

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Refuerzo Estructural con Fibra de Carbono

Proyecto de Investigación

Pedro Alejandro Silva Vera

Ingeniería Civil

Tesis de grado presentada como requisito

Para la obtención del título de

Ingeniería Civil

Quito, mayo de 2016

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Refuerzo Estructural con Fibra de Carbono

PEDRO ALEJANDRO SILVA VERA

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Telmo Sánchez, Ph.D.

Firma del profesor

Quito, 6 de mayo de 2016

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:	-----
Nombres y apellidos:	Pedro Alejandro Silva Vera
Código:	00103458
Cédula de identidad:	1721237285
Lugar y Fecha:	Quito, mayo 2016

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo estudiar las propiedades mecánicas de la fibra de carbono para entender el funcionamiento en el refuerzo de estructuras construidas con acero estructural, mediante ensayos de tracción. La finalidad es la de entender correctamente el comportamiento del material compuesto en estas condiciones y así saber con precisión si el reforzamiento va a ser útil para las cargas que debe resistir. Adicionalmente, se ensayan los materiales por separado para tener un dato exacto de la resistencia de cada uno y poder comparar los resultados con mayor exactitud. Para reforzamientos de estructuras por lo general se emplean técnicas de recocado de hormigón, o con la adhesión de placas metálicas o con adhesión de placas o tejidos de materiales compuestos, este estudio intenta verificar la posibilidad de realizar reforzamientos a estructuras de acero mediante el pegado de tejidos de fibra de carbono. Especial atención se da al estudio del comportamiento a tracción, en consideración que no existe código vigente para el uso del CFRP en acero y además no existe una información abundante sobre este tema. (Galahad, y otros, 2012)

Palabras claves:

Hormigón: “El hormigón es un material pétreo obtenido de la combinación cuidadosa de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua que tiene la propiedad de endurecerse con la forma y dimensiones de la estructura deseada”.

Acero: Aleación de hierro con pequeñas cantidades de carbono y que adquiere con el temple gran dureza y elasticidad.

Fibra de Carbono: La fibra de carbono es un material formado por fibras de 50-10 micras de diámetro, compuesto principalmente de átomos de carbono. Los átomos de carbono están unidos entre sí en cristales que son más o menos alineados en paralelo al eje longitudinal de la fibra. Varios miles de fibras de carbono están trenzados para formar un hilo, que puede ser utilizado por sí mismo o tejido en una tela.

Resistencia a tracción: Resistencia que ofrece un material a la rotura cuando está sometido a un esfuerzo de tracción.

Resistencia a la compresión: Esfuerzo máximo que presenta un material a la compresión sin romperse.

Esfuerzo de flexión: Combinación de las fuerzas de tracción y de compresión que se desarrollan en la sección transversal de un elemento estructural para resistir una fuerza transversal.

ABSTRACT

This project has the goal of studying the mechanical properties of carbon fiber by conducting traction tests in order to understand its role in reinforcing metallic structures. The goal is to correctly understand the behavior of this composite material under certain conditions so that we may know if it will be applicable to the loads it will have to withstand. Additionally, we test the materials separately in order to obtain precise information regarding each material's resistance so that we may accurately compare results. Structure reinforcement is usually done by adding layers of concrete, by adding metallic plates, or by adding composite materials; this study seeks verifying the possibility of reinforcing steel structures by adding carbon fiber. Special attention is given to the material's behavior during traction, as there is no standing regulation for the use of CFRP (Carbon Fiber-Reinforced Polymer) on steel, and there is little information on this subject.

KEYWORDS: CONCRETE/ STEEL/ CARBON FIBER RESISTANCE TO TRACTION/ RESISTANCE TO COMPRESSION/ FLEXURAL STRESS.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	10
1.1. Introducción	10
CAPÍTULO II	14
2.1. Metodología	14
2.2. Desarrollo del Tema.....	14
2.2.1. Ensayos experimentales.	15
2.2.1.1. Acero. 15	
2.2.1.2. Acero y fibra.	16
2.2.1.3. Fibra de carbono.	17
2.2.1.3.1. Especificaciones fibra de carbono.	22
2.2.1.4. Registro fotográfico.	23
CAPÍTULO III	31
3.1. Resultados.....	31
3.1.1. Ensayos a tracción de probetas de acero.	32
3.1.1.1. Resistencia a tracción del acero.	32
3.1.1.2. Resistencia a tracción de la fibra de carbono.....	33
3.1.1.3. Resistencia a tracción de la fibra de carbono más acero.	34
3.1.1.4. Resistencia comparativo.	35
CAPÍTULO IV	36

4.1. Conclusiones y recomendaciones	36
4.1.1. Conclusiones.....	36
4.1.2. Recomendaciones.....	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Hoja Técnica de la Fibra de carbono.....	19
Tabla 2 Resistencia a tracción del acero.....	32
Tabla 3 Resistencia a tracción de la fibra de carbono.....	33
Tabla 4 Resistencia a tracción de la fibra de carbono más acero	34
Tabla 5 Comparación de resistencia de los materiales	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diferentes métodos de reforzamiento estructural de una viga de hormigón armado sometida a flexión.	13
Figura 2 Probeta de Acero – Espesor = 5 mm	16
Figura 3 Probeta de acero y fibra de carbono.	17
Figura 4 Soporte para elaboración de probetas de fibra de carbono	23
Figura 5 Lámina o tejido carbowrap 600 de fibra de carbono.....	23
Figura 6 Colocación de resina o matriz	23
Figura 7 Colocación de resina sobre fibra	24
Figura 8 Colocación de segunda capa de fibra	24
Figura 9 Conformación del material para elaborar la probeta	24
Figura 10 Corte de probetas de fibra de carbono.....	25
Figura 11 Preparación de la superficie de acero para adherir la fibra de carbono	26
Figura 12 Colocación de fibra de carbono sobre el metal	27
Figura 13 Probetas terminadas	28
Figura 14 Ensayos de tracción y estado final de las probetas	29
Figura 15 Ensayos de tracción y estado final de las probetas	30
Figura 16 Falla por desprendimiento de la resina del acero.....	30
Figura 17 Diagrama de resistencia a tracción del acero	32
Figura 18 Diagrama de resistencia a tracción de la fibra de carbono.....	33
Figura 19 Diagrama de resistencia a tracción de la fibra de carbono más acero .	34
Figura 20 Diagrama de resistencia comparativo	35

CAPÍTULO I

1.1. Introducción

En la industria de la construcción, los ingenieros y arquitectos conocen que un porcentaje de las estructuras metálicas son sometidas a lo largo del tiempo a cambios de uso. Los elementos estructurales como vigas y columnas se ven sometidos con el aumento de cargas, que pueden llegar a afectar la integridad. Esto provoca que dichas estructuras tengan que ser remplazadas o reforzadas, de igual manera con el paso del tiempo y dependiendo de las condiciones cambiantes, los códigos son actualizados, es necesario que las estructuras diseñadas y construidas con normativas anteriores deben ser adecuadas a las nuevas exigencias, así mismo suceden eventos sísmicos que debilitan o alteran las condiciones originales, siendo necesario algunas veces la rehabilitación de estas estructuras, finalmente las estructuras metálicas son muy sensibles a la falta de mantenimiento, existen muchos descuidos de los ocupantes finales de las estructuras y sobre todo la corrosión debilita las estructuras.

