



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**REFORZAMIENTO CON BANDAS Y ANCLAJES DE FIBRA DE
CARBONO TYFO SCH-41 EN COLUMNAS DE SECCIÓN
RECTANGULAR**

**PRESENTADA POR
HIMLER IAN MOSER CAMPOS SEIJAS**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

LIMA – PERÚ

2018



CC BY-NC-ND

Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

**FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**REFORZAMIENTO CON BANDAS Y ANCLAJES DE FIBRA DE
CARBONO TYFO SCH-41 EN COLUMNAS DE SECCIÓN
RECTANGULAR**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

CAMPOS SEIJAS, HIMLER IAN MOSER

LIMA – PERÚ

2018

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación a mis padres Petronila y Héctor. A mis queridas, tías Selmita y Yolanda, quienes son los merecedores de todos mis éxitos, por su incansable dedicación, ayuda y amor incondicional.

A Dios, quien me permitió alcanzar esta meta y es la fuente de iluminación de nuestras vidas y guía en todo momento.

A todos mis amigos y familiares, quienes me han ofrecido su apoyo en los buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza necesaria para salir adelante.

Asimismo, agradezco a mis padres y tías quienes son mi mayor fuente de inspiración y ejemplos a seguir.

Agradezco a los profesores que me inculcaron sus conocimientos impartidos durante el tiempo de mis estudios de pregrado, lo que me permitió centrar las bases para mi desarrollo profesional

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCCIÓN	ix
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Situación problemática	1
1.2 Definición del problema	2
1.3 Formulación del problema	2
1.4 Objetivo general y específicos	3
1.5 Importancia de la investigación	3
1.6 Viabilidad de la investigación	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes de la investigación	5
2.2 Bases teóricas	6
2.3 Definición de términos básicos	15
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	17
3.1 Tipo de investigación	17
3.2 Diseño de la investigación	18
3.3 Variables	18
3.4 Caso de la investigación	21

3.5 Técnicas de la investigación	21
3.6 Instrumento de recolección de datos	21
CAPÍTULO IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	22
4.1 Contrastación de hipótesis	22
4.2 Desarrollo del modelo para la investigación	25
CAPÍTULO V. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	27
5.1 Análisis de la influencia del reforzamiento con anclajes y bandas de fibra de carbono	27
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN	30
6.1 Discusión de los resultados de la investigación	30
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	32
FUENTES DE INFORMACIÓN	33
ANEXOS	35

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 01: Propiedades del compuesto laminar Tyfo ® SCH-41	06
Tabla 02: Propiedades del epóxico Tyfo ® S	07
Tabla 03: Factor de reducción ambiental	09
Tabla 04 Cuadro de variable dependiente	18
Tabla 05 Cuadro de variable independiente	19

Tabla 06: Características de columnas rectangulares	23
Tabla 07: Variación de capacidad de carga axial	26
Tabla 08: Comparación del confinamiento por refuerzo con fibra de carbono	27
Tabla 09: Incremento de capacidad de carga axial en elementos Reforzados	28

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal estudiar la influencia de bandas y anclajes de fibra de carbono en columnas de concreto armado de sección rectangular. Razón por lo que se analizaron columnas de concreto armado reforzadas con acero y con fibras de carbono Tyfo SCH-41, manteniendo la cuantía de acero, pero variando las dimensiones de las columnas. Se observaron los diferentes comportamientos para cada situación mediante diagramas momento – curvatura, los resultados fueron comparados y se determinó la influencia del uso de fibra de carbono Tyfo SCH-41 con la finalidad de mejorar la ductilidad y la resistencia en columnas de concreto armado de sección rectangular. Se finaliza con las conclusiones y recomendaciones obtenidas del análisis empleado, brindando las consideraciones básicas para el uso de bandas y anclajes de fibra de carbono Tyfo SCH-41.

Palabras claves: anclajes, fibra de carbono, Tyfo SCH-41

ABSTRACT

The main objective of this project is to study the influence of carbon fiber bands and anchors on rectangular section reinforced concrete columns. Therefore, reinforced concrete columns with steel and carbon fibers Tyfo SCH-41 will be analyzed, maintaining the amount of steel, but varying the dimensions of the columns. The different behaviors for each situation will be analyzed using moment-curvature diagrams, the results will be compared and the influence of the use of Tyfo SCH-41 carbon fiber will be determined in order to improve ductility and resistance in reinforced concrete columns of rectangular section.

It concludes with the conclusions and recommendations obtained from the analysis used, providing the basic considerations for the use of Tyfo SCH-41 carbon fiber bands and anchors.

INTRODUCCIÓN

El reforzamiento con fibra de carbono (reforzamiento) es una metodología empleada con frecuencia en el ámbito nacional, con la finalidad de dotar a la estructura carga mayor a la inicial ante posibles solicitudes de incremento de carga, especialmente las columnas forman parte importante de la estructura en general lo que con lleva a que estos elementos sean preparados para poder soportar este incremento de carga

El desarrollo de la presente tesis busca dar un mayor alcance de cómo el reforzamiento puede dotar a la estructura de una mayor capacidad de carga al implementar bandas y anclajes a su geometría.

La tesis comprende seis [6] capítulos. En el primero, se describe el planteamiento del problema y el desarrollo de las pautas de la investigación. En el segundo, se trata sobre la información básica que se debe conocer para poder desarrollar reforzamiento con bandas y anclajes de fibra de carbono. En el tercero, se analiza la metodología empleada para el desarrollo de la presente. En el cuarto, se describen las hipótesis o línea de investigación las que se deben verificar, y a su vez, se aborda el desarrollo del caso de estudio. En el quinto, se presentan los resultados obtenidos en la investigación y en el sexto capítulo, se analizan los resultados obtenidos en la investigación de la presente tesis.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

Las columnas como parte de la edificación son elementos estructurales de gran importancia que permite sostener principalmente cargas de compresión, que al detectarse un problema patológico por resolver a causa de factores, por ejemplo, la variación del cambio de uso para la estructura, lo que podría presentar un incremento de carga tendiendo a expandirse lateralmente siendo necesario mejorar el confinamiento de la columna para controlar su deformación, por consiguiente se usa los métodos de reforzamiento con polímeros reforzados para resolver el problema patológico descrito.

