



FACULTAD DE POSTGRADO

TESIS DE POSTGRADO

**ALTERNATIVA DE REFORZAMIENTO EN ELEMENTOS DE
CONCRETO PARA ESTRUCTURAS CON VULNERABILIDAD
SÍSMICA EN TEGUCIGALPA.**

SUSTENTADO POR:

EDUARDO JOSÉ GARCÍA RIVAS

JOSÉ MIGUEL CRUZ VERDE

PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE

MÁSTER EN

INGENIERIA ESTRUCTURAL

TEGUCIGALPA, F.M., HONDURAS, C.A.

JULIO, 2017

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

UNITEC

FACULTAD DE POSTGRADO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

MARLON ANTONIO BREVÉ REYES

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTINEZ MIRALDA

DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO

JOSÉ ARNOLDO SERMEÑO LIMA

**ALTERNATIVA DE REFORZAMIENTO EN ELEMENTOS DE
CONCRETO PARA ESTRUCTURAS CON VULNERABILIDAD
SÍSMICA EN TEGUCIGALPA.**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MÁSTER EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL**

ASESOR METODOLÓGICO

CARLOS AUGUSTO ZELAYA OVIEDO

ASESOR TEMÁTICO

OSCAR REINIERY SANCHEZ

MIEMBROS DE LA TERNA

- 1. DORIAN ESPINOZA.**
- 2. MINA CECILIA GARCÍA.**
- 3. JORGE CENTENO.**



FACULTAD DE POSTGRADO

ALTERNATIVA DE REFORZAMIENTO EN ELEMENTOS DE CONCRETO PARA ESTRUCTURAS CON VULNERABILIDAD SÍSMICA EN TEGUCIGALPA

NOMBRE DE LOS MAESTRANTES:

EDUARDO JOSE GARCIA RIVAS / JOSE MIGUEL CRUZ VERDE

Resumen

Existen múltiples factores por los que es necesario incrementar la capacidad portante de una estructura en servicio, ya sea un reforzamiento debido a un cambio de destino o porque la estructura ha demostrado deficiencias en su diseño o construcción frente a cargas extremas como sismos, creando así la necesidad de emplear métodos y materiales de reforzamiento de alta tecnología que presenten mayores ventajas frente a los métodos convencionales de reforzamiento. El presente proyecto de tesis plantea el uso de Fibra de Carbono como una alternativa de refuerzo de elementos estructurales, para que los ingenieros estructurales de Tegucigalpa conozcan las ventajas de esta tecnología, con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas del elemento reforzado. Este documento comprende detalladamente los procedimientos que se deben seguir para diseñar un refuerzo estructural con fibra de carbono ante esfuerzos de flexión y cortante, estableciendo también las ventajas y desventajas de este material frente a los métodos tradicionales de reforzamiento. **Palabras clave:** Fibras de Carbono, Flexión, Materiales compuestos, Reforzamiento Estructural, Vulnerabilidad Sísmica.



POSTGRADUATE FACULTY

**ALTERNATIVA DE REFORZAMIENTO EN ELEMENTOS DE
CONCRETO PARA ESTRUCTURAS CON VULNERABILIDAD SÍSMICA
EN TEGUCIGALPA**

POSTGRADUATE NAMES:

EDUARDO JOSE GARCIA RIVAS / JOSE MIGUEL CRUZ VERDE

Abstract

There are multiple reasons for which it is necessary to increase the capacity of a structure to resist higher loads in service, either a reinforcement process due to a change of use or because the structure has deficiencies in its design or construction against extreme loads such as earthquakes, creating the need to use high-tech reinforcement methods and materials that give higher advantages over conventional reinforcement methods. The present thesis proposes the use of Carbon Fiber as an alternative for reinforcement of structural elements, for the structural engineers of Tegucigalpa to learn about the advantages of this technology, in order to improve the mechanical properties of the reinforced element. This document guidance in detail the processes that are developed to design a structural reinforcement with the carbon fiber for both flexural and shear strengthening and also includes the advantages and disadvantages of this material over traditional reinforcement methods. **Key words:** Carbon Fiber, Tension, Composite Materials, Structural Reinforcement, Seismic Vulnerability.

DEDICATORIA

Dedicado a Dios todopoderoso, principal fuente de investigación, por darme la oportunidad de alcanzar una meta más en mi vida académica y profesional. Por concederme la suficiente sabiduría y fuerza para culminar mis estudios de postgrado.

A mi familia. De manera especial a mis padres, por su esfuerzo y dedicación hacia mí. Ellos, junto a mis hermanos son un apoyo incondicional en mis proyectos y representan mi principal impulso de progreso humano y profesional.

Eduardo José García Rivas

Este trabajo se lo dedico a Dios. A El, que me ha dado la oportunidad de vivir y una familia maravillosa. A mi Mamá y a mi Papá, por sus sacrificios y esfuerzos y creer en mí siempre, Sin ellos nada de esto fuera posible. Este logro es una alegría más que yo puedo brindarles, devolviéndoles un poco de lo que me han dado durante toda mi vida.

Se lo dedico a mi esposa, que no solamente ha estado presente en cada paso que doy, sino que me ha dado el apoyo y ha creído en mí siempre.

Culminar este proyecto ha sido gracias a ustedes. Lo dedico a ustedes, que me han acompañado y me han dado todo su amor.

José Miguel Cruz Verde

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis maestros por transmitirme sus conocimientos y hacer de mi persona un profesional más comprometido con el aporte a la sociedad.

A nuestros compañeros de maestría con quienes compartimos diferentes experiencias académicas por brindarnos su ayuda cuando lo requerimos.

Eduardo José García Rivas

Agradezco a mi familia por su apoyo incondicional. A mi mamá, porque toda meta que cumpla, cada título que obtenga es más de ella que mío, a mi papá, mis hermanas, mi cuñado por estar siempre a mi lado, animándome en los momentos difíciles y dándome todo su amor.

A mi esposa, por ser un ejemplo a seguir y motivarme a seguir estudiando, por estar conmigo en todo momento, por su apoyo, comprensión, paciencia, dedicación y responsabilidad. Por darme ánimos todos los días para seguir adelante y superar cualquier obstáculo que se presente. Te agradezco infinitamente.

No ha sido fácil el camino, pero gracias a todos ustedes, sus consejos, su apoyo y amor incondicional, aquello que parecía difícil de lograr, hoy entre todos lo celebramos.

José Miguel Cruz Verde

INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1	Introducción.....	1
1.2	Antecedente del problema	2
1.3	Definición del problema	2
1.3.1	Enunciado del problema	2
1.3.2	Formulación del problema	2
1.3.3	Preguntas de investigación	3
1.4	Objetivos del Proyecto	3
1.4.1	Objetivo general	3
1.4.2	Objetivo específico	4
1.5	Justificación	4

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1	Análisis de la situación actual.....	6
2.1.1	Análisis del macro-entorno.....	6
2.1.2	Análisis del micro-entorno.....	7
2.1.3	Situación del micro-entorno y análisis interno.....	29
2.2	Teorías.	29
2.2.1	Teorías de sustento.	29
2.2.2	Conceptualizaciones	37
2.3	Metodologías aplicadas.....	38
2.3.1	Análisis estructural.....	39
2.3.2	Diseño estructural.....	39

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1	Congruencia Metodológica	41
3.1.1	Matriz Metodológica	41
3.1.2	VARIABLES DE ESTUDIO	42
3.1.3	Operacionalización de las variables	43
3.1.4	Hipótesis	45
3.2	Enfoque y métodos	46
3.2.1	Inductivo – Deductivo	46
3.2.2	Histórico	47
3.2.3	Explicativo	47
3.2.4	Descriptivo	47
3.2.5	Analítico	48
3.3	Diseño de la investigación	48
3.3.1	Población	49
3.3.2	Muestra	50
3.3.3	Unidad de análisis	50
3.3.4	Unidad de respuesta	50
3.4	Instrumentos, técnicas y procedimientos aplicados	50
3.4.1	Instrumentos	50
3.4.2	Técnicas	51
3.4.3	Procedimientos	51
3.5	Fuentes de información	51
3.5.1	Fuentes primarias	51
3.5.2	Fuentes secundarias	51