Como se ve las estructuras de acero no son eternas, tienen una vida finita, y es necesario tener la tecnología y la técnica de intervención adecuada para cada situación posible, de ahí que es necesario rehabilitar, reforzar, consolidar, actualizar las estructuras de acero.

Estas actividades indicadas para estructuras de acero a menudo no es una solución cómoda o fácil de realizar, “los métodos convencionales generan muchos inconvenientes como la evacuación de los entornos afectados y el aumento de la

carga muerta” (Sánchez, 2015), por otro lado, la fibra de carbono es un material muy fuerte que también es extremadamente ligero lo que permite a los ingenieros ahorrar tiempo de ejecución (Galahad, y otros, 2012) además que, un procedimiento menos invasivo, que no se corroe, que no requiere de movilizar equipos grandes como soldadoras o moto soldadoras, grúas, entre otros, por lo que, el uso de los materiales compuestos, sea carbono, vidrio o aramida se han convertido en la mejor opción para resolver muchos casos.

En las últimas décadas y debido a los avances científicos, se han obtenido nuevos materiales de refuerzo que se aplican a la construcción. Los materiales sintéticos han estado en uso con un alto desarrollo en ingeniería en los últimos años. Especialmente, los llamados polímeros reforzados con fibra (FRP, por sus siglas en inglés), ha sido probado en muchos centros de investigación y aplicación normalizada en varios países, por ejemplo, el ACI (Comité ACI 440), en EEUU, para el uso sobre hormigón.

“La fibra de carbono sola es capaz de resistir altas cargas a tracción y flexión, pero bajas cargas compresión, por lo que el ensayo a compresión se eliminó de este estudio”. (David, Ragneau, & Buyle-Bodin, 2003)

El módulo de elasticidad de las fibras de carbono depende de la orientación de las fibras, que varía considerablemente con las condiciones y proceso de fabricación. Las imperfecciones provocan la reducción de las propiedades. Según un estudio reciente, basado en materiales compuestos con polímeros reforzados con fibras, se ha demostrado que son materiales óptimos, que son eficaces y excelente para usarlos en el fortalecimiento de elementos de hormigón armado, donde los materiales tradicionales no han cumplido con todas las expectativas.

Cuando se estudia el reforzamiento de estructuras construidas con hormigón armado o acero, se deben considerar varios aspectos como: las nuevas cargas que resistiría la estructura, la condición en la que se encuentran sus materiales de constitución, el tipo de deformación que se quiere evitar al igual el que el tipo de esfuerzo al que se va a someter la viga o la columna, y luego con que se reforzara, y de manera fundamental es necesario conocer todo el funcionamiento integral de la estructura luego de que algún o algunos de sus elementos han sido intervenidos, es decir no solo es necesario observar, diseñar y reforzar un elemento en particular que presente alguna anomalía, sino es importante observar como esta reparación o reforzamiento va a alterar el comportamiento estructural de todos los elementos. (Li & Chua, 2009)

Actualmente, existen varios estudios e incluso productos comerciales como el Dura Wrap de la Empresa Española METALCLAD, que permiten reparar, recuperar, reforzar y extender la vida útil de trabajo de tuberías metálicas que emplean tecnologías de polímeros de altas prestaciones. Pero no existen aplicaciones a otras estructuras metálicas.

El sistema de refuerzo con fibra de carbono consiste esencialmente en adherir en la superficie externa del elemento estructural, materiales con mejores propiedades mecánicas, especialmente con excepcional resistencia a la tracción, De este modo, los materiales compuestos actúan como refuerzo externo, lo que hace funciones muy similares como el refuerzo del acero interno en el caso del hormigón armado.

Las ventajas de este sistema es la fácil y rápida aplicación de la fibra de carbono al elemento estructural permitiendo un incremento de la resistencia en bajo tiempo. Por ejemplo cuando se refuerza una viga de la manera tradicional se

debe desalojar todo lo que se encuentre debajo del elemento afectado por si se produce un colapso y por el espacio que requiere encofrar una nueva viga alrededor de la dañada aparte del espacio que requiere la mano de obra, luego de esto se coloca una armadura de hierro y finalmente se funde el hormigón, posterior a esto se debe esperar que la resistencia del hormigón sea la adecuada para poder desencofrar el elemento y luego ordenar el espacio como estaba originalmente. Con la fibra de carbono el mismo proceso se reduce drásticamente ya que solo requiere de preparar la superficie donde va a ser aplicada la fibra con resina y luego de esto se pega la fibra al elemento estructural. Para diferenciar mejor ambos sistemas de reforzamientos se encuentra adjunto la Figura 1.



Figura 1 Diferentes métodos de reforzamiento estructural de una viga de hormigón armado sometida a flexión.

Fuente: American Concrete Instituto (2001)

CAPÍTULO II

2.1. Metodología

El objetivo principal de este informe es comparar la resistencia teórica a tracción calculada con ensayos experimentales de probetas de acero reforzado con fibras de carbono, para establecer los efectos de la misma y determinar con precisión si se consigue o no una mejora en la resistencia de este elemento estructural.

Para esto se necesita entender varios conceptos fundamentales que nos permitan entender con profundidad el informe que se presenta, se estudia el comportamiento en laboratorio de:

- Las probetas de acero ensayadas a tracción.
- Las probetas de CFRP ensayadas a tracción.
- El elemento compuesto de acero y CFRP.

2.2. Desarrollo del Tema

Para entender mejor el comportamiento de cada material se realizaron ensayos de tracción según la norma ASTM E8 para probetas de acero y acero reforzado con fibra de carbono, para el ensayo a tracción de la fibra de carbono se usó las medidas propuestas en la norma ASTM D3039. (Association for Testing Materials, 2000)

2.2.1. Ensayos experimentales.

2.2.1.1. Acero.

Para ensayar el acero se siguió la norma ASTM E8, la cual indica las especificaciones del material que se va ensayar, como obtener y preparar el material y como ensayar el material. (Association for Testing Materials, 1997)

Para elaborar las probetas se usó el método de chorro de agua para evitar deformaciones y debilitación producto del calor cuando se corta el acero con plasma. Posterior a esto se preparó la superficie del acero, quitando el óxido con lijas de distinto grosor y conseguir el perfil de anclaje adecuado para recibir la resina que fija el tejido de fibra de carbono.