Los reforzamientos aplicados con material compuesto de polímeros de fibra reforzada es uno de los métodos más recomendados en columnas de concreto armado, por la elevada rapidez en la aplicación y puesta en servicio, permitiendo a la estructura poder incrementar su capacidad de carga, ductilidad y rigidez.

Los reforzamientos con material compuesto de fibra reforzada, se subdivide en tres tipos de materiales las cuales son, fibra de aramida, fibra de vidrio, fibra de carbono. La fibra de carbono, de los tres materiales mencionados, es el que se utiliza debido a que su deformación sometida a tensión es muy alta.

En términos generales, el reforzamiento con fibra de carbono aplicado en columnas de concreto armado, es un método utilizado frecuentemente para mejorar el confinamiento de la estructura.

1.2 Definición del problema

En el Perú, el método de reforzamiento con fibra de carbono en columnas de concreto armado es muy utilizado cuando las edificaciones cambian de uso, sin embargo; al ser las columnas de concreto armado de diferentes geometrías (cuadradas, circulares, rectangulares) la mejora de su resistencia de carga por confinamiento no es la misma de acuerdo a cada tipo de geometría.

Actualmente, por estudios realizados se tiene conocimiento como se puede mejorar el desempeño de carga por confinamiento en columnas de secciones circulares y cuadradas; para las cuales se tienen varios modelos numéricos que permite mejorar su comportamiento por aumento de carga a la compresión; por lo que, aplicando esos estudios realizados se podrá elaborar una investigación que nos permita conocer de forma cuantitativa la influencia de reforzamiento con fibra de carbono en columnas de concreto armado de secciones rectangulares.

En el mercado actual, se cuentan con distintos fabricantes que proveen fibras de carbono como material de reforzamiento, sin embargo; con fines prácticos de investigación se eligió trabajar con 01 fabricante de fibra de carbono, nombre del fabricante es Fyfe, empresa pionera a nivel mundial en la industria del reforzamiento y con más de 40 patentes registradas, y el nombre del material es fibra de carbono Tyfo SCH-41, material utilizado en reforzamiento a nivel nacional.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general:

¿De qué manera los anclajes y bandas fibra de carbono tyfo sch-41 se relaciona con la mejora en el incremento de la resistencia columnas de concreto armado de secciones rectangulares?

1.3.2 Problemas específicos:

¿Cómo el refuerzo con bandas de fibra de carbono tyfo sch-41 influye en el análisis y diseño para columnas de concreto armado para secciones rectangulares?

¿Cómo el refuerzo con anclajes de fibra de carbono tyfo sch-41 influye en el análisis y diseño para columnas de concreto armado para secciones rectangulares?

¿De qué manera los anclajes y bandas de fibra de carbono tyfo sch-41 mejoran el confinamiento en columnas de concreto armado para secciones rectangulares?

1.4 Objetivo general y específicos

1.4.1 Objetivo general:

Identificar la relación del refuerzo con bandas y anclajes fibra de carbono tyfo sch-41 con la mejora en el incremento de la resistencia en columnas de concreto armado de secciones rectangulares.

1.4.2 Objetivos específicos:

Demostrar la influencia del refuerzo con bandas de fibra de carbono tyfo sch-41 en el análisis y diseño en columnas de concreto armado para secciones rectangulares.

Demostrar la influencia del refuerzo con anclajes de fibra de carbono tyfo-sch41 en el análisis y diseño en columnas de concreto armado para secciones rectangulares

Determinar la mejora en el confinamiento con el refuerzo de anclajes y bandas fibra de carbono tyfo sch-41 en columnas de concreto armado para secciones rectangulares.

1.5 Importancia de la investigación

El desarrollo del presente trabajo permitió abrir una nueva línea de investigación para los estudiantes de pre grado de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de nuestra casa de estudios, y también de estudiantes de pre grado; permitiendo un mejor desarrollo de prácticas en reforzamiento estructural con fibra de carbono.

El estudio de la influencia de reforzamiento con fibra de carbono en columnas de secciones rectangulares, permitirá conocer de forma cuantitativa el

incremento de su resistencia y capacidad de carga cuando se presenta la necesidad de hacer reforzamiento de la estructura.

1.6 Viabilidad de la investigación

El proyecto esta complementado con una adecuada sinergia entre las características, condiciones técnicas y operativas para asegurar el cumplimiento de sus metas y objetivos. Por un lado, la empresa Top Consult Ingeniería SAC, y la institución Asociación Capitulo Peruano del Instituto Americano del Concreto (ACI-PERU) fue quien brindó la información técnica actualizada para realizar el análisis y diseño de la presente investigación

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Actualmente, las investigaciones que se tiene con respecto a reforzamiento con fibra de carbono en columnas de secciones rectangulares, es muy reducida; puesto que, por la complejidad de las variables que se consideran para su diseño conlleva hacer otros estudios con modelos más simples como son las columnas (pilares) de secciones circulares.

En los siguientes párrafos se citan estudios de los últimos 10 años relacionado al reforzamiento con fibra de carbono en columnas, encontrándose que en el ámbito nacional no se tiene referencias de reforzamiento en columnas, pero sí en vigas de concreto armado. Respecto al ámbito internacional, se tienen estudios que comprueban la importancia del uso de fibra de carbono para los reforzamientos estructurales.

En el ámbito nacional (correr a la izquierda):

Alegre, G.; (2017), investigó: “[...] el comportamiento elástico e inelástico de vigas de concreto armado reforzadas con fibra de carbono sometidas a flexión. Donde analizo el comportamiento a cuantías diferentes tanto en vigas reforzadas y sin reforzar”.