3.6	Limitaciones del estudio.	52
------------	----------------------------------	-----------

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1	Resultados de la encuesta	53
4.2	Resultados de la entrevista	61
4.3	Diagrama de Ishikawa	64
4.4	Análisis Estadístico	67
4.5	Propuesta	76

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA	104
---------------------	------------

ANEXOS	107
---------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores típicos de los módulos de elasticidad de un laminado.....	10
Tabla 2. Propiedades mecánicas de las fibras.....	15
Tabla 3. Matriz Metodológica.....	41
Tabla 4. Operacionalización de las Variables.....	43
Tabla 5. Involucramiento en construcción de edificios.....	53
Tabla 6. Experiencia en diseño de estructuras.....	54
Tabla 7. Tipos de estructuras diseñadas.....	55
Tabla 8. Normativas de diseño utilizadas.....	56
Tabla 9. Edificaciones sin diseño estructural.....	57
Tabla 10. Apoyo en especialistas estructurales.....	58
Tabla 11. Estado de las estructuras diseñadas por expertos.....	59
Tabla 12. Involucramiento en construcción de edificios.....	60
Tabla 13. Datos estadísticos pregunta 1.....	68
Tabla 14. Datos estadísticos pregunta 2.....	69
Tabla 15. Datos estadísticos pregunta 3.....	70
Tabla 16. Datos estadísticos pregunta 4.....	71
Tabla 17. Datos estadísticos pregunta 5.....	72
Tabla 18. Datos estadísticos pregunta 6.....	73
Tabla 19. Datos estadísticos pregunta 7.....	74
Tabla 20. Datos estadísticos pregunta 8.....	75
Tabla 21. Cronograma.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Comportamiento esfuerzo-deformación del acero y el FRP.	16
Figura 2	Fibra de vidrio.	18
Figura 3	Fibra aramida.	19
Figura 4	Lámina Fibra de Carbono Sikadur 330	23
Figura 5	Impregnación de viga con resina epoxi.	24
Figura 6	Reforzamiento por corte y flexión en viga estructural.	26
Figura 7	Posibilidades de reforzamiento con fibra de carbono en muros.	27
Figura 8	Aplicación de fibra de carbono en columna.	28
Figura 9	Aplicación de fibra de carbono en losa.	29
Figura 10	Encamisado de columna con acero.	31
Figura 11	Fases de un proyecto típico de ingeniería estructural.	40
Figura 12.	Diagrama de variables de estudio	43
Figura 13	Desarrollo de la investigación.	49
Figura 14.	Involucramiento en la construcción de edificios.	53
Figura 15.	Experiencia en diseño de estructuras.	54
Figura 16.	Tipos de estructuras diseñadas.	55
Figura 17.	Normativas de diseño utilizadas.	56
Figura 18.	Edificaciones sin diseño estructural.	57
Figura 19.	Apoyo en especialistas estructurales.	58
Figura 20.	Estado de las estructuras diseñadas por expertos.	59
Figura 21.	Factores para no apoyarse en un especialista estructural.	60
Figura 22.	Diagrama de Ishikawa	64

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Resistencia Nominal	78
Ecuación 2. Esfuerzo de diseño último	79
Ecuación 3. Deformación última de diseño	79
Ecuación 4. Módulo de elasticidad	79
Ecuación 5. Ecuación general de diseño	80
Ecuación 6. Deformación unitaria	81
Ecuación 7. Deformación unitaria en SI	81
Ecuación 8. Deformación unitaria efectiva	81
Ecuación 9. Factor de Reducción	82
Ecuación 10. Esfuerzo del acero de refuerzo	83
Ecuación 11. Esfuerzo del concreto	83
Ecuación 12. Esfuerzo Efectivo	85
Ecuación 13. Deformación unitaria en el acero	85
Ecuación 14. Esfuerzo en el acero	85
Ecuación 15 Profundidad del eje neutro	86
Ecuación 16. Distribución de esfuerzos en la zona de compresión	86
Ecuación 17. Distribución de esfuerzos en la zona de compresión SI	86
Ecuación 18. Momento nominal	86
Ecuación 19. Esfuerzos bajo cargas de servicio del concreto	87
Ecuación 20. Esfuerzo Bajo cargas de servicio del acero	87
Ecuación 21. Esfuerzo bajo cargas de servicio del FRP	87

Ecuación 22. Resistencia de diseño a cortante	88
Ecuación 23. Resistencia de diseño a cortante nominal	89
Ecuación 24. Aportación del cortante del FRP	89
Ecuación 25. Área y esfuerzo del acero FRP	90
Ecuación 26. Simplificación de la ecuación 24	90
Ecuación 27. Deformación unitaria efectiva	90
Ecuación 28. Deformación unitaria en el FRP	91
Ecuación 29. Coeficiente de Reducción por Adherencia	91
Ecuación 30. Coeficiente de Reducción por Adherencia en SI	91
Ecuación 31. Longitud de las láminas de FRP	92
Ecuación 32. Longitud de las láminas de FRP en SI	92
Ecuación 33. Resistencia a compresión del concreto	92
Ecuación 34. Resistencia a compresión del concreto en SI	92
Ecuación 35. Patrón de colocación del FRP	92
Ecuación 36. Límites máximos para la contribución del refuerzo al corte	93
Ecuación 37. Límites máximos para la contribución del refuerzo al corte en SI	93
Ecuación 38. Resistencia a compresión del concreto bajo confinamiento	94
Ecuación 39. Factor de eficiencia de confinamiento	95
Ecuación 40. Área de sección de la columna seta a compresión	95
Ecuación 41. Esfuerzo de confinamiento	95
Ecuación 42. Diámetro de la columna	95
Ecuación 43. Deformación unitaria última en el concreto	96

Ecuación 44. Factor de Geometría.....	96
--	-----------

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo consiste en los antecedentes, definición, formulación, objetivo general, objetivos específicos y justificación del problema que inspira y ha dado paso a esta investigación.

1.1 Introducción

El deterioro que se observa en elementos estructurales tales como losas, vigas, columnas, uniones viga-columna de muchas estructuras en Tegucigalpa es atribuido a la falta de implementación de los parámetros sísmicos contemplados en la normativa hondureña de construcción. Este deterioro combinado con el envejecimiento, la falta de mantenimiento y/o al efecto de eventos naturales, ha acelerado el daño sobre estos elementos a tal punto que la vida útil de muchas estructuras se ha visto reducida.

Este panorama nos hace meditar en la necesidad de buscar soluciones de reforzamiento de fácil y rápida aplicación. En la búsqueda de soluciones para este tipo de problemas han surgido nuevas tecnologías como ser el uso de Polímeros Reforzados con Fibras (FRP) los cuales son considerados como materiales compuestos.

El uso de estos materiales compuestos es una alternativa comúnmente utilizada en países desarrollados como Estados Unidos, Japón, Canadá y Europa donde se han utilizado no solo como refuerzo externo sino también como sustitución del acero estructural. En comparación con los métodos convencionales de reforzamiento, los Polímeros Reforzados con Fibras (FRP) surgen como una alternativa efectiva, debido a su buena relación resistencia - peso, tolerancia a la corrosión y durabilidad.