Para pegar la fibra de carbono en las probetas de acero primero se saturó con resina la fibra y la probeta, luego se las junto teniendo cuidado de la orientación de la fibra, ya que tiene que estar alineada lo más exacto posible, luego de eso se dejó secar la resina con un peso externo entre la cara de acero y la fibra de carbono para asegurar la adherencia.

Según la norma las probetas deben tener las siguientes medidas:

“Ancho de las mordazas: 10 mm

Largo de las mordazas: 56 mm

Radio de transición: 6 mm

Largo de la sección de falla: 32mm

Ancho de la sección de falla: 6mm

Largo total: 100mm

Espesor: 5 mm” (Association for Testing Materials, 1997)

Ver Figura 2

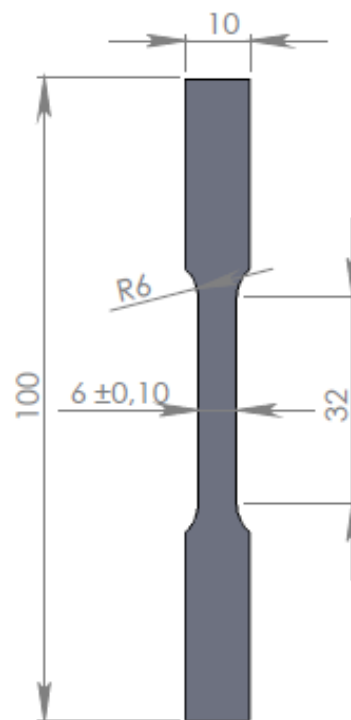


Figura 2 Probeta de Acero – Espesor = 5 mm

2.2.1.2. Acero y fibra.

Para ensayar el acero reforzado con fibra se siguió la norma ASTM E8, la cual indica las especificaciones del material que se va ensayar, como obtener y preparar el material y como ensayar el material.

Según la norma las probetas deben tener las siguientes medidas:

“Ancho de las mordazas 10 mm

Largo de las mordazas 56 mm

Radio de transición 6 mm

Largo de la sección de falla 32 mm

Ancho de la sección de falla 6 mm

Largo total 100 mm

Espesor 6 mm” (Association for Testing Materials, 1997)

Ver Figura 3

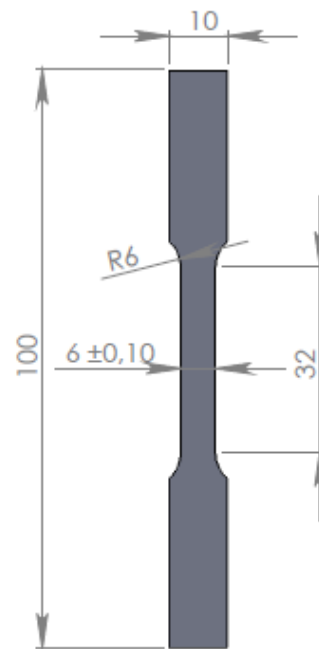


Figura 3 Probeta de acero y fibra de carbono.

2.2.1.3. Fibra de carbono.

Para ensayar la fibra de carbono se siguió la norma ASTM D3039, la cual indica las especificaciones del material que se va ensayar, como obtener y preparar el material y como ensayar el material. (Association for Testing Materials, 2000)

Para realizar las probetas de fibra de carbono primero se prepara la superficie donde se van a realizar, esta superficie tiene que ser lo más lisa posible, de preferencia tiene que ser un plástico estirado sobre un soporte liso de madera, para garantizarnos que la fibra no tenga imperfecciones en ambas caras. Para endurecer la fibra se coloca resina en la superficie y luego con ayuda de una espátula se reparte resina en toda la sección de la fibra teniendo cuidado de que este saturada por completo, luego de esto se deja secar por 24 horas. Cuando se

tiene la primera lámina de fibra se repite el proceso para agregar una capa adicional en las mordazas y así cumplir con el grosor específico que se requiere. Cuando ambas laminas se encuentran unidas se procede a recortar la fibra con ayuda de un disco de corte lo más delgado posible.

Según la norma las probetas deben tener las siguientes medidas:

“Ancho de la probeta 15 mm

Largo de las mordazas 56 mm

Espesor de las mordazas 1.5 mm

Espesor de falla 1 mm” (Association for Testing Materials, 2000)

Se adjunta la hoja técnica del CARBOWRAP, del distribuidor local, en donde se encuentra la información y características del tejido y la resina, así como datos del sistema, esta información es valiosa pues permite datos de referencia para los ensayos que se están ejecutando en estos estudios.

Tabla 1 Hoja Técnica de la Fibra de carbono

CARBOWRAP 600 CFRP

SISTEMA COMPUESTO SETMIX: REFUERZO ESTRUCTURAL



DESCRIPCIÓN

El CARBOWRAP 600 CFRP de Setmix, está conformado por el sistema epóxico Epofix 300 y el tejido de refuerzo VCF-1800 de fibra de carbono unidireccional de alta resistencia (aerospace grade). El Epofix 300 es un sistema epóxico de 2 componentes sin solventes, sin carga, de módulo alto, tixotrópico.

USO

Epowrap CFRP es usado para reforzar puentes, edificios, y otras estructuras.

VENTAJAS

- Buenas propiedades a alta temperatura
- Buenas propiedades a baja temperatura
- Tiempo alargado de trabajo
- Alta resistencia y alto módulo de tensión
- Curado al ambiente
- 100 % libre de solventes

CUBRIMIENTO

Aproximadamente 55 m2 con un rollo de Tejido de Refuerzo VCF-1800 (91 m x 0.61m) y 3 a 4 unidades de 18 kgs de Epofix 300.

RELACION DE MEZCLA DEL EPOFIX 300

100 partes en peso de componente A con 50 partes de componente B.

ALMACENAMIENTO

Epóxico- 2 años en los envases originales sin abrir y guardado bajo techo a la sombra.
Refuerzo- 10 años bajo techo a la sombra.