Baca, E; Espinoza, J; (2009), sostienen que: “[...] su investigación tuvo como objetivo verificar experimentalmente el tipo de falla, y compararlo con los valores teóricos de diseño, donde las variables a usar fueron el número de capas, longitud de anclaje y sistema reforzamiento”

En el ámbito internacional

Mastroviti, A; Pasquale, L.; (2017), recomienda: “[...] aplicar las recomendaciones de normativa ACI 440-2R para diseño de refuerzo con fibra de carbono. Porque permite la mejora del comportamiento de columnas e incrementa su confinamiento”, (p. 55).

Oliván, M.; Badillo, H.; Echavarría, J.; et al.; (2011), exponen: “[...] sus resultados experimentales orientados al comportamiento mecánico de cilindros y vigas de concreto sometidas a cargas con refuerzo de fibra de carbono para identificar y evaluar sus posibles ventajas en términos de resistencia y rigidez- peso”, (P.02).

Mastroviti, A; Pasquale, L., indica: “[...] la recopilación de información sobre investigaciones anteriores sobre refuerzo en columnas mediante confinamiento. Centrando su investigación al análisis del refuerzo en sección rectangular con carga centrada”, (P.01).

Duran, C. I.;(2008), señala: “[...] que los resultados obtenidos mostraron un incremento de la capacidad de carga y resistencia en zonas laterales del testigo de concreto reforzado con fibra de carbono.” (Resumen).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Reforzamiento con anclajes y bandas de fibra de carbono Tyfo SCH-41

2.2.1.1 Anclajes y bandas de fibra de carbono Tyfo SCH-41

El material, que es un compuesto, Fyfe-LA, (2015), “Tyfo® SCH-41 está constituido por el epóxico Tyfo® S y el tejido de refuerzo SCH-41, el cual cuenta con la certificación internacional vigente. La fibra de carbono, Tyfo® SCH-41, es un tejido exclusivo, unidireccional de fibra de carbón con tejido transversal de fibra de vidrio para obtener resistencia adicional y estabilidad del tejido durante la instalación. El material de carbón se orienta en la dirección 0°. El epóxico Tyfo® S es una matriz de dos componentes”, (Ficha técnica, 01).

El tejido Tyfo® SCH-41, viene en presentación en cajas en forma de rollo de 0.60 x 91.4 m, la resina Tyfo® SCH-41. El epóxico Tyfo® SCH-41, viene en presentaciones de cilindro de 55 GL o baldes de 5 GL.

Del laminado de fibra de carbono o tejido, se obtiene los anclajes y bandas de fibra de carbono de acuerdo a las dimensiones dadas para el reforzamiento.

2.2.1.2 Propiedades de fibra de carbono Tyfo ® SCH-41

La fibra es un compuesto que tiene propiedades específicas, que la hace diferente de otros materiales compuestos. En el caso del Compuesto Tyfo ® SCH-41, sus principales propiedades son las siguientes:

Tabla 01: Propiedades del compuesto laminar Tyfo ® SCH-41

Propiedades del compuesto laminar			
Características	Método ASTM	Valor típico de prueba	Valor general de diseño
Resistencia a tensión máxima en la dirección primaria de la fibra (MPa)	D-3039	986	834
Elongamiento en la ruptura	D-3039	1.00%	0.85%
Módulo de tensión (MPa)	D-3039	95.8 GPa	82.0 GPa
Espesor nominal del laminado	D-1777	1.00 mm	1.00 mm

Elaboración: el autor

Tabla 02: Propiedades del epóxico Tyfo® S

Propiedades del epóxico		
<i>Curado 72 horas, post-curación 60°C</i>		
Características	Método ASTM	Valor típico de prueba
Temperatura Tg (°C)	D-4065	82
Resistencia a tensión (Pa)	D-638 Tipo 1	72.4 MPa
Módulo de elasticidad (Pa)	D-638 Tipo 1	3.18 GPa
Porcentaje de Elongamiento	D-638 Tipo 1	5.00 %
Resistencia a flexión (Pa)	D-790	123.4 MPa
Módulo de flexión (Pa)	D-790	3.12 GPa

Fuente: Ficha técnica del fabricante

2.2.1.3 Características y ventajas de fibra de carbono Tyfo®

SCH-41

Los compuestos contribuyen con la mejora de las características de los elementos al incrementar su resistencia; razón que le hace ser usado frecuentemente como material de reforzamiento estructural. En el caso del compuesto Tyfo® SCH-41 este cumple satisfactoriamente con las características anteriormente descritas.

Entre las ventajas del compuesto Tyfo® SCH-41, tenemos las siguientes:

- Largos periodos de aplicación
- Curado al ambiente
- 100% Libre de solventes
- Los rollos se pueden cortar a las dimensiones deseadas
- Rigidez axial superior al resto, de acuerdo a estudio comparativo indicados en Guía ACI-440-2R-08

Fyfe-LA (2015), Ficha técnica, 01.

2.2.1.4 Aplicación de fibra de carbono

Su aplicación como material para refuerzo estructural, ha influenciado su uso en muchas industrias, lo que permite que se le dé diversas aplicaciones, con la finalidad de ser comercializados en todo el mundo. Entre las diversas industrias que existen, podemos encontrar la aplicación de fibra de carbono en las siguientes:

- Industria aeronáutica
- Industria naval
- Industria del deporte
- Industria de la música
- Industria de las telecomunicaciones
- Industria militar

2.2.2 Reforzamiento de anclajes y bandas de fibra de carbono

2.2.2.1 Filosofía de Diseño

En la actualidad contamos con diversos reglamentos de reforzamiento con fibra de carbono alrededor del mundo, que contemplan como se debería de diseñar; sin embargo, para el caso en Perú el reglamento internacional que cuenta con mayor aceptación es el ACI 440, para reforzamiento con fibra de carbono, y el reglamento ACI 318-S, análisis estructural de concreto armado.