1.2 Antecedente del problema

Honduras cuenta con una normativa que dicta los parámetros de diseño y constructivos a cumplir con el fin de tener estructuras que garanticen la seguridad de los usuarios, a esta normativa se le conoce con el nombre de Código Hondureño de la Construcción (CHOC) elaborado por la comisión técnica nombrada por el Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras y aprobada por la XXXIX asamblea general extraordinaria celebrada el 7 de Diciembre de 2007 siendo aprobado como ley por el Congreso Nacional de la República en el año 2010, año en el cual se comienzan a regular las construcciones con el fin de dar estricto cumplimiento a la normativa antes mencionada.

1.3 Definición del problema

1.3.1 Enunciado del problema

Nuestro país se encuentra ubicado geográficamente en zonas susceptibles a desastres naturales, siendo necesario que se cumplan los parámetros sísmicos establecidos en la normativa nacional. Parámetros que no eran regulados previo a la legalización de dicha normativa, en consecuencia, existen estructuras vulnerables a eventos sísmicos.

Se ve la necesidad de reforzar las estructuras que presenten vulnerabilidad sísmica o aquellas que presenten fallas producto de este incumplimiento. Por tanto, es preciso buscar una alternativa capaz de dar respuesta a las solicitudes de estos eventos.

1.3.2 Formulación del problema

Incumplimiento de la normativa en el diseño y construcción de estructuras de concreto armado establecidas en Tegucigalpa.

Por tanto, al realizar el planteamiento del problema es necesario formular la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué tan factible es reforzar las estructuras de concreto falladas o con vulnerabilidad sísmica en Tegucigalpa?

1.3.3 Preguntas de investigación

Con el fin de determinar la factibilidad de este trabajo de investigación, es necesario el planteamiento de las siguientes interrogantes:

- a) ¿Cuáles son los factores para el incumplimiento de los parámetros sísmicos establecidos en la normativa nacional?
- b) ¿Cuál podría ser una alternativa eficaz para contrarrestar los daños en edificaciones vulnerables a eventos sísmicos?
- c) ¿Cómo se implementaría la posible solución encontrada?
- d) ¿Cuáles serían los alcances de dicha alternativa?

1.4 Objetivos del Proyecto

1.4.1 Objetivo general

Facilitar la adopción y cumplimiento de los parámetros sísmicos en las construcciones en Tegucigalpa, mediante un plan de acción de acuerdo a los requerimientos sísmicos que incluya el uso de polímeros, con el fin de contrarrestar la vulnerabilidad sísmica estructural.

1.4.2 Objetivo específico

- a) Identificar y analizar los factores y consecuencias físicas que contribuye el incumplimiento o desuso de la normativa en elementos de concreto en estructuras ubicadas en Tegucigalpa.
- b) Definir alternativas o soluciones a deficiencias estructurales encontradas mediante el uso de fibras de carbono.
- c) Proponer un plan para la aplicación de los polímeros reforzados en casos estructurales específicos.
- d) Definir los alcances de la alternativa propuesta en cuanto a si satisfacen las necesidades estructurales estudiadas.

1.5 Justificación

Tegucigalpa ha tenido un desarrollo en la industria y comercialización y como respuesta a este crecimiento surgen nuevas exigencias de infraestructura, dando paso a la construcción de nuevas edificaciones que satisfagan esas exigencias. Estas edificaciones son diseñadas bajo la normativa nacional garantizando la seguridad de sus usuarios, así como su adecuada funcionalidad u objetivo para la cual fue edificada.

Sin embargo, hay muchas estructuras dentro de la ciudad que fueron construidas en décadas pasadas y que en la actualidad presentan deterioros estructurales producto de factores propios e impropios a la estructura, es decir las estructuras tienen una vida útil para la cual son diseñadas, pero durante esta vida son sometidas a diferentes tipos de cargas y factores ambientales quienes se encargan de debilitar la estructura a tal grado que muchas veces estas fallan y producen eventos catastróficos.

Es por eso que mediante esta investigación se busca proponer una alternativa de reforzamiento para aquellas estructuras que son vulnerables a eventos sísmicos o bien aquellas estructuras que fueron diseñadas para un fin pero con el paso del tiempo el inmueble desempeñara otro objeto totalmente diferente para el cual fue diseñado, por ejemplo, hay edificios que fueron diseñados para uso residencial y que hoy en día son utilizados para centros educativos esto conlleva a un cambio radical en cuanto a cargas en el edificio.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Este capítulo es fundamental, ya que en él se hace una recopilación bibliográfica referente al tema investigado. Se presenta información en diferentes niveles y/o entornos, abarcando desde el macro-entorno (situación mundial) hasta el micro-entorno o análisis local. Este capítulo sirve como eje central de toda la investigación, ligando los antecedentes estudiados en el capítulo anterior y el análisis y resultados presentados en los capítulos subsiguientes.

2.1 Análisis de la situación actual

2.1.1 Análisis del macro-entorno.

“La tecnología de compuestos estructurales de polímeros reforzados con fibra se remonta a mediados de 1930, cuando el primer casco de un barco experimental fue fabricado con tejido de fibra de vidrio y resina de poliéster” (Mapei, 2015, P.1). A partir de este comienzo poco prometedor, “los polímeros reforzados con fibra han revolucionado industrias enteras, incluyendo la aeroespacial, naval, automóviles, industria, recreación, vivienda e infraestructura” (Tantalean, 2013, P.6).

Los beneficios de estos materiales compuestos, en especial su capacidad de resistencia a la corrosión, pronto llegaron a oídos del sector construcción. Fue donde la aplicación de los polímeros reforzados con fibra evoluciono a aplicaciones arquitectónicas,

comenzando con la restauración de edificios históricos a finales de 1980. La tecnología entra a los mercados de infraestructuras en Europa, Japón y los Estados Unidos en los años 1970 y 1980, con la rehabilitación de columnas de puentes, cubiertas y vigas, así como la reparación de túneles y muelles marinos.

Las necesidades siguen creciendo para la readecuación y el fortalecimiento de edificios de concreto armado. Hay muchos factores que han hecho que el uso de materiales compuestos de adherencia externa aumente como materiales rentables y convenientes para la rehabilitación: el deterioro por los efectos ambientales, el daño causado por el impacto, una mayor demanda de carga a causa de códigos más severos, especialmente en el campo sísmico, cambios en el uso de estructuras y ductilidad para corregir errores de diseño o construcción. (Mapei, 2015, P.3)

2.1.2 Análisis del micro-entorno

En el caso de Honduras, la práctica de utilizar materiales FRP para refuerzo externo de elementos de concreto no se ha desarrollado lo suficiente. La razón de tal rezago aparenta estar ligado al desconocimiento por parte de los ingenieros de las propiedades y el comportamiento del material, porque no se tiene claro cuáles son sus ventajas y desventajas y porque se tiene la percepción de que su alto costo le resta competitividad.

El refuerzo de estructuras de concreto existentes para resistir cargas superiores a las consideradas en su diseño o debido al deterioro o por falta de cumplimiento de los códigos de construcción, tradicionalmente ha sido mediante el uso de materiales convencionales como ser el acero. Estos materiales generalmente son pesados y requieren una cantidad considerable de trabajo para su mantenimiento y utilización. Nuevos materiales como los polímeros reforzados con fibra han surgido como soluciones estructurales fuertes, ligeros y más resistentes a la corrosión, impactos y ataques químicos que se han posicionado como buenos sustitutos del acero.

Para los fines de este documento el polímero reforzado con fibra se definirá como “un material compuesto el cual consiste de fibras, una matriz y adhesivo” (Castillo, 2010, P.1).

2.1.2.1 Reforzamiento con compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras (FRP)

“El uso de materiales compuestos para reforzar y reacondicionar sísmicamente estructuras de concreto existentes alrededor del mundo desde mediados de los ochenta” (ACI 4440.2R,2008, P.10). El crecimiento del uso de polímeros reforzados ha sido exponencial en los últimos 20 años ya que esta tecnología ha resultado ser una solución altamente eficiente para elementos estructurales dañados o deteriorados como vigas, losas, columnas, muros cortantes, conexiones viga-columna, etc.

