en toda la estructura.

Se especifican junto al parámetro anterior las consideraciones estructurales que deberán tener las vigas y losa de entre piso para evitar el incremento de flexiones en estas uniones en los nodos viga columna, pero al no poseer un detalle avanzado del funcionamiento en estos puntos del edificio Parque Santander se omiten dichas consideraciones.

Cuando un nodo de unión viga-columna no cumpla con lo descrito anteriormente se exige despreciar cualquier contribución positiva en las columnas, pero si se deberá tener en cuenta cualquier contribución negativa en las mismas. Es decir, cualquier intervención en el aumento de la

resistencia de las columnas deberá ser considerado justo como se exige en el título A de la NSR-10, donde se verifique si dicho aumento mejora o empeora los fenómenos de torsión en la edificación.

Conclusiones.

-El resultado del laboratorio corrobora un aumento en la resistencia a la compresión en las muestras ensayadas, lo cual da indicios de que al implementar el reforzamiento estructural con fibra de carbón se daría cumplimiento a la reglamentación establecida en el código de diseño sismo resistente, mejorando la resistencia en las columnas justo en los nodos de unión viga-columna, evitando la presencia de fenómenos torsionales generados por efectos sísmicos, tal como lo considera el modelo matemático.

-La realización de un modelo matemático se considera adecuada como guía para comprender el funcionamiento de una edificación cuando está trabajando ante fenómenos de diseño, se debe especificar que los modelos sólo deben funcionar en este sentido de investigación, un ingeniero civil deberá contar con las capacidades necesarias para justificar el accionar del programa para poder generar una serie de soluciones acorde a la problemática abordada, llevando consigo todas las consideraciones establecidas en los códigos de diseño nacionales.

-La fibra de carbón resulta ser una solución óptima para el reforzamiento estructural en el edificio Parque Santander, sus cualidades tanto en los laboratorios, cálculos teóricos y consideraciones en la normativa colombiana de diseño sismo resistente se establecen viables, además cuenta con una facilidad para instalación y mantenimiento, siendo una alternativa poco invasiva en el edificio teniendo presente su grado de importancia en la ciudad, la cantidad de personas que laboran allí, y la

dificultad de poder hacer un método tradicional de reforzamiento.

Referencias

Estrada, M., & Yoplac, J. (2019). Evaluación técnica y económica de reforzamiento estructural en vigas de concreto armado con fibras de carbono en el edificio multifamiliar Huaraz Breña - Lima 2019 [Tesis Para Optar El Título Profesional De Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio de la Universidad Ricardo Palma. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2645>

Silva, P. (2016). Refuerzo Estructural con Fibra de Carbono [Tesis de grado presentada como requisito Para la obtención del título de Ingeniería Civil, Universidad San Francisco de Quito USFQ]. Repositorio institucional USFQ. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/5412>

Mosquera, J. (2007). Reforzamiento de puentes de concreto con fibras de carbono [Tesis Para Optar El Título Profesional De Ingeniero Civil, Universidad de los Andes]. Repositorio institucional Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/23482>

Maldonado, D., & Durán, J. (2013). Metodologías para la evaluación y reforzamiento estructural de edificios de hormigón armado mediante muros de corte y fibras de carbono. [Disertación de grado previo a la obtención del título de ingeniero civil, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6069>

Alegre, G. (2017). Estudio De La Influencia En La Resistencia Y Ductilidad De Las Fibras De Carbono Utilizadas Como Reforzamiento De Vigas De Concreto Armado. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del

Perú]. Repositorio Institucional PUCP.
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9254>

Castro, C. (2019). Reforzamiento Estructural Con Fibra De Carbono Como Alternativa Económica Para Aumentar La Resistencia A La Compresión De Las Columnas En La Galería Comercial Fullmarket. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22464?show=full>

American Concrete Institute. (2017). Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. (ACI 440 2R).

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente, NSR-10. Bogotá, AIS, 2010.

American Society for Testing Materials. (2010). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. (ASTM C39/C 39M – 01).

Association for Testing Materials. (2014). Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. (ASTM D3039 M).

Association for Testing Materials. (2021). Standard Test Methods for Testing of Metallic Materials, (ASTM E08M).

CYPE Ingenieros, S.A. (2018). CYPECAD-v2018.m. En:
<https://info.cype.com/es/software/cypecad/>