Duran, C. I.;(2008), “El reglamento del ACI, plantea una filosofía de diseño con base en los niveles de esfuerzo y deformación que sufren las fibras con el concreto y el equilibrio de fuerzas en estos elementos; así mismo, plantea ecuaciones en las cuales se pone énfasis en las características a tensión de las fibras y no en las fibras que trabajan sometidas a compresión” (p. 12).

Duran, C. I.;(2008), “En lo que se refiere a las bandas pegadas superficialmente a elementos, que son las estudiadas en éste trabajo, la forma de diseño sigue más o menos los mismos lineamientos considerando también efecto de la adherencia con el concreto, principalmente en los puntos donde inician o terminan las bandas de fibra” (p. 12).

Duran, C. I.;(2008), “En reglamentos europeos, el uso de los materiales compuestos como método de rehabilitación ha sido empleado desde hace varios años; por tanto, se han obtenido fórmulas basadas en la experimentación, que al igual que las empleadas por el ACI están desarrolladas a partir de la compatibilidad de esfuerzos y deformaciones de los materiales y el equilibrio de fuerzas externas e internas; las expresiones planteadas en estos reglamentos no serán analizadas ni empleadas en este estudio”, (p. 12).

2.2.2.2 Consideraciones generales de diseño

Consideraciones para selección de recubrimiento

Es muy importante tener una adecuada selección del grosor y recubrimiento al momento de diseñar el reforzamiento con fibra de carbono, y este, a su vez, debe cubrir las necesidades de resistencia solicitada, así como su preservación a la exposición del medio ambiente y posibles impactos físicos. Tener un adecuado recubrimiento permitirá retardar la degradación de las propiedades mecánicas del compuesto de fibra de carbono.

Es muy importante, realizar inspecciones periódicas al compuesto de fibra de carbono, para asegurar que el refuerzo siga cumpliendo sus propiedades mecánicas de diseño inicial. A continuación, se indican los factores de reducción sugeridos para controlar los efectos ambientales, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 03: Factor de reducción ambiental

Condición Exposición	Tipo de refuerzo	Factor de reducción ambiental C_E
Interior	Fibra de carbono	0.95
Exterior (puentes, calles, estacionamientos)		0.85
Condición ambiental agresiva (altas temperaturas, humedad, ambiente marino, etc.)		0.85

Fuente: ACI 440

Propiedades de los materiales de diseño

Las reducciones de las propiedades del compuesto de fibra de carbono, normalmente no son tomadas en cuenta a una exposición al medio ambiente a un largo plazo, el no tomar en cuenta esto podría conllevar a que la resistencia a la tracción inicial de diseño no sea igual a la que se pueda requerir con el pasar del tiempo.

El impacto de exposición al medio ambiente debe ser siempre considerado inicialmente al momento de realizar el diseño del refuerzo. Para ello es importante conocer el factor de reducción de las principales propiedades del compuesto, tales como: resistencia a la tracción y fatiga.

Requisitos Generales Norma E-030

Se debe de seguir los principios de diseño sismo-resistente indicados en la Norma Peruana E-030, la cual acepta que las estructuras mantengan su comportamiento inelástico con el fin de soportar importantes solicitudes sísmicas severas.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, (2006), indica: "El análisis podrá desarrollarse usando las solicitaciones sísmicas reducidas con un modelo de comportamiento elástico para la estructura"

2.2.3 Metodología de aplicación de refuerzo de anclajes y bandas de fibra de carbono Tyfo® SCH-41

La metodología de aplicación de refuerzo de anclajes y bandas de fibra de carbono Tyfo® SCH-41, debe de realizarse de la siguiente manera:

Tratamiento de la superficie

En este proceso se realiza el tratamiento de la superficie de concreto, para generar rugosidad y porosidad con el fin de mejorar la adherencia, ello con el uso de amoladoras con disco, de este modo se minimizarán las imperfecciones del concreto (juntas de encofrado, rugosidad de concreto etc.) y así poder tener una superficie adecuada para la colocación y adherencia de las fibras.

Inspección de las zonas de contacto.

Se debe verificar los siguientes aspectos:

- De encontrarse fisuras y defectos en el concreto en el dónde se va a aplicar el reforzamiento, estos defectos deberán ser reparados con pasta epoxica preparada con resina Tyfo® S más pasta epoxica, para fisuras o defectos que se encuentran fuera del refuerzo se aplicará otro procedimiento el cual se detallará en el siguiente paso.

- Verificar si los trabajos de reparación y resane han sido completados y que el sustrato reparado este completamente seco y libre de protuberancias o cavidades.

- La superficie de la estructura debe tener condiciones de limpieza adecuadas sin presencia de partes sueltas, sin derrames de líquidos u otras materias extrañas.

- La superficie a ser recubierta debe ser uniforme. Por lo que debe ser verificada con nivel, puede ser regla metálica, para comprobar su planicidad. La tolerancia máxima permitida es de 10mm para una longitud de 2mts. o 2.5mm para una longitud de 50cms.

- La temperatura ambiente y del concreto para proceder a los trabajos de instalación debe estar dentro de los siguientes límites. 4°C (39°F) < T° < 38°C (100°F).

Perforación en columna para instalación de anclaje de fibra de carbono Tyfo ® SCH-41

Se procede con la perforación con taladro percutor, en los puntos donde se instala el anclaje de fibra de carbono Tyfo ® SCH-41. El diámetro de perforación es 1/8 mayor que el diámetro del anclaje. Al terminar con la perforación, se pasa al procedimiento de limpieza del orificio con compresora de aire

Preparación e instalación de anclaje de fibra de carbono Tyfo ® SCH-41

Se procede con la preparación de los anclajes, para lo cual se utilizará el tejido unidireccional de fibra de carbón siendo este cortado en pequeños filamentos de acuerdo a las dimensiones requeridas de diseño del reforzamiento. Obtenido el espesor y longitud indicada de reforzamiento, con los filamentos del tejido unidireccional de fibra de carbono Tyfo ® SCH-41, esta será saturada con resina epoxica Tyfo ® S, para posteriormente ser instaladas en los orificios previamente realizados.