En Europa los materiales compuestos fueron desarrollados como una alternativa para las uniones de las placas de acero. “Unir las placas de acero a las zonas de tensión en miembros de concreto con resina adhesivas resultaba ser una técnica viable para incrementar su resistencia a la flexión” (ACI 4440.2R,2008, P.10). Esta técnica ha sido utilizada alrededor del mundo para reforzar muchos edificios y puentes, ya que las placas de acero se pueden corroer, lo cual conlleva a un deterioro de la unión entre la placa y el concreto.

Nanni, (1997) afirma que: “El uso de materiales compuestos como refuerzo para proveer mayor confinamiento en columnas de concreto inicio en Japón en los ochentas y después del sismo en Hyogo Ken en 1995 se incrementó repentinamente” (P.63).

En el presente la industria de la construcción y la ingeniería, en general, han empezado a conocer las bondades y ventajas de estos materiales estructurales de naturaleza sintética,

provenientes de procesos químicos complicados, conocidos hoy en día como materiales compuestos.

“En un principio, dichos materiales solo eran usados como materiales decorativos o arquitectónicos, pasando luego a tener aplicaciones estructurales en construcción, en aeronáutica y posteriormente aplicaciones de reparación, tanto estructural como estética, llegado a ser conocidos como compuestos estructurales” (Avilés, 2002, P.7).

El desarrollo de códigos y normas para el uso de polímeros reforzados como sistemas de refuerzo está en marcha en Europa, Japón, Canadá, y Estados Unidos.

En los últimos 10 años la asociación de ingenieros civiles de Japón (JSCE), el instituto japonés del concreto (JCI), y el instituto de investigación técnico ferroviario (RTRI) han publicado varios documentos relacionados con el uso de los polímeros reforzados en estructuras de concreto. (ACI 4440.2R, 2008, P.10)

2.1.2.2 Materiales compuestos

Un compuesto estructural es un sistema material consistente de dos o más fases en una escala microscópica, cuyo comportamiento mecánico y propiedades están diseñadas para ser superiores a aquellos que lo constituyen cuando actúan independientemente.

Muchos materiales son efectivamente compuestos. Esto es particularmente cierto en los materiales biológicos naturales, que a menudo están compuestos por al menos dos constituyentes. En muchos casos, un componente fuerte y rígido está presente, a menudo en forma alargada, embebido en un constituyente más blando que forma la matriz.

Comúnmente, tales materiales compuestos muestran marcada anisotropía, es decir, sus propiedades varían significativamente cuando se miden en diferentes direcciones. Esto suele ocurrir porque el constituyente más duro está en forma fibrosa, con los ejes de fibra alineados preferentemente en direcciones particulares. Además, uno o más de los constituyentes pueden exhibir anisotropía inherente. Las fibras tienen resistencias y módulos elásticos muy altos. Son muy finas y usualmente muy frágiles. Los plásticos normalmente utilizados como matriz pueden ser dúctiles o frágiles, pero generalmente tienen una resistencia considerable a los agentes químicos. De la combinación de fibras y resina se obtiene un material con resistencia y rigidez cercana a las de la fibra y con la resistencia química del plástico. (Hull, 1996, P.1)

Las propiedades de un material compuesto dependen de las propiedades, geometría y distribución de los materiales componentes. Uno de los parámetros más importantes es la fracción en volumen de fibras en el material compuesto. La geometría y orientación del refuerzo afectan la anisotropía del sistema.

Tabla 1. Valores típicos de los módulos de elasticidad de un laminado.

Material	Longitudinal GPa	Transversal GPa	Cortante GPa	Coefficiente de Poisson
Carbono/Epoxico	181,00	10,30	7,17	0,30
Vidrio/Poliéster	54,10	14,05	5,44	0,25
Aramida/Epoxico	75,86	5,45	2,28	0,34

Fuente: (Dueñas, 2015)

En la fabricación de materiales compuestos artificiales, este potencial de anisotropía controlada ofrece un margen considerable para el proceso de integración de las especificaciones de los materiales y el diseño de sus componentes.

Este es un punto importante sobre el uso de compuestos, ya que representa un alejamiento de la práctica de ingeniería convencional. Un ingeniero que diseña un componente comúnmente toma las propiedades materiales como isotrópicas, esto es a menudo inexacto incluso para materiales convencionales; Por ejemplo, la chapa metálica tiene usualmente diferentes propiedades en el plano de la lámina de las que se encuentran en la dirección transversal esto debido a la orientación producida durante la laminación, aunque en muchos casos son relativamente pequeñas. En un material compuesto, por otro lado, son posibles anisotropías grandes en rigidez y resistencia y deben tenerse en cuenta durante el diseño. (Hull, 1996, P.1)

Avilés, (2002) afirma que: “los materiales compuestos presentan una muy favorable relación resistencia-peso y rigidez-peso, pueden operar en ambientes hostiles por grandes períodos de tiempo, son resistentes a la corrosión y son térmicamente estables” (P.9).

Por lo que resulta especialmente adecuados para estructuras en las que el peso constituye una variable fundamental, “no exhiben fluencia, sino que tienen un comportamiento lineal elástico hasta la rotura” (ACI 4440.2R, 2008, P.10).

En términos de inflamabilidad, la mayoría de las matrices poliméricas son combustibles. Algunas fibras, sin embargo, “no son inflamables y permanecen intactas durante su exposición al fuego” (Hull, 1996, P.4).

“Con respecto a la durabilidad y el envejecimiento de estos materiales existen algunas incertidumbres que hacen necesaria la realización de más estudios que garanticen la integridad de los mismos al cabo de un largo período de utilización” (Car, 2000, P.66).

2.1.2.3 Consideraciones económicas y de mercado

Peña, (2008) afirma que: “en la actualidad, existen empresas multinacionales que ofertan sus productos FRP en el mercado latinoamericano. Las telas con mayor disponibilidad comercial son las telas uni-axiales y biaxiales de fibras de vidrio y carbono” (P.3). Dado que aún no existe en la industria FRP una estandarización de las propiedades mecánicas de las telas, cada fabricante utiliza sus propias fórmulas que establecen la densidad y orientación de las fibras de acuerdo a sus propias limitaciones de manufacturación.

Cada fabricante genera las fichas técnicas correspondiente a cada tipo de tela y resina epóxica que manejan en su inventario e incluyen propiedades mecánicas de diseño, procedimientos de mezclado de cada componente de la resina y procedimientos de instalación de la tela. Así mismo, algunas empresas ofrecen entrenamiento, certificación y supervisión a cuadrillas de instalación para maximizar el control de calidad de su sistema de refuerzo.

Aunque los precios de venta de los productos FRP varían dependiendo de la empresa distribuidora, en la actualidad los precios unitarios del material suelen ser relativamente elevados comparados con los materiales constructivos tradicionales. Por ejemplo, el precio unitario del material para un sistema de refuerzo a base de telas de fibra de carbono y resinas epóxicas está dentro del rango de \$100 a \$130 dólares por metro cuadrado de tela, dependiendo de la densidad

de fibras de carbono que contenga la tela y los volúmenes requeridos de material. Para sistemas de refuerzo a base de telas de fibra de vidrio y resinas epóxicas, el precio se reduce en aproximadamente un 40%.

Es importante mencionar que los primeros usos de los materiales FRP se llevó a cabo en la industria aeroespacial, ya que su relación resistencia-peso los hace ideales para la fabricación de aeronaves.