CONDICIONES DE BODEGA

Guardar a no menos de 5° C y no más de 32° C.
Guarde los rollos acostados.
Evite contaminación con agua y humedad

PROPIEDADES DE LA LÁMINA

Propiedades	ASTM	Valor típico de ensayo. Diseño: reférase a ACI
Resistencia última a tensión en la dirección principal de la fibra	D-3039	877 kg/cm ancho 842 MPa
Elongación a la ruptura	D-3039	1.2 %
Módulo de Tensión	D-3039	89.6 GPa
Resistencia última a tensión de la fibra a 90° de la principal	D-3039	0

Espesor de la lámina (normalizada)	1.4 mm
------------------------------------	--------

PROPIEDADES DE LA FIBRA EN SECO

Resistencia a Tensión	550,000 psi 3.79 MPa 38750 kg/cm ²
Módulo de Tensión	33.4 x 10 ⁶ psi 230 GPa
Elongación a la rotura	1.8 %
Densidad	1.76 g/cm ³
Peso por m2	600 grs.
Resistencia última a tensión	1290 kg/cm de ancho del refuerzo VCF - 1800

PROPIEDADES DEL SISTEMA EPOXICO

	METODO	VALOR DE ENSAYO
RESISTENCIA A TENSION	D-638 TIPO I	72.4 MPa 10,500 psi
MODULO DE TENSION	D-638 TIPO I	3.18 GPa 461,000 psi
PORCENTAJE ELONGACION	D-638 TIPO I	5.0
RESISTENCIA A FLEXION	D-790	123.4 MPa 17,900 psi
MODULO DE FLEXION	D-790	3.12 GPa 452,000 psi

DISEÑO

El Sistema Epowrap CFRP debe ser diseñado (por un profesional calificado) para cumplir criterios de diseño específicos. El diseño debe cumplir con ICBO AC-125, y será basado en fuerza de tensión y limitaciones de esfuerzo especificadas en ACI. Cada proyecto presenta parámetros únicos que deben ser dirigidos.

INSTALACIÓN

El sistema debe ser instalado por aplicadores con entrenamiento y experiencia adecuada y seguir estrictamente las recomendaciones de ADMIX Cia. Ltda..

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

La preparación requerida de la superficie depende mucho del tipo de elemento a ser reforzado. En general, la superficie debe estar limpia, seca y libre de protuberancias y cavidades, que pueden crear vacíos bajo el sistema compuesto. La superficie del hormigón de columnas que van a recibir envoltura continua requieren únicamente limpieza profunda con cepillo. Superficies que van a recibir envoltura discontinua (paredes, vigas, losas, etc.) requieren limpieza ligera de chorro de arena, lijado u otros métodos adecuados

ADMIX CIA. LTDA

Oficina y Fabricas: Quito: Calle de las Avellanas E1-182 y el Juncal (Sector UVN/Parque de los Recuerdos)
 Telf.: 6002922-2800183 Fax: 6002922
 Guayaquil telf.: 0991678105
 E-mail: setmix@admix-ec.com

para preparar la superficie del hormigón para adherencia suficiente (ACI 440.2). En algunos diseños son incorporados anclajes mecánicos

MEZCLADO

Para las unidades pre-medidas de 18 kgs. Vacíe el componente B sobre el componente A y mezcle cuidadosamente por 5 minutos utilizando un mezclador acoplado a un taladro de baja velocidad 400-600 RPM

APLICACIÓN

- Saturador mecánico.-

Sature el tejido en el sistema epóxico, escurra y aplique sobre la superficie a reforzar previamente imprimada y nivelada.

- Manual.-

Sobre la superficie imprimada y nivelada aplique una mano cargada de Epofix 300, sobre esta pegue el tejido de refuerzo, escurra con espátula plástica ancha y rodillo para sistema compuesto hasta que la resina aflore a la superficie. En caso necesario aplique mas resina hasta saturar completamente el tejido. Es preferible el exceso que la falta del epóxico.

LIMITACIÓN

Temperatura mínima de aplicación del epóxico, 5° C
No diluir el sistema epóxico, los diluyentes alteran el sistema y no permiten un curado adecuado.



ADMIX CIA. LTDA

Oficina y Fabricas: Quito: Calle de las Avellanas E1-182 y el Juncal (Sector UVN/Parque de los Recuerdos)

Tel.: 6002922-2800183 Fax: 6002922

Guayaquil telf.: 0991678105

E-mail: admix@admix-ec.com



Epofix 300



Sistema epóxico de 2 componentes

Para Sistemas Compuestos de Refuerzo Estructural

Propiedades

	Método ASTM	Valor Típico de ensayo
Resistencia a tensión	D 638 Tipo I	72.4 MPa
Resistencia a flexión	D 790	123.4 MPa
Porcentaje elongación	D 638 Tipo I	5 %
Módulo de tensión	D 638 Tipo I	3.18 GPa
Módulo de flexión	D 790	3.12 GPa
Densidad @23 °C	ISO 868-1985	1.10 g/cm ³
Tiempo de aplicación		1 hora a 18° C

Componente A resina epóxica, color azulado

Componente B catalizador, transparente

Relación de Mezcla

2 partes en peso de componente A

1 parte en peso de componente B

Cubrimiento

De 1 a 1.35 kg/m²

Mezclado

Vierta el componente B sobre el componente A y mezcle con un mezclador de pintura acoplado a un taladro de baja velocidad (600 RPM), durante 3 minutos.

Traspase el Epomix mezclado a otro recipiente limpio y re mezcle por 1 minuto adicional.

Aplicación

Saturado Manual

Aplique uniformemente con brocha sobre la superficie a reforzar (previamente imprimada y nivelada), aproximadamente 500 grs, por metro cuadrado. Pegue el refuerzo y aplique una segunda capa sobre el refuerzo ya pegado, asegure la penetración del sistema epóxico en el refuerzo mediante rodillo liso o llana plástica hasta su total saturación. Un ligero exceso de epóxico es menos perjudicial que la falta del mismo.

Precauciones

Para uso industrial.

Los componentes A y B pueden causar irritación de la piel.

Use guantes y o cremas protectoras.

Deseche la ropa contaminada.

Se recomienda el uso de gafas de protección.

En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua, consulte al médico.

Tiempo de bodegaje

2 años en el empaque original si abrir, guardado a la sombra en un lugar fresco y seco.

Empaque

Unidades de 4.5 y 18 kilos (A + B)



ADMIX CÍA. LTDA. Quito Oficinas: Av. El Inca 5/1 y Av. 9 de Diciembre Falt. Banco del Pacifico 2do. Piso. Tel.: 2602 183 / 0002 622. Telefonos 2600 194
ADMIX CÍA. LTDA. Quito Fábrica: Mariscal Antón 711 y Av. Eloy Alfaro esquina. (Frente a OCEJA) - Quito Tel.: 2603 198 / 2607 933
Guayaquil: Av. Francisco de Orellana CENTRO COMERCIAL ORELLANA Local #3. Junto al Hyper Market Tel.: 042 646 498 • Fax: 042 646 506
E-mail: avero@admix-ec.com

2.2.1.3.1. Especificaciones fibra de carbono.

- La fibra de carbono a ser utilizada tiene una masa de 600 g/m^2 .
- Resistencia última a tensión en la dirección principal de la fibra: 877 kg/cm^2 de fibra. (842 MPa).
- Elongación a la ruptura: 1,2%
- Módulo de tensión: 69,6 GPa
- Espesor de la lámina: 1 mm