Antes de la aplicación de los anclajes, se debe verificar que los orificios se encuentran totalmente libres de polvo.

Aplicación del imprimante

Antes de la colocación del Imprimante Tyfo ® S se debe eliminar el polvo generado por el ambiente, esto se puede realizar mediante una compresora inyectando chorros de aire, y/o mediante el aspirando de la superficie.

El imprimante Tyfo ® S, se mezcla completamente por 5 minutos con un mezclador de poca velocidad 400-600 RPM hasta mezclar uniformemente.

La imprimación del sistema FYFE se aplica en todas las zonas de la superficie del concreto donde debe colocar el sistema. La imprimación se aplica uniformemente sobre la superficie preparada, permitiendo que se dé el curado adecuado conforme lo indicado por el fabricante., antes de la aplicación de los materiales subsiguientes.

Se aplica una capa primaria de epóxico Tyfo® S, para luego permitir curar un mínimo de una hora, antes de la aplicación de la tela saturada (impregnada) con epóxico.

Masillado de superficie con pasta epoxica

Se rellena con la pasta epoxica cualquier superficie desigual con el epóxico espesado del sistema tyfo® ws (tyfo® s + cab-o-sil ts-720), se debe mezclar hasta conseguir uniformidad.

Todos los componentes resinosos son mezclados en la proporción de mezcla prescrita por el Fabricante, hasta conseguir un mezclado completo y uniforme de los componentes. Solamente se usa la masilla (o relleno) del sistema FYFE para rellenar los huecos en el substrato y alisar las discontinuidades de la superficie antes de la aplicación de otros materiales. Antes de continuar la aplicación, se lija los bordes rugosos o las líneas de la llana de la masilla curada.

Los tiempos óptimos de aplicación para trabajar la mezcla varían en función de la temperatura del ambiente, así para 10 °C se tiene una duración del orden de 95 minutos y para 32 °C una duración de 15 minutos.

Antes de la aplicación de los materiales subsiguientes, se deja que la masilla quede completamente curada según las instrucciones de aplicación indicadas por el Fabricante.

Aplicación de la fibra saturada

Se aplica con rodillo la Resina (Saturante) de modo que garantice que cuando se aplique el refuerzo de fibra se sature totalmente.

Las fibras de refuerzo se colocan con suficiente resina saturante para conseguir la saturación total de las fibras.

La fibra tiene que estar completamente saturada con epóxico para permitir una adecuada adherencia de la fibra al sustrato, quedando totalmente encapsuladas en la resina Saturante.

Los tiempos óptimos de aplicación para trabajar la mezcla varían en función de la temperatura del ambiente, así para 10 °C se tiene una duración del orden de 200 minutos y para 32 °C una duración de 15 minutos.

Aplicación del recubrimiento protector

La protección (solo si el refuerzo se encuentra expuesto a rayos ultravioletas) puede ser proporcionada por una pintura acrílica o pintura de poliuretano. La capa protectora especificada se recomienda que sea aplicada entre 24 y 72 hrs. después de la aplicación final del epóxico.

En caso se use un tarrajeo, se dejará la superficie con arena “gruesa” de cuarzo y/o silica para mejorar la adherencia con el futuro tarrajeo. Estas son recomendaciones para casos en el que el refuerzo lo necesite, para el caso de la presente investigación, no se aplicara recubrimiento protector.

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1 Resistencia

Es la capacidad con la que cuenta un elemento para soportar carga sin que esta llegue al estado de falla, en este estado la estructura no está libre de poder adquirir deformaciones temporales o permanentes.

La resistencia de una estructura puede dividirse en diferentes tipos, de acuerdo a las solicitudes que se desea conocer. Por lo que es necesario conocer los diferentes tipos de resistencia:

Resistencia requerida

Es el valor de la resistencia que se encuentra indicado en la normatividad vigente, de acuerdo al uso que se le dará a la estructura.

Resistencia nominal

Es el valor de diseño calculado, considerando las solicitudes de diseño y los límites a considerar, según los parámetros que se indique en la normatividad vigente.

Resistencia de diseño

Es el valor que se obtiene al multiplicar la resistencia nominal por un factor de reducción de acuerdo a lo que corresponda y lo que indique la normatividad vigente con respecto al: uso estructura, exposición, vida útil, entre otros.

2.3.2 *Rigidez*

Es el valor que se da a la capacidad de un material al evitar deformarse. La representación de la rigidez del material se da mediante el Modulo de Elasticidad o de Young (E), un valor mayor de E nos indica que su deformación es menor con respecto a otro de menor valor.

2.3.3 *Ductilidad*

Es el valor que se le da un material a su capacidad de poder seguir soportando deformaciones después de haber alcanzado su estado de limite elástico, sin llegar a romperse.

2.3.4 *Reforzamiento estructural*

Es el conjunto de técnicas y/o métodos que se aplican para desarrollar un sistema que permita aumentar en la estructura su capacidad de carga o en todo caso recuperar su capacidad de carga inicial, la cual pudo verse afectada.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

La metodología para el estudio de reforzamiento con bandas y anclajes de fibra de carbono de columnas de concreto armado para secciones rectangulares, tuvo como finalidad comparar el incremento de su resistencia por confinamiento con respecto a una columna sin el refuerzo con bandas y anclajes de fibra de carbono; por lo tanto, se estableció la influencia en el desempeño de la estructura frente a cargas sometidas.