Dado el estricto control de calidad que dicha industria ejerce sobre los procesos de manufactura de sus componentes estructurales, existían pocos proveedores de materiales FRP en el mercado internacional, lo cual obviamente impactaba en su precio de venta. Sin embargo, la apertura del mercado de la industria de la construcción y la relativa relajación de los controles de calidad en su proceso de manufactura, ha permitido la incorporación de un mayor número de proveedores, lo cual, generado una reducción de los precios de venta de dichos materiales, haciéndolos más competitivos con los materiales constructivos tradicionales. (Peñas, 2008, P.4)

En la actualidad se están incorporando al mercado proveedores de países asiáticos, especialmente de China; sin embargo, aún no han logrado producir materiales que cumplan con los controles de calidad que se imponen en la industria de la construcción en EEUU y Europa.

Se espera que dicha limitante sea superada en el corto o mediano plazo, por lo que los precios del material tenderán a seguir bajando. No obstante, actualmente los precios unitarios de los materiales FRP son relativamente elevados, los sistemas de rehabilitación y refuerzo a base de materiales FRP son ya una opción viable y competitiva dada la simplicidad y rapidez del procedimiento de instalación, así como la posibilidad de instalar el sistema sin generar interrupciones significativas en la funcionalidad de la estructura.

Por ejemplo, se han realizado una gran cantidad de rehabilitaciones sísmicas de puentes y edificios sin tener que sacarlos de operación. Así mismo, se han realizado rehabilitaciones de tuberías de gran diámetro en plantas industriales y en redes de agua potable y drenaje en los tiempos de interrupción de servicio programados para mantenimiento.

En efecto, cuando se ponderan los costos de pérdidas de actividad productiva, los costos de la mano de obra y los costos de mantenimiento de la rehabilitación (por ejemplo, protección anticorrosiva al acero) asociados a los proyectos de rehabilitación mediante métodos tradicionales, los métodos a base de sistemas FRP suelen ser ya más económicos. Como testimonio esta la existencia de miles de proyectos de rehabilitación y refuerzo que se han realizado en el mundo con materiales FRP.

La mayoría de los proyectos de rehabilitación y refuerzo con materiales FRP se han realizado en países desarrollados, donde el costo de la mano de obra representa un porcentaje mayor en el costo total del proyecto que el observado en países en vías de desarrollo. Dado que los proyectos que consideran FRP normalmente exhiben costos menores en la mano de obra que los métodos constructivos tradicionales, el ahorro generado se ha considerado una ventaja competitiva. Dicha ventaja no es tan marcada en países donde la mano de obra es más barata; sin embargo, si continúan las tendencias a la baja de los precios de los materiales FRP, se espera que incrementen significativamente en el corto plazo la cantidad de dichos proyectos realizados en países en vías de desarrollo.

2.1.2.4 Principales características mecánicas de los FRP.

Para el refuerzo y/o reparación de elementos de concreto armado, se utilizan comúnmente tres tipos de materiales poliméricos reforzados con fibras:

1. Polímeros Reforzados con fibras de vidrio GFRP
2. Polímeros reforzados con fibras de carbono CFRP
3. Polímeros reforzados con fibras de aramida (fibras orgánicas) AFRP

Tabla 2. Propiedades mecánicas de las fibras.

Propiedad	Unidades	Fibra de Carbono	Fibra de Vidrio	Kevlar 49
Diámetro	μm	7.6-8.6	8-14	11.9
Densidad	10^3kgm^{-3}	1.75	2.56	1.45
Módulo de Young	GNm^{-2}	250	76	125
Mód.perpendicular al eje de la fibra	GNm^{-2}	20	76	-
Resistencia a tracción	GNm^{-2}	2.7	1.4-2.5	2.8-3.6
Condut.térmica (// al eje de las fibras)	$\text{Wm}^{-1}\text{°C}^{-1}$	24	1.04	0.04

Fuente: (Hull, 1982)

Desde el punto de vista estructural, las fibras definen las propiedades mecánicas y el comportamiento del material compuesto laminado. Sin embargo,

No existe una correlación directa entre las propiedades mecánicas de las fibras individuales y el dicho material. Por ejemplo, una fibra de vidrio típica exhibe resistencias últimas a la tensión de 300 ksi (21,111 kg/cm²) y módulos elásticos de 10,000 ksi (703,701 kg/cm²). Sin embargo, un material compuesto laminado que contenga densidades típicas de dichas fibras solo exhibe resistencias a la tensión de 80 a 120 ksi (5630 a 8444 kg/cm²) y módulos elásticos de 3000 a 4000 ksi (211,110 a 281,480 kg/cm²). (Peña, 2008, P.2)

La discrepancia significativa en los valores de las propiedades mecánicas se debe a varias razones, entre las que se incluyen: (a) las fibras solo ocupan aproximadamente un 50% del volumen del material compuesto (el resto del volumen lo ocupa la resina); (b) dada la enorme cantidad de fibras presente en el material compuesto, la probabilidad de que todas las fibras alcancen su Resistencia última simultáneamente es despreciable, por lo que el modo de falla del material será gobernado por la falla progresiva de las fibras; (c) la enorme cantidad de fibras presentes, hace inevitable que algunas de ellas no queden alineadas con el resto o presenten ondulaciones.

La orientación de las fibras puede variarse dentro del material compuesto, aunque para aplicaciones estructurales, las orientaciones se limitan usualmente a una dirección (fibras uniaxiales) y a dos direcciones ortogonales en ángulos de 90 o 45 grados (fibras biaxiales). Dado que la orientación y cantidad de fibras de alta resistencia puede ser modificada para ajustarse a la aplicación estructural deseada, el material es normalmente anisotrópico (i.e., sus propiedades mecánicas son diferentes dependiendo del plano de carga). En este caso, la anisotropía representa una ventaja estructural, ya que permite al ingeniero diseñar con la Resistencia requerida en la dirección más adecuada a sus necesidades de diseño.

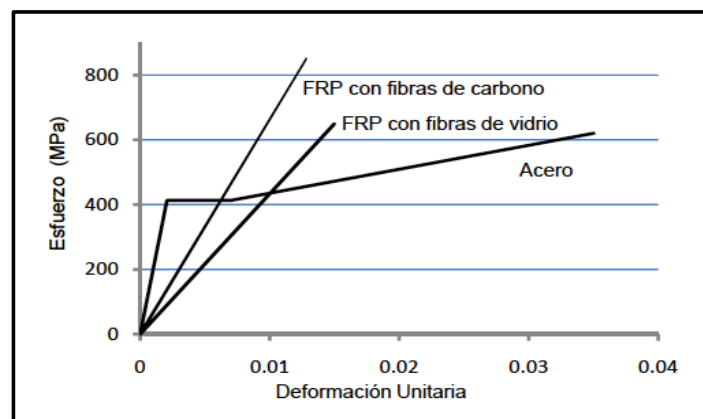


Figura 1. Comportamiento esfuerzo-deformación del acero y el FRP.

Fuente: (Peña,2008).

Los materiales FRP exhiben comportamiento elástico lineal hasta la falla. La Figura 1 ilustra el comportamiento esfuerzo-deformación unitaria de los materiales FRP y también se observa que las deformaciones unitarias últimas de dichos materiales exceden considerablemente las deformaciones unitarias de fluencia del acero, lo cual permite conservar gran parte de la ductilidad presente en la estructura antes de su rehabilitación.

De hecho, si el sistema de refuerzo FRP se diseña adecuadamente, la ductilidad de la estructura puede ser incrementada. Dependiendo del tipo de fibra de alta resistencia, su densidad y orientación, los esfuerzos de falla del FRP pueden exceder considerablemente los esfuerzos de falla del acero de refuerzo.

Es importante hacer mención que ciertos fabricantes proporcionan tanto las propiedades mecánicas de las fibras como las del material compuesto y en ciertos casos, solo proporcionan las propiedades de las fibras.