2.2.1.4. Registro fotográfico.



Figura 4 Soporte para elaboración de probetas de fibra de carbono



Figura 5 Lámina o tejido carbowrap 600 de fibra de carbono



Figura 6 Colocación de resina o matriz



Figura 7 Colocación de resina sobre fibra

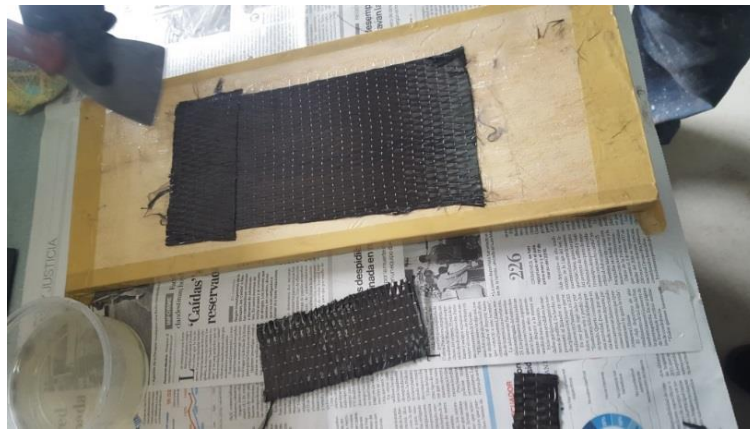


Figura 8 Colocación de segunda capa de fibra



Figura 9 Conformación del material para elaborar la probeta

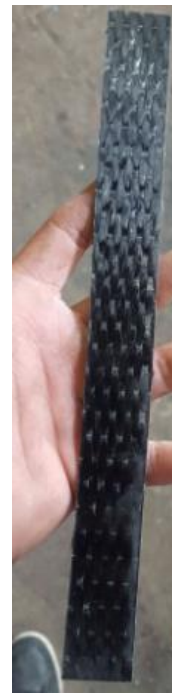


Figura 10 Corte de probetas de fibra de carbono



Figura 11 Preparación de la superficie de acero para adherir la fibra de carbono



Figura 12 Colocación de fibra de carbono sobre el metal



Figura 13 Probetas terminadas





Figura 14 Ensayos de tracción y estado final de las probetas





Figura 15 Ensayos de tracción y estado final de las probetas

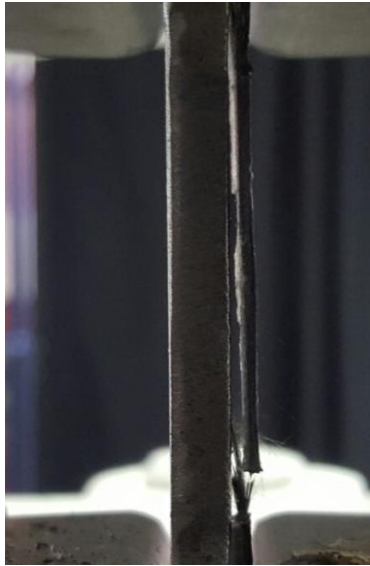


Figura 16 Falla por desprendimiento de la resina del acero

CAPÍTULO III

3.1. Resultados

En este capítulo, se procede entonces a analizar aquellos datos y resultados que se pudieron obtener en las experiencias para las diferentes alternativas de probetas, por lo que se hará mucho énfasis en aquellos resultados obtenidos en la práctica de laboratorio por ser esta última la que en mayor medida aporte con información para el desarrollo de este estudio.

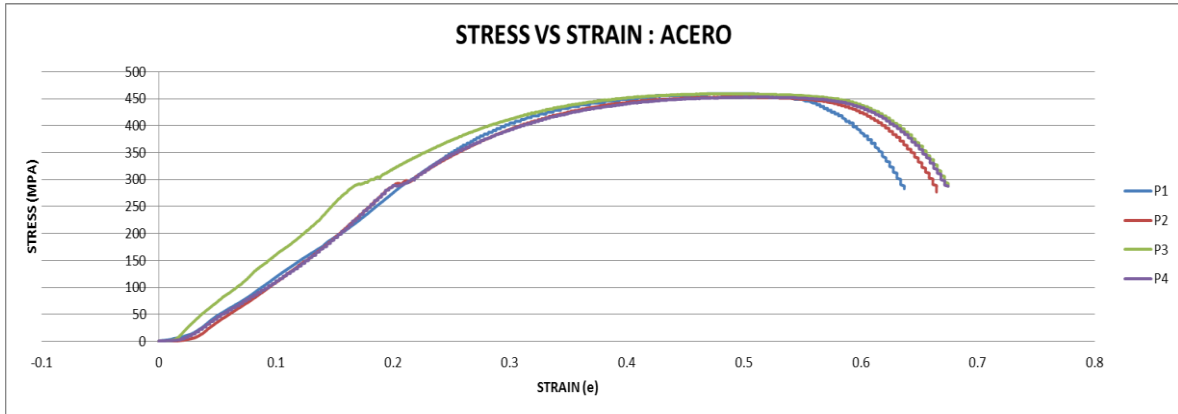
Los ensayos se efectuaron en el Laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad San Francisco de Quito.

El procedimiento a seguir para este análisis está basado en la comparación de datos y resultados de las diferentes probetas en función a los cambios efectuados a aquellas variables que los controlan. Para esto se requerirá en algunos casos de tablas que nos permitan elaborar esta comparación, de igual manera se recurrirá a el uso de gráficos con la finalidad de que el lector puede entender de mejor manera las opiniones vertidas en esta parte del trabajo.

A continuación se detallan los análisis de resultados

3.1.1. Ensayos a tracción de probetas de acero.

3.1.1.1. Resistencia a tracción del acero.



Donde P1= probeta 1; P2=probeta 2; P3= probeta 3; P4= probeta 4.