Por lo consiguiente, permitió conocer el porcentaje de influencia por la aplicación de anclajes y bandas de fibra de carbono en columnas de concreto armado para secciones rectangulares. Por las razones descritas, el tipo de estudio fue:

Cuantitativo: Por el uso de tablas, gráficos.

Comparativo: Tomando como base los resultados obtenidos, se realizó una comparación para determinar el porcentaje de influencia de anclajes y bandas de fibra de carbono en columnas de concreto armado de secciones rectangulares.

Retrospectivo: Debido a que la información obtenida se captó del pasado y se analiza en el presente.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño utilizado para el presente estudio fue transversal porque se recolectaron datos en un solo tiempo único, con la finalidad de tener una descripción más optimiza de las variables lo que permitió analizar su influencia en un momento dado, del tipo correlacionar porque se permitió conocer el comportamiento de una variable con respecto a las demás variables

En el desarrollo del estudio se tomó una clase no experimental por el motivo que no se manipuló ni se alteró las variables, ni alterar deliberadamente las variables, y retrospectivo porque la información fue adquirida en el pasado y analizada en el presente.

3.3 Variables

Para el desarrollo del presente estudio, se identificaron las variables dependientes e independientes. Siendo la variable dependiente la influencia en el incremento de la resistencia en columnas de concreto armado de secciones rectangulares, porque estas dependen de las propiedades de la sección, las características principales del material para la elaboración del diseño del reforzamiento.

3.3.1 Variable Dependiente

Tabla 04: Cuadro de variable dependiente

Variable	Sub-Variable	Indicadores	Indices	Instrumentos	Item
Influencia en el incremento de la resistencia en columnas de concreto armado	Mejora del confinamiento en columnas de concreto armado de secciones rectangulares	Material	Ag (área bruta, cm ²)	Hoja de cálculo	1
			E_{fu} (deformación unitaria última fibra carbono)	Hoja de cálculo	2
			F1 (máximo esfuerzo confinamiento)	Hoja de cálculo	3
			F_{cc} (esfuerzo por compresión del concreto por confinamiento)	Hoja de cálculo	4
			ϕP (capacidad original de carga axial)	Hoja de cálculo	5
			ΔP_n (Incremento capacidad axial de carga)	Hoja de cálculo	6

Elaboración: el autor

3.3.2 Variable Independiente

Tabla 05: Cuadro de variable independiente

Variable	Sub-Variable	Indicadores	Índices	Instrumentos	Ítem
Reforzamiento con anclajes y bandas de fibra de carbono	Fibra de carbono tyfo sch-41	Material	Esfuerzo último de tensión (kg/cm ²)	Hoja de cálculo	1
			Deformación máxima	Hoja de cálculo	2
			Elongación máxima por delaminación	Hoja de cálculo	3
			Módulo de tensión	Hoja de cálculo	4
			Espesor de la fibra (cm)	Hoja de cálculo	5
	Propiedades de la sección	Material	Resistencia compresión (kg/m ²)	Hoja de cálculo	1
			Resistencia a la tracción	Hoja de cálculo	2
			Modulo elasticidad concreto (kg/cm ²)	Hoja de cálculo	3
			Dimensión sección (cm)	Hoja de cálculo	4
			Área refuerzo de sección (cm ²)	Hoja de cálculo	5

Elaboración: del autor

3.4 Caso de la investigación

Para el presente estudio se elaboró, con el uso de hojas de cálculo, el diseño del reforzamiento en 08 columnas de concreto armado de sección rectangular.

Como material de refuerzo, en columnas de concreto armado, se optó por el uso de fibra de carbono tyfo sch-41.

3.5 Técnicas de la investigación

Para el presente estudio se implementó la Estadística Descriptiva, con la finalidad de recolectar, clasificar, analizar y representar los datos obtenidos; en nuestro caso mediante el uso de hojas de cálculo para los diseños de refuerzo a elaborar.

La descripción de los datos se realizó desarrollando tablas y gráficos (histogramas, gráficas de barras).

3.6 Instrumento de recolección de datos

Estuvo constituido en la construcción de hoja de cálculo para el diseño del refuerzo con fibra de carbono. Lo que permitió analizar los diferentes indicadores de las variables involucradas en el estudio.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Contrastación de hipótesis

4.1.1 Hipótesis general:

Hipótesis alterna (HA)

El refuerzo con anclajes y bandas de fibra de carbono tyfo sch-41 mejora la resistencia entre 15 - 35% en columnas de concreto armado de secciones rectangulares

Hipótesis nula (HN)

El refuerzo con anclajes y bandas de fibra de carbono tyfo sch-41 no mejora la resistencia en columnas de concreto armado de secciones rectangulares

4.1.2 Hipótesis específicas:

Hipótesis específica 1

Hipótesis alterna (HA)

El refuerzo con anclajes y bandas de fibra de carbono tyfo sch-41 mejora la capacidad de carga entre 15 - 35% en columnas de concreto armado de secciones rectangulares

Hipótesis nula (HN)

El refuerzo con anclajes y bandas de fibra de carbono tyfo sch-41 no mejora la capacidad de carga entre 15 - 35% en columnas de concreto armado de secciones rectangulares

Hipótesis específica 2

Hipótesis alterna (HA)

El refuerzo con anclajes de fibra de carbono tyfo sch-41 influyen en la mejora del confinamiento de columnas de concreto armado de secciones rectangulares aumentando su capacidad de carga.

Hipótesis nula (HN)

El refuerzo con anclajes de fibra de carbono tyfo sch-41 no influyen en la mejora del confinamiento de columnas de concreto armado de secciones rectangulares.

Hipótesis específica 3

Hipótesis alterna (HA)

El refuerzo con sistema fibra de carbono tyfo sch-41 mejora el confinamiento en columnas de concreto armado para secciones rectangulares.

Hipótesis nula (HN)

El refuerzo con sistema fibra de carbono tyfo sch-41 no mejora el confinamiento en columnas de concreto armado para secciones rectangulares.