Por razones expuestas anteriormente, el ingeniero siempre deberá tener especial cuidado de no considerar las propiedades de las fibras como las propiedades de diseño del material compuesto.

Por consiguiente, si no están disponibles las propiedades de diseño para el material compuesto, el ingeniero deberá obtenerlas de pruebas de laboratorio realizadas bajo especificaciones existentes de ASTM.

2.1.2.5 Polímeros Reforzados con fibras de Vidrio

Este tipo de fibra conocido como GFRP por sus siglas en inglés (Glass Fiber Reinforced Polymer) “tiene la propiedad de ser un material fibroso obtenido al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza de agujeros muy finos que al pasar a un estado sólido posee la flexibilidad necesaria para ser empleada como fibra” (Rougier, 2003, P.24).



Figura 2. Fibra de vidrio.

Fuente: (Dueñas, 2015)

Los materiales compuestos reforzados con fibras de vidrio tienen las siguientes características favorables: buena relación resistencia/peso, buena estabilidad dimensional, buena resistencia al calor, al frío, a la humedad y a la corrosión y buenas propiedades aislantes eléctricas; por otra parte algunas de sus desventajas son la dificultad de reciclaje y principalmente la ausencia de códigos de diseño para su uso, debido a que las propiedades mecánicas de este material dependen directamente del proceso de fabricación y el tipo de ligante empleado. (Castillo, 2010, P.2)

Avilés, (2002) afirma que: “A diferencia de las fibras de carbono y aramida, las fibras de vidrio son isótropas, de forma que, por ejemplo, el módulo de Young a lo largo del eje de la fibra es el mismo que transversalmente al eje” (P.13)., Esto es consecuencia directa de la estructura tridimensional de la red del vidrio.

2.1.2.6 Polímeros reforzados con fibras de aramida

“Las fibras de aramida son fibras de origen orgánico y sintético que tienen alta resistencia y módulo de elasticidad debido a una perfecta alineación de los polímeros” (Avilés, 2002, P.14); de la misma manera que otras fibras como las de vidrio o carbono, el diagrama de tensión-deformación hasta la rotura es casi lineal.

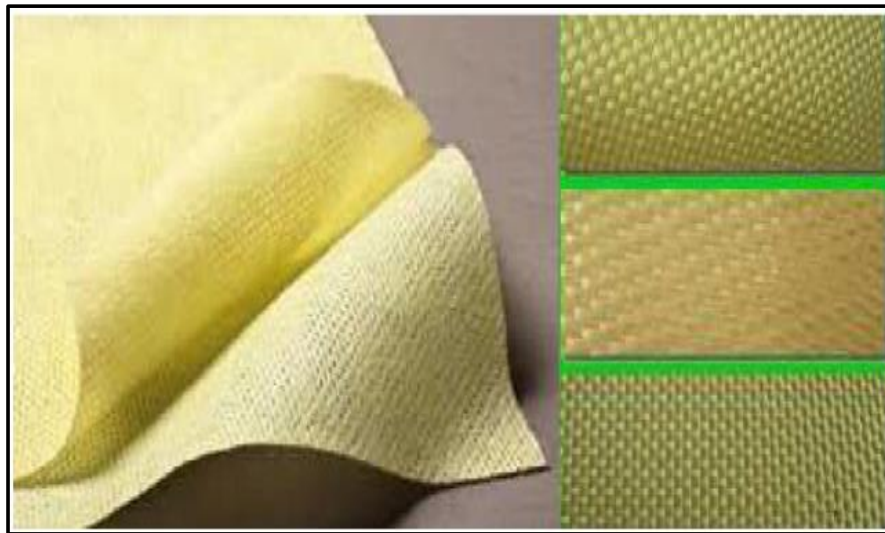


Figura 3. Fibra aramida.

Fuente: (Dueñas, 2015)

“El concepto de fibras orgánicas está basado teóricamente en la creación de fibras con una alta resistencia y alto módulo de elasticidad a partir de una perfecta alineación de polímeros durante el proceso de fabricación” (Qasir,2009, P.15).

Las fibras orgánicas más comunes en el mercado son las fibras aramida, que es el nombre genérico de fibras de poliamida aromática. Las fibras de aramida fueron introducidas comercialmente en 1972 por Du Pont bajo el nombre comercial de Kevlar y en la actualidad hay dos tipos comerciales: Kevlar 29 y Kevlar 49. El Kevlar 29 tiene una densidad baja y alta resistencia aportada por las fibras de aramida, y está diseñado para aplicaciones como protección balística, cuerdas y cables. El Kevlar 49 tiene baja densidad, alta resistencia y módulo elástico y se utiliza en aplicaciones aeroespaciales, marina, automoción y otras aplicaciones industriales.

2.1.2.7 Polímeros reforzados con fibras de carbono

Este polímero “se obtiene de calentar sucesivamente a altas temperaturas (hasta a 1500 °C) otro polímero llamado poliacrilonitrilo. Este proceso de recalentamiento da lugar a la formación de unas cintas perfectamente alineadas de casi carbono puro en su forma de grafito” (Tantalean, 2013, P.1).

Las fibras de carbono de alta resistencia y alto módulo son materiales compuestos no metálicos de tipo poliméricos, integrados por una matriz de resina epóxica en combinación con fibras de carbono, tienen un diámetro de 7 a 8 μm y están formados por pequeños cristales de grafito turbostrático (una de las formas alotrópicas del carbono). El módulo de elasticidad de las fibras de carbono depende del grado de perfección de la orientación, la cual varía considerablemente con las condiciones y proceso de fabricación. (Ashbee, 2003, P.35)

Existen varias presentaciones de laminados de fibras de carbono dentro de las cuales tenemos dos tipos principales: los tejidos de fibra orientados en forma unidireccional y las platinas preformadas, ambos sistemas son del tipo pasivo (no pretensado).

Los tejidos de fibras de carbono unidireccionales son saturados en obra con un sistema epóxico y es colocado en capas para conformar el sistema compuesto reforzado con fibras. La ventaja del tejido unidireccional con respecto a las platinas de carbono es que se coloca envolviendo elementos de forma irregular, lo cual no se puede hacer con las platinas ya que son rígidas y no se doblan.

Los tejidos son materiales en los cuales aún no se ha colocado la matriz de resina epóxica. Tienen más del 95% de las fibras en dirección longitudinal y entre aproximadamente el 5% en la dirección transversal, para efectuar el cosido e impedir el deshilachado de las longitudinales.

En base a la dirección del tejido, el paño de carbono puede ser más fuerte en una dirección específica o igual de fuerte en cualquier dirección, no obstante, las fibras brindan su mayor capacidad cuando el sentido del tejido está orientado en dirección de las tensiones.

Por su forma de tejido en forma de malla, una pequeña pieza puede soportar el impacto de varias toneladas de carga y deformarse mínimamente, ya que las fuerza se distribuyen y son amortiguadas por las fibras.

Las platinas de carbono son una mezcla entre fibras de carbono y resina epóxica que tienen en dirección de las fibras una gran resistencia y rigidez muy alta, así como un compartimento excepcional a la fatiga, mejor que la del acero y su densidad es muy baja.

Las fibras están colocadas en dirección longitudinal correspondiendo a la dirección de la sollicitación.

“Estos polímeros son anisótropos y prácticamente su composición determina la capacidad resistente del sistema. No presentan rama plástica en el diagrama esfuerzo-deformación, por lo que se consideran materiales perfectamente elásticos hasta la rotura” (ACI 4440.2R,2008, P.10).