Figura 17 Diagrama de resistencia a tracción del acero

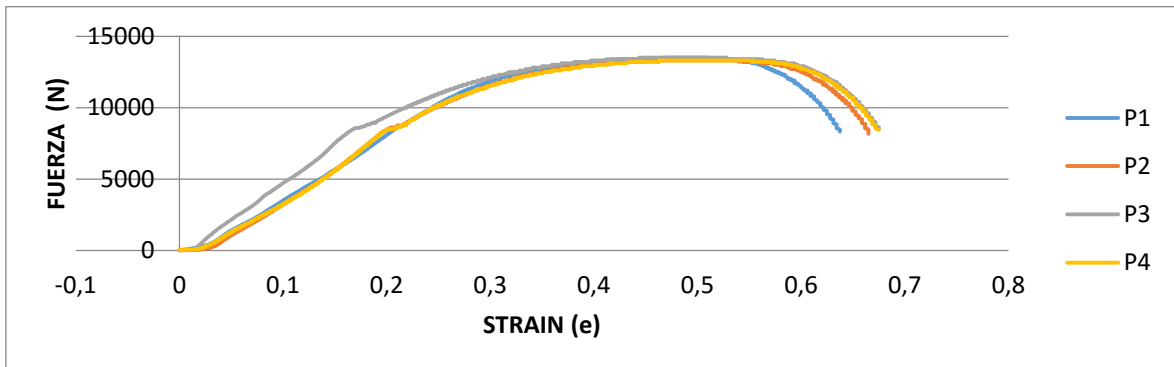
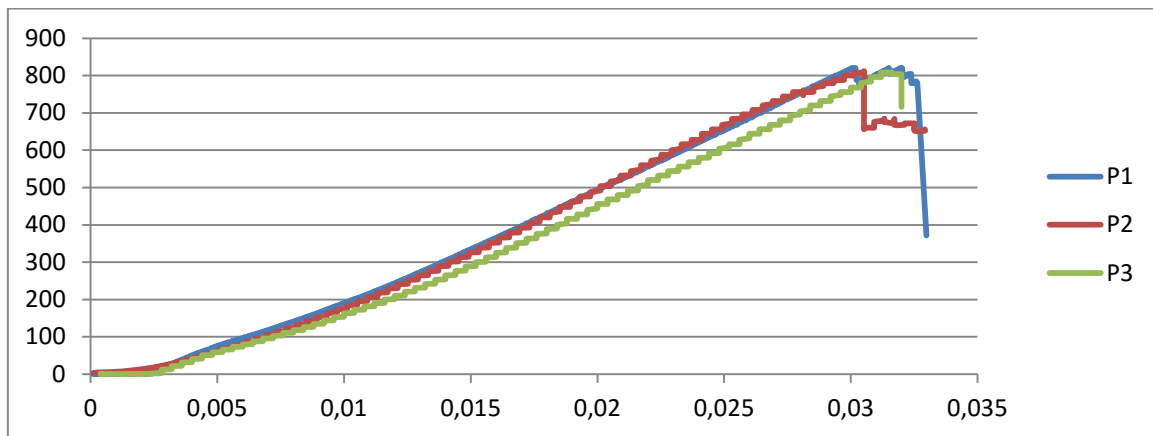


Tabla 2 Resistencia a tracción del acero

#	área(mm ²)	Fmax(N)	F fluencia(N)	E. Tracción(MPA)	E. Fluencia(MPA)
1	29.4	13500	7920	459.1836735	269.3877551
2	29.4	13300	8610	452.3809524	292.8571429
3	29.4	13500	7900	459.1836735	268.707483
4	29.4	13300	8280	452.3809524	281.6326531

fabricante	400 (mpa)	250 (mpa)
------------	-----------	-----------

3.1.1.2. Resistencia a tracción de la fibra de carbono.



Donde P1= probeta 1; P2=probeta 2; P3= probeta 3

Figura 18 Diagrama de resistencia a tracción de la fibra de carbono

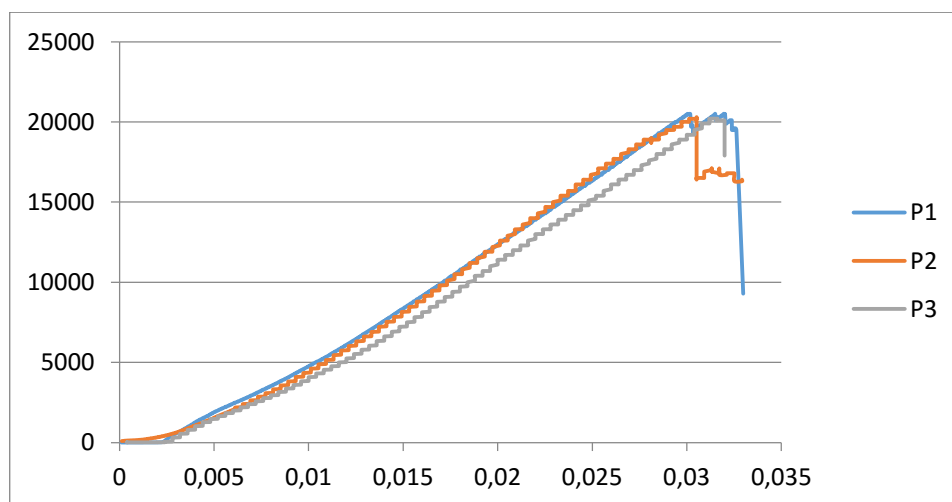
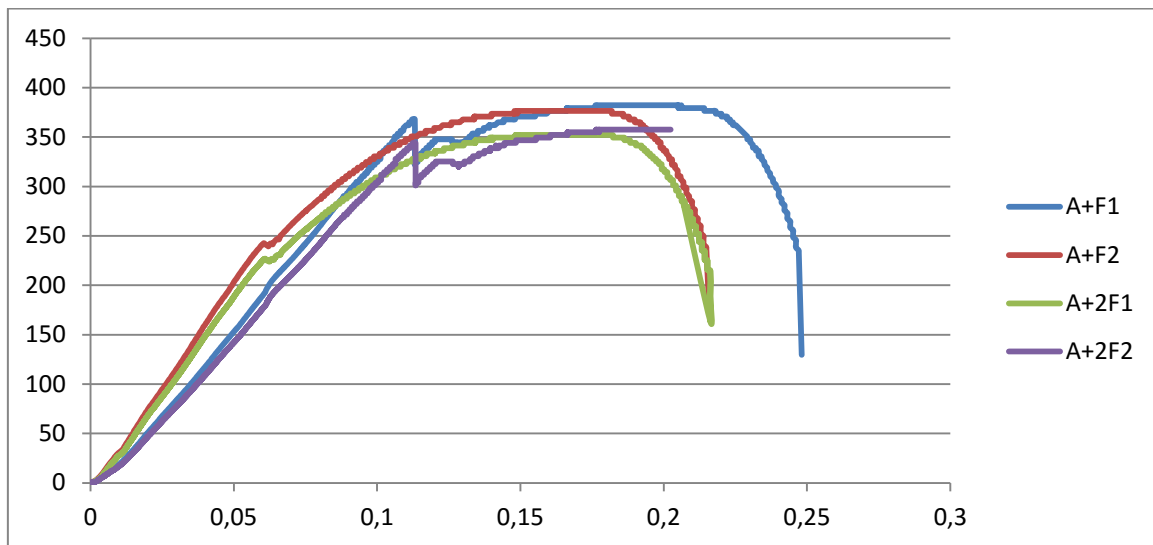