4.1.3 Caso de investigación

En el presente estudio se desarrolló diseño de reforzamiento con fibra de carbono Tyfo sch-41 para 08 columnas rectangulares de diferentes áreas brutas de sección, considerando que todos los diseños van a tener 01 sola capa de fibra de carbono tyfo sch-41. Durante el análisis del reforzamiento se identificaron la relación que este material tiene con la mejora del confinamiento de la estructura (columna)

En la siguiente tabla, se presentan las dimensiones y características a considerar para la presente investigación:

Tabla 06: Características de columnas rectangulares

DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES (cm)	# CAPA	Con anclaje / Sin Anclaje	Ag (cm ²)
Columna 1	25x40	1	Sin anclaje	1000
Columna 2	25x50	1	Sin anclaje	1250
Columna 3	30x50	1	Sin anclaje	1500
Columna 4	30x60	1	Con anclaje	1800
Columna 5	35x50	1	Con anclaje	2100
Columna 6	35x70	1	Con anclaje	2450
Columna 7	40x70	1	Con anclaje	2800
Columna 8	50x70	1	Con anclaje	3500

Elaboración: el Autor

Nota. - para todos los casos de diseño se consideró $f'c=210$ kg/cm²

4.2 Desarrollo del modelo para la investigación

4.2.1 Propiedades del sistema Tyfo® SCH-41

Para el presente estudio, se definieron las propiedades del sistema de refuerzo Tyfo® SCH-41 a considerar para los cálculos de análisis y diseño, se consideraron las siguientes propiedades:

CE = Factor de reducción por exposición al medio ambiente

ff = Resistencia de tracción última típica de ensayo

fu= CEff = Resistencia última a tracción de diseño

EG = Módulo de elasticidad típico de ensayo

Ef = CE Eg Módulo de elasticidad de diseño

ϵ_{fu} = fu/Ef = Deformación última de la FRP

tf = Espesor de la capa

4.2.2 Cálculo del esfuerzo a compresión del concreto confinado.

Después de definir las propiedades del sistema de reforzamiento, se procedió con el cálculo del esfuerzo sometido a carga axial, con la finalidad de comprobar que la relación de esfuerzos sea como mínimo 0.08 para asegurar el confinamiento requerido. De no ser el caso, se aplicaron anclaje de fibra de carbono, para lograr el confinamiento requerido.

Los valores a considerar son los siguientes:

n = Número de capas de FRP

Ψ_f = Factor de reducción para el FRP por corte.

ϕ = Factor de reducción de corte

Ka = Factor de eficiencia de la FRP para el f'cc. (ka=1)

Kb = Factor de eficiencia de la FRP para el ϵ_{ccu} . (kb=1)

ϵ_{fe} = 0.55 ϵ_{fu} Deformación unitaria efectiva en el refuerzo de FRP

L_{anclaje} = Anclaje de fibra de carbono Tyfo® SCH-41

4.2.3 Comprobación de la deformación última a compresión.

Se compararon los resultados de deformación unitaria de la máxima compresión entre el concreto confinado y el concreto no confinado, con la finalidad de comprobar de que, con la adición del sistema de reforzamiento con fibra de carbono, la estructura tuvo un mejoramiento en su confinamiento.

Se obtuvieron, a su vez, el valor del esfuerzo a compresión del concreto confinado más el refuerzo con fibra de carbono Tyfo ®SCH-41.

Los valores considerados fueron los siguientes:

ϵ'_c = Deformación unitaria de la máxima compresión en el concreto no confinado.

ϵ_{ccu} = Deformación unitaria última de la compresión del concreto confinado

E_2 = Módulo del concreto confinado

f'_{cc} = Esfuerzo a compresión del concreto confinado en la deformación límite de 0.01

4.2.4 Cálculo de la capacidad adicional de carga axial.

Con la premisa, de que el acero no proporciona una carga axial adicional significativa a la columna, se calcularon la capacidad adicional del elemento con la adición del sistema de refuerzo con fibra de carbono Tyfo ®SCH-41, el cual nos dará el valor de incremento por carga axial.

Los valores a considerar son los siguientes:

$\phi P_n = \phi f'_c \times A_g =$ Capacidad original axial de la columna

$\phi P'_n = \phi f'_{cc} \times A_g =$ Nueva capacidad axial de la(s) capa(s) del refuerzo de FRP

$\Delta P_n = \phi P'_n - \phi P_n =$ Incremento de la carga axial de la columna reforzada con FRP

CAPÍTULO V

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Análisis de la influencia del reforzamiento con anclajes y bandas de fibra de carbono

5.1.1 Influencia por la aplicación de bandas de fibra de carbono Tyfo SCH-41

Se utilizaron 08 tipos de columnas de diferentes dimensiones, donde se consideraron 01 capa de refuerzo para cada tipo de columna. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 07: Variación de capacidad de carga axial

Columna	Dimensiones Columnas (cm)	F'c (Kg/cm ²)	F'cc (Kg/cm ²)	% Variación	Dimensiones Bandas Fibra de Carbono (cm/ml)
Columna 1	25x35	210.00	284.86	35.65	120
Columna 2	25x40	210.00	284.86	35.65	130
Columna 3	25x50	210.00	269.89	28.52	150

Columna 4	30x60	210.00	259.94	23.78	180
Columna 5	35x60	210.00	259.94	23.78	190
Columna 6	35x65	210.00	256.10	21.95	200
Columna 7	40x70	210.00	252.81	20.39	220
Columna 8	50x70	210.00	252.81	20.39	240

Elaboración: el autor

5.1.2 Influencia por la aplicación de anclajes de fibra de carbono Tyfo SCH-41

De los 08 tipos de columnas que se tomaron la presente investigación, solo 05 columnas requirieron anclaje para mejorar el confinamiento de la estructura. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 08: Comparación del confinamiento por refuerzo con fibra de carbono

Columna	Dimensiones (cm)	$f_1 / f'_c \geq 0.08$	Cumple / No Cumple	$f_1 / f'_c \geq 0.08$
Columna 1	25x35	0.114	Si cumple	n/a
Columna 2	25x40	0.114	Si cumple	n/a
Columna 3	25x50	0.091	Si cumple	n/a
Columna 4	30x60	0.076	No cumple	0.130
Columna 5	35x60	0.075	No cumple	0.130

Columna 6	35x65	0.070	No cumple	0.130
Columna 7	40x70	0.065	No cumple	0.130
Columna 8	50x70	0.065	No Cumple	0.130

Elaboración: el autor

5.1.3 Influencia por la aplicación de bandas y anclajes de fibra de carbono Tyfo SCH-41 con respecto al incremento capacidad carga axial.