El sistema FRP funciona bien solo cuando se asegura una adecuada adherencia a la cara de concreto. Bajo condiciones ambientales severas, la superficie del concreto puede representar un contacto muy débil en el proceso de reforzamiento y hay que tener un especial cuidado en esto. Dos factores importantes en el proceso de reforzamiento son la mano de obra especializada en su uso y aplicación y en control de calidad de la superficie a reparar. Otros factores también importantes son:

- Resistencia a la tracción de la superficie del concreto.
- Uniformidad y espesor de la capa de adhesivo.
- Resistencia y perfecta reacción química del sistema epóxico de adhesión.
- Geometría del elemento a reforzar.
- Condiciones ambientales en el momento de la aplicación.

Antes de instalar el sistema FRP, se debe preparar la superficie a reforzar tratando grietas o cangrejas, imperfecciones y limpiando o arenando las barras de refuerzo si estas presentan óxido. Es importante mencionar en esta parte que el sistema FRP no está diseñado para resistir grandes fuerzas expansivas generadas por la corrosión del refuerzo.

2.1.2.8 Las láminas de fibra de carbono

En el mercado están disponibles las láminas de fibras de carbono de 0,50 m de espesor por longitud variable, de acuerdo al requerimiento del diseño. Las fibras de carbono en la lámina vienen alineadas en una sola dirección, dirección en la que se provee la resistencia adicional.



Figura 4. Lamina Fibra de Carbono Sikadur 330

Fuente: (Dueñas, 2015)

Por ejemplo, en el caso del refuerzo de una losa aligerada cuya resistencia se desea aumentar, se disponen tiras de fibras debajo de las viguetas, en el número de capas necesario. En una losa armada en dos sentidos, se pueden disponer franjas en ambas direcciones.

Luego de la adecuada preparación de la superficie del concreto, mencionada en los párrafos anteriores, el proceso de aplicación de un sistema FRP se puede resumir en las siguientes etapas:

1. Ya preparada la superficie de concreto, se aplica una capa de imprimante epóxico usando un rodillo especial. Usualmente, este primer producto epóxico tiene una baja viscosidad permitiendo su penetración en el concreto.

2. Acto seguido, se aplica una masilla o pasta epóxica para rellenar cualquier defecto en la superficie que pueda quedar mayor de.” de profundidad (Cualquier cangrejera o hueco profundo debe ser rellenado con mortero durante la preparación de la superficie de concreto, no en esta etapa).

3. Luego, se cubre la superficie con un saturante epóxico para impregnar las fibras secas. Este saturante mantiene las fibras en su adecuada dirección y posición. El objetivo de esta capa de saturante es rápidamente empapar las fibras y mantenerlas en su ubicación mientras se inicia el proceso de curado del sistema de reforzamiento. Debido a su alta viscosidad, permite el fácil manejo de la fibra y su correcta aplicación. Este saturante también distribuye los esfuerzos en las fibras y ayuda a protegerlas de las condiciones ambientales y la abrasión.



Figura 5. Impregnación de viga con resina epoxi.

Fuente: (Mapei, 2015)

4. Se cortan y preparan a medida las láminas de fibras de carbono de acuerdo al diseño del proyecto y se colocan en su lugar, permitiendo que comience a absorber el saturante.

5. Luego de un tiempo de espera determinado que permite que la lámina absorba la primera capa de saturante, se aplica una segunda capa de saturante para cubrirla.
6. Finalmente, se aplica una capa de acabado que cubre totalmente el sistema FRP, logrando una apariencia similar a un concreto común. Esta capa también protege a la fibra de los rayos ultravioletas, ataques químicos, abrasión, severas condiciones climáticas, etc.

Es muy importante mencionar que la efectividad de este sistema depende de la pericia y experiencia que debe tener el técnico aplicador para lograr una adecuada adherencia concreta fibra, siempre bajo la supervisión de un ingeniero entrenado en este procedimiento. El manejo adecuado de los tiempos de espera entre una y otra capa, los espesores exactos de las capas, y la presión de aplicación son factores determinantes en la resistencia final del sistema, por lo que no se recomienda su aplicación en manos inexpertas.

2.1.2.9 Aplicaciones de los sistemas FRP

- Los beneficios de este sistema de reforzamiento, se puede resumir en:
- Peso muy liviano (mínima carga muerta adicional)
- Alta durabilidad, anticorrosivo y bajo mantenimiento.
- Rápida instalación, con el consiguiente ahorro de dinero y tiempo de espera.
- Mínimo incremento de espesor en la geometría del elemento.
- Muy flexible, adaptable a todas las formas de los elementos

Tantalean, (2013) afirma que: Sus aplicaciones más usuales vienen determinadas por:

- Cambios en el uso o cargas en las edificaciones.
- Defectos en el diseño o construcción.

- Cambios en las normas de diseño.
- Daños sísmicos.
- Deflexiones excesivas (P.4).

2.1.2.10 Aplicaciones en vigas

Al aplicarse en vigas, el sistema FRP incrementa sensitivamente la capacidad de resistencia a la flexión y al corte en estos elementos. La resistencia adicional es tal, que una viga agrietada por las cargas a las que ha sido sometida, reforzada de extremo a extremo posteriormente con este sistema, puede llegar a superar su capacidad de carga adicional.

Al aplicar este sistema en la cara del fondo de la viga, en su longitud, incrementamos su resistencia a la flexión, controlando mejor su deflexión, mientras que, si se aplica en las caras laterales, incrementamos su resistencia al corte.



Figura 6. Reforzamiento por corte y flexión en viga estructural.

Fuente: (Tantalean, 2013)

2.1.2.11 Aplicaciones en muros de concreto o albañilería

El uso de este sistema en muros de concreto o de albañilería ayuda a absorber las cargas de compresión o laterales (flexión) que se puedan presentar. Se puede usar en placas, muros de sostenimiento, paredes cilíndricas de los reservorios, cajas de ascensor, estructuras industriales sujetas a posibles presiones de explosiones, etc.

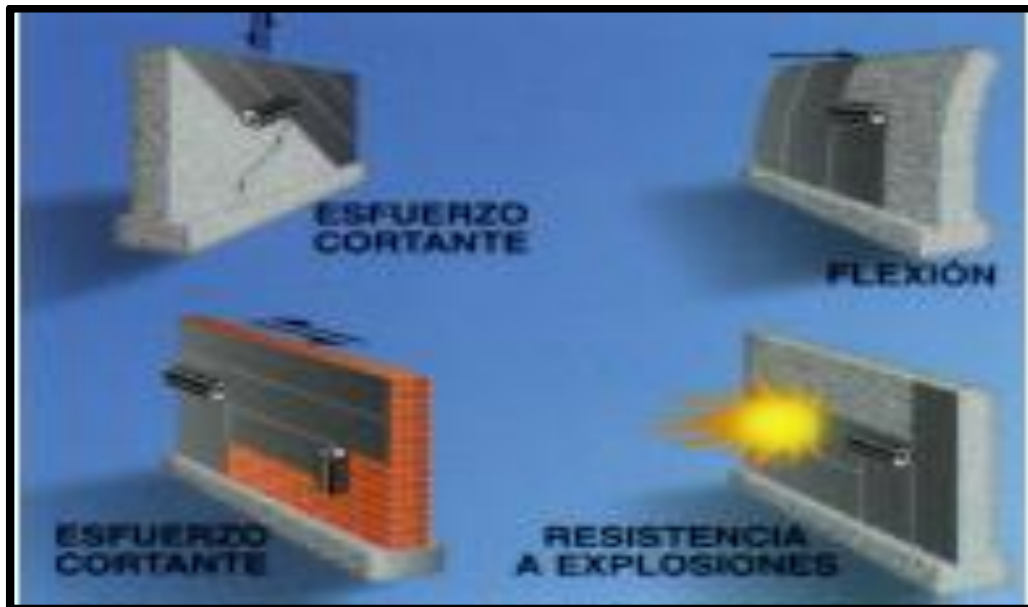


Figura 7. Posibilidades de reforzamiento con fibra de carbono en muros.