Tabla 3 Resistencia a tracción de la fibra de carbono

#	área(mm ²)	Esfuerzo tracción (MPA)	Fuerza (N)	kg/cm
1	25	820	20500	836.7346939
2	25	812	20300	828.5714286
3	25	808	20200	824.4897959
			Promedio	813.3333

Fabricante	842	877
-------------------	------------	------------

3.1.1.3. Resistencia a tracción de la fibra de carbono más acero.



Donde A+F1= probeta de acero con fibra 1; A+F2= probeta de acero con fibra2; A+2F1= probeta de acero con doble fibra 1; A+2F2

Figura 19 Diagrama de resistencia a tracción de la fibra de carbono más acero

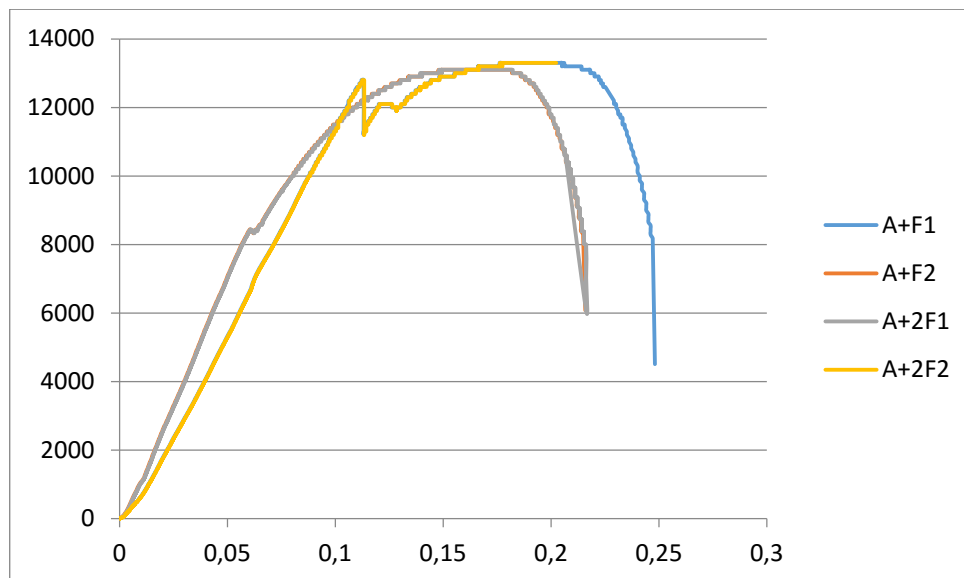


Tabla 4 Resistencia a tracción de la fibra de carbono más acero

	STRESS(MPA)
Acero + fibra 1	382.183908
Acero + fibra 2	376.4367816
Prom :	379.3103448
Acero + doble fibra 1	352.1505376
Acero + doble fibra 2	357.5268817
Prom :	354.8387097

3.1.1.4. Resistencia comparativo.

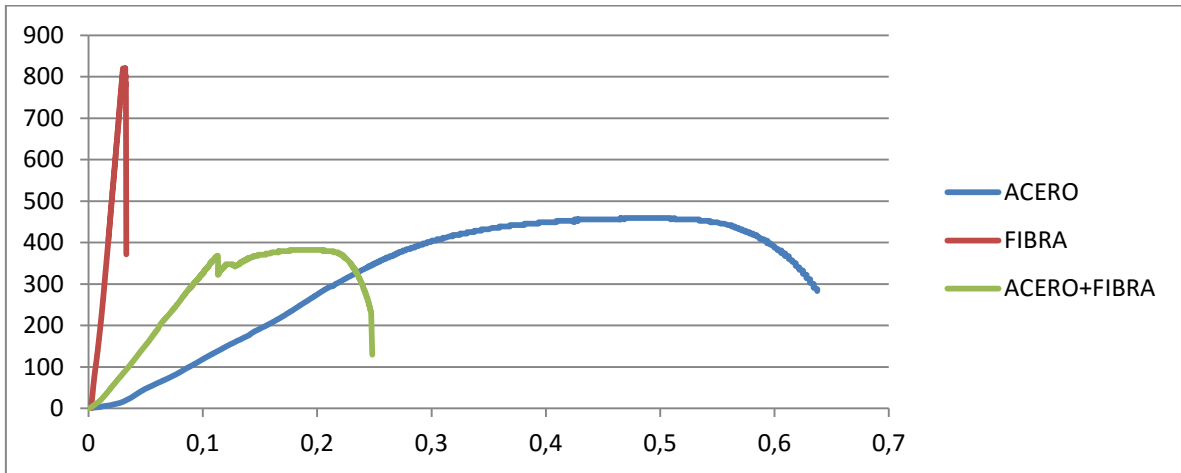
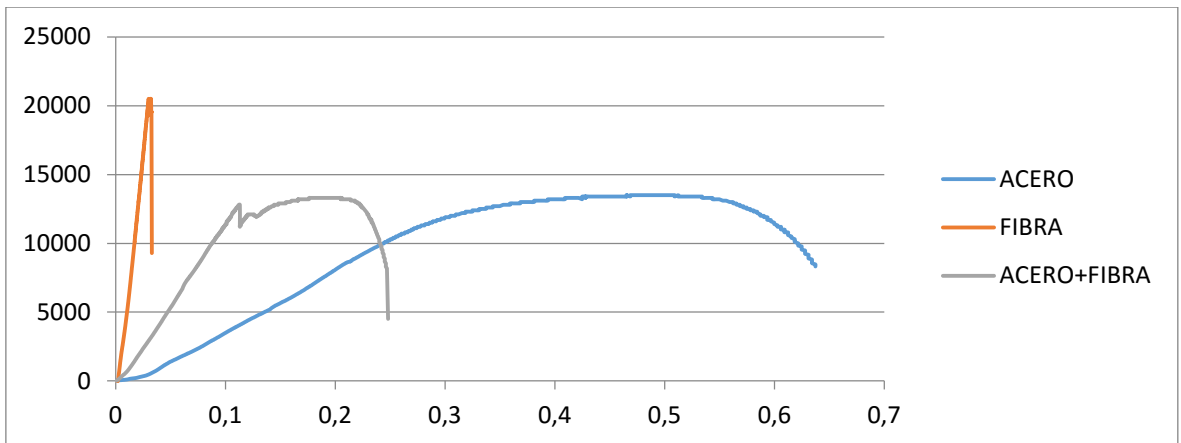


Figura 20 Diagrama de resistencia comparativo

Tabla 5 Comparación de resistencia de los materiales

#	STRESS(MPA)
Acero	455.782313
Fibra	813.3333
Acero + Fibra	379.3103448



CAPÍTULO IV

4.1. Conclusiones y recomendaciones

4.1.1. Conclusiones.

En los ensayos sólo se aplicó la transferencia por adherencia mediante la resina epóxica de la fibra de carbono al metal, dicha resina es la considerada estándar en el país y que se aplica con mucho éxito en adherencia a superficies de hormigón. En el metal, la falla siempre fue en la adherencia por lo que no se pudo observar las bondades de los tejidos de CFRP.