De los refuerzos de los 08 tipos de columnas se presentaron incremento de la capacidad de carga axial para todos los casos. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 09: Incremento de capacidad de carga axial en elementos reforzados

Columna	Dimensiones (cm)	Capacidad carga original (ton)	Nueva capacidad carga (ton)	Incremento capacidad carga (ton)
Columna 1	25x35	197.93	268.48	70.55
Columna 2	25x40	197.93	268.48	70.55
Columna 3	25x50	309.26	397.45	88.19
Columna 4	30x60	445.34	551.22	105.88
Columna 5	35x60	445.34	551.22	105.88
Columna 6	35x65	522.65	637.36	114.71
Columna 7	40x70	606.15	729.69	123.54
Columna 8	50x70	606.15	729.69	123.54

Elaboración: el autor

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

6.1 Discusión de los resultados de la investigación

De la tabla 09, se observa porcentajes de incremento de la variación de la capacidad de carga por encima del 20%, lo que comprueba la hipótesis planteada de que los anclajes y bandas influyen en la mejora del elemento.

De la tabla 07, se observa porcentajes de incremento de la variación de la resistencia a la compresión por encima del 20%, con lo que el encamisado con fibra de carbono Tyfo SCH-41 mejora las condiciones frente a incrementos de carga axial, comprobando las hipótesis planteadas.

De la tabla 08, se observa que al añadir anclaje en los elementos que presentaron déficit de confinamiento, estos después de agregar los anclajes de fibra de carbono Tyfo SCH-41 mejoraron ese déficit, lo que comprueba la hipótesis planteada de que el uso de anclaje influye en la mejora del confinamiento.

CONCLUSIONES

1. El reforzamiento con fibra de carbono tyfo sch-41 en columnas de concreto armado de sección rectangular, influye en el aumento de la resistencia en porcentajes mayores al 20% de su capacidad original.
2. En columnas con dimensiones mayores, a partir de 30cmx60cm, el porcentaje de incremento va disminuyendo, el cual podría mejorarse con la adición de 01 banda de fibra de carbono Tyfo SCH-41.
3. Los anclajes de fibra de carbono Tyfo SCH-41, proveen una mejora en el confinamiento del refuerzo, lo que se aprecia con el incremento del valor de relación entre f_1/f'_c .
4. Los valores de diseño calculados, se podrían comprobar con ensayos en laboratorio, elaborando columnas a escalas y estas a su vez sean sometidas a las cargas axiales de diseño.
5. En el cálculo del diseño del reforzamiento con fibra de carbono Tyfo sch-41 en columnas de sección rectangular, tanto las bandas como los anclajes están involucrados directamente en el aumento de la resistencia
6. La mejora en el confinamiento está relacionada con el aumento de resistencia axial y el decremento del valor de la ductilidad del material.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar como material de reforzamiento a fibra de carbono tyfo sch-41 en columnas de sección rectangular para aumentar la capacidad de carga de la estructura
2. Se recomienda colocar una capa como máximo para reforzamiento con fibra de carbono tyfo sch-41 en columnas de sección rectangular, puesto que, al usar a partir de dos capas, el incremento no es tan elevado y lo que producirá un mayor gasto de material.
3. Se recomienda, para casos reales de reforzamiento, hacer un muestreo de la estructura mediante extracción de testigos diamantinos para conocer con exactitud la resistencia del o las estructuras de concreto armado a reforzar
4. Se recomienda, colocar los refuerzos con fibra de carbono en áreas libres de polución de partículas, pues los excesos de estas evitaran la adecuada adherencia entre las estructuras a reforzar con la fibra de carbono.
5. Con los valores de diseño calculados, se podría realizar una investigación en donde estos sean comprobados por ensayos de laboratorio.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliográficas:

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 al título de Ingeniero Civil Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú.

Beltrán, A. A. (2011). Uso de fibras de carbono como reforzamiento a flexión en vigas de concreto reforzado. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil. Bogotá: Universidad de La Salle.

Mastroviti, A; Pasquale, L. (2009). Estado actual del refuerzo mediante FRP de elementos, de sección rectangular, sometidos a compresión simple. Universidad Politécnica de Valencia.

Durán, C. I. (2008). Refuerzo con bandas de fibra de carbono (CFRP) en columnas cortas de concreto reforzado estudio exploratorio. Trabajo de grado para optar el título de Maestro en Ingeniería. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Hemerográficas:

Revillo, A. L.; Delgadillo, M. (2017). Análisis y diseño para el reforzamiento de columnas de hormigón armados con material FRP y perfiles metálicos. Journal Boliviano de Ciencias, 13, 54-62.

Oliván, M.; Badillo, H.; Echevarría, J.; et al. (2014). Efecto del refuerzo con fibras de carbono en las propiedades mecánicas del concreto. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Jalisco.

Flores, L. (2013). "Fibras de Carbono: Reforzamiento de Estructuras". Revista Civilizate. Lima, número 3, pp. 46 – 48.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (2008) ACI 440.2R-08 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures.

ANEXOS