No existen códigos, ni normativa internacional o nacional para el uso de materiales compuestos en acero.

Observando los valores de resistencia a tracción del acero, de la fibra de carbono y la resina, se concluye que en este ensayo de tracción pura, en donde se presenta un ahorcamiento del metal previo a la rotura, hace que la resina alcance su límite máximo mucho antes de lo esperado, de ahí que con este sistema compuesto, en elementos de hormigón se obtengan resultados asombrosos en la mejora de la resistencia, pues la resistencia del hormigón a tracción es mucho menor que el de la resina, por lo que cuando este ya se encuentra en etapas de fisuramiento, la fibras de carbono empiezan a trabajar sin desprenderse, el hormigón de buena calidad alcanza valores de tracción de 40 Kg/cm², y como vemos en los datos técnicos y en los ensayos realizados, la

resina alcanza valores de 400 kg/cm^2 , pero el metal alcanza xxxxxx , kg/cm^2 y la fibra de carbono xxxx Kg/cm^2 .

Asimismo, el ensayo, tal como ha sido analizado, no contempla aún la aplicación práctica en una construcción a rehabilitarse, sino más bien orientado a probar que el CFRP puede trabajar de manera activa, incrementando la resistencia.

No se ha tratado aun el aspecto económico del sistema, ya que objetivamente su precio nada ha de tener que ver con sus posibilidades técnicas. Pero si vale mencionar que no son materiales baratos, pero que probablemente si se tenga en cuenta las posibilidades de ahorro en relación a la mano de obra, e incluso el costo de tener un local, espacio o edificio sin utilizar por el tiempo que dura una obra tipo, la diferencia de dinero quizás no sea tanta.

Muy importante resulta seguir las indicaciones de los fabricantes y las normas que vayan surgiendo, atender todos los requisitos y ser respetuoso con sus posibilidades y limitaciones.

No existen en nuestro país protocolos de uso de la fibra de carbono, ni tampoco sistemas de control, que puedan ayudar a las actividades de la fiscalización.

Los sistemas de materiales compuestos, para su uso práctico deben considerar aspectos complementarios para el servicio de la estructura

recuperada, por ejemplo, la protección contra fuego, el medio ambiente, impacto o vandalismos, entre otros.

Los diseños y las aplicaciones de materiales compuestos deben ser realizados por especialistas con importante experiencia en el área.

Los resultados a tracción evaluados, demuestran que a tracción la fibra de carbono es considerablemente más resistente y liviano que el acero.

La fibra de carbono tiene un mejor comportamiento expuesto a la intemperie que el acero.

Es fundamental mantener la superficie del acero de contacto libre de impurezas para lograr la mayor adherencia posible con la fibra de carbono.

4.1.2. Recomendaciones.

Es necesario realizar más estudios que permitan evaluar más detalladamente el proceso de aplicación de las cargas de tensado y la transferencia de las mismas al elemento, de acuerdo a la característica del proyecto en la cual se va a aplicar, así como plantear solución a los modos de falla que podrían presentarse en cada uno de los materiales a utilizar.

El uso de materiales compuestos, es una gran contribución para la Ingeniería, por tanto, es necesario continuar con el desarrollo de este tipo de tecnología y la investigación de métodos y mecanismos que permitan la aplicación

práctica de la misma en obra. Así como desarrollar protocolos para la intervención y para las fiscalizaciones.

Aunque el propósito de este proyecto de grado no haya sido cumplido en su totalidad, ha suministrado una idea concreta de lo que se puede ganar a través del uso de tejidos de fibra de carbono aplicados en el acero y es importante continuar el estudio, pero empleando resinas importadas y que permitan alcanzar mayores valores de resistencia a tensión.

Para realizar una buena reparación, rehabilitación o reforzamiento, es importante desarrollar temas conexas que son fundamentales en la práctica, como sistemas de evaluación y monitoreo, en el caso del acero, es necesario desarrollar estudios de verificación con equipos de alta tecnología como el ultrasonido, que permiten observar a detalle el real estado del elemento estructural de acero o de sus conexiones, por lo que se debe iniciar estudios de la teoría y del uso práctico de estos equipos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Institute – Committee 440. (2001). *Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP, ACI 440.1R-01, ACI*,. MI, USA: Farmington Hills,.
- American Concrete Institute, A. 4.-0. (2004). *Guide test methods for FRPs for reinforcing or strengthening concrete structures*. New York: ACI.
- American Concrete Institute, ACI 440.2R-02. (2002). *Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures*". New York: ACI.
- Association for Testing Materials. (10 de Junio de 1997). *Standard Test Methods for Testing of Metallic Materials, ASTM E08M*. Obtenido de www.astm.org: <http://www.astm.org/Standards>
- Association for Testing Materials. (19 de Febrero de 2000). *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, ASTM D3039 M*. Obtenido de www.astm.org: <http://www.astm.org/Standards>
- David, E., Ragneau, F., & Buyle-Bodin. (3 de Marzo de 2003). Experimental analysis of flexural behavior of externally bonded CFRP reinforced concrete structures. *Materials and structures*, 34(3), 7.
- Experimental Testing of CFRP. (11 de Marzo de 2014). -Strengthened Reinforced Concrete Slab Elements Loaded by Close-In Blast. *Journal of Structural Engineering*, 140(2), Doi: 10.1061/ (ASCE) ST.1943-541X.0000821.
- Galahad, A., Nicholson, K., Callus, P., Rowe, W., John, S., Wang, C., & Ghorbani, K. (21 de Julio de 2012). The strong diamagnetic behavior of unidirectional

- carbon fiber reinforced polymer laminates. *Journal of Applied Physics*, 112(11), 113921-113921-6.
- Hawileh, R. A., Naser, M., & Rasheed, H. A. (3 de Julio de 2011). Thermal-Stress Finite Element Analysis of CFRP Strengthened Concrete Beam Exposed to Top Surface Fire Loading. *Mechanics of Advanced Materials & Structures*, 18(3), 172-180. Doi:10.1080/15376494.2010.4990.
- Li, B., & Chua, H. G. (12 de Febrero de 2009). Seismic Performance of Strengthened Reinforced Concrete Beam-Column Joints Using FRP Composites. *Journal of Structural Engineering*, 135(10), 1177-1190.
- Sánchez, T. (2015). *Notas de Clases de las materias Acero – Puentes – Elementos Finitos*. Quito: Universidad de San Francisco de Quito.