Fuente: (Tantalean, 2013)

2.1.2.12 Aplicaciones en columnas

Una de sus aplicaciones más usuales consiste en incrementar la resistencia a la flexión y dotar de mayor confinamiento a las columnas. Este es un sistema de bajo costo en comparación a tener que agrandar la sección de las columnas, con la consiguiente pérdida de la apariencia arquitectónica original. Una vez reforzada y recubierta la columna, el cambio en la apariencia es nulo, pero muy significativo en resistencia.



Figura 8. Aplicación de fibra de carbono en columna.

Fuente (Rougier, 2003)

2.1.2.13 Aplicaciones en losas

Al aplicar este sistema de reforzamiento en losas aligeradas o macizas armadas en una o dos direcciones, las cargas de servicio pueden ser sustancialmente incrementadas, manteniendo un control de su deflexión. Otras estructuras que pueden ser reforzadas son tableros de puentes, losas de piso de concreto, losas de estacionamiento, losas industriales, etc.

Como hemos podido observar, las aplicaciones de este sistema son tantas como las necesidades de reforzamiento de una estructura. Y en el campo del reforzamiento estructural, en un País altamente sísmico como el nuestro y con muchas edificaciones que han sido construidas por mano de obra sin experiencia, con escasa dirección técnica y sin respeto alguno de normas o reglamentos, como profesionales debemos estar atentos al uso de estas nuevas tecnologías que nos simplifican la vida con una buena relación beneficio-costos en comparación a los métodos tradicionales.



Figura 9. Aplicación de fibra de carbono en losa.

Fuente: (Tantalean, 2013)

2.1.3 Situación del micro-entorno y análisis interno

En el caso de Honduras, la práctica de utilizar materiales FRP para refuerzo externo de elementos de concreto no se ha desarrollado lo suficiente. La razón de tal rezago aparenta estar ligado al desconocimiento por parte de los ingenieros de las propiedades y el comportamiento del material (Hernández, 2017),

Porque no se tiene claro cuáles son sus ventajas y desventajas y porque se tiene la percepción de que su alto costo le resta competitividad.

2.2 Teorías.

2.2.1 Teorías de sustento.

En obras civiles pueden existir varias causas que afectan el comportamiento de la estructura y que lleven a diseñar e implementar un refuerzo.

Entre los principales y que comúnmente se suscitan podemos mencionar los siguientes:

- a) Cambio de uso en la edificación: Esta acción supone soportar cargas superiores a las previstas en el diseño original o que la distribución de las mismas sea totalmente distinta a las consideradas inicialmente.
- b) Asentamientos diferenciales: Este fenómeno produce fallas en la cimentación por problemas de suelos no considerados en el correspondiente estudio y diseño.
- c) Errores en la fase de diseño: Errores que comprometen la resistencia y durabilidad de la estructura.
- d) Errores que se producen durante la fase de construcción, provocados por la falta de personal calificado en construcción o por falta de fiscalización.
- e) Problemas debido al deterioro y degradación de la materia prima de construcción. Pueden tener dos causas: el paso del tiempo o la exposición a agentes químicos ambientales como por ejemplo la oxidación, fenómeno que produce corrosión del refuerzo que se encuentra expuesto por alguna situación.
- f) Modificación y eliminación parcial o total de ciertos elementos estructurales.
- g) Modificación de criterios ante la respuesta sísmica de las normativas de construcción, códigos y reglamentos de diseño

Todos estos factores conducen a evaluar una estructura y la forma técnica más adecuada de intervenirla. Las acciones necesarias para realizar el refuerzo mediante la utilización de diferentes materiales y métodos hacen de la misma, una estructura segura y confiable.

2.2.1.1 Métodos empleados para reforzar estructuras

Las técnicas de reforzamiento: se obtienen de un proceso de recopilación de información de campo, de trabajos empíricos, planteamiento de objetivos y de las limitaciones del proyecto.

En el refuerzo de estructuras de cualquier tipo el sistema convencional mediante láminas de acero es ampliamente utilizado y quizás el de mayor eficacia, en especial es zonas de estructuras traccionadas por esfuerzo de flexión, pero pese a la eficacia del método, los materiales metálicos presentan algunos inconvenientes significativos que se deben considerar.



Figura 10. Encamisado de columna con acero.

Fuente: (Raigosa, 2010)

Para resolver las deficiencias mencionadas con los métodos convencionales de reforzamiento y frente al crecimiento y elevado número de estructuras que requieren ser reforzadas se concluye que los materiales tradicionales pueden resultar inadecuados en determinadas

situaciones, por lo que se debe buscar alguna solución que sea más eficiente, eficaz y económica; por esta razón es importante considerar entre otras alternativas, los materiales compuestos.

Avances recientes en el campo de los materiales poliméricos reforzados con fibras, han generado el desarrollo de materiales innovadores con un potencial muy alto para el refuerzo de miembros estructurales en zonas donde los materiales habitualmente empleados fallan.

La historia de la humanidad está directamente ligada con *la calidad* desde los tiempos más remotos, el hombre al construir sus armas, elaborar sus alimentos y fabricar su vestido observa las características del producto y en seguida procura mejorarlo.

La práctica de la verificación de la calidad se remonta a épocas anteriores al nacimiento de Cristo. En el año 2150 A.C., la calidad en la construcción de casas estaba regida por el Código de Hammurabi, cuya regla # 229 establecía que "si un constructor construye una casa y no lo hace con buena resistencia y la casa se derrumba y mata a los ocupantes, el constructor debe ser ejecutado". (Espinosa, 2009, P.4)

Los fenicios también utilizaban un programa de acción correctiva para asegurar la calidad, con el objeto de eliminar la repetición de errores. Los inspectores simplemente cortaban la mano de la persona responsable de la calidad insatisfactoria. En los vestigios de las antiguas culturas también se hace presente la calidad, ejemplo de ello son las pirámides egipcias, los frisos de los templos griegos, etc.

Durante la edad media surgen mercados con base en el prestigio de la calidad de los productos, se popularizó la costumbre de ponerles marca y con esta práctica se desarrolló el interés de mantener una buena reputación (las sedas de damasco, la porcelana china, etc.

Dado lo artesanal del proceso, la inspección del producto terminado es responsabilidad del productor que es el mismo artesano. Con el advenimiento de la era industrial esta situación cambió, el taller cedió su lugar a la fábrica de producción masiva, bien fuera de artículos terminados o bien de piezas que iban a ser ensambladas en una etapa posterior de producción.

La era de la revolución industrial, trajo consigo el sistema de fábricas para el trabajo en serie y la especialización del trabajo. Como consecuencia de la alta demanda aparejada con el espíritu de mejorar la calidad de los procesos, la función de inspección llega a formar parte vital del proceso productivo y es realizada por el mismo operario.

Hay tres motivos básicos para implementar la calidad total:

- Motivos pasados:

Bonilla, (2009) afirma que: “las organizaciones están perdiendo muchísimo dinero desde hace mucho tiempo y perderán más cada año que pasa hasta cerrar sus puertas, si no mudan su óptica a tiempo. Esta pérdida está representada, básicamente, por los costos de la mala calidad” (P.9).

Estos costos son de la más variada naturaleza. En verdad, toda organización debería hacer una auditoría para saber cuánto es que ella pierde por continuar su modo usual de administrar.

- Motivos actuales:

La presión social está aumentando sobre las organizaciones. Los principales síntomas son:

1. Leyes de defensa del consumidor.
2. Reducción de tasas aduaneras.
3. Leyes de protección ambiental.
4. Disposiciones legales sobre distribución de lucros.
5. Exigencias de normas y padrones internacionales (ISO 9000, ISO 14000).
6. Adopción de calidad total en empresas competidoras, nacionales e internacionales.

- Motivos futuros (inmediatos):

Estos motivos también son de la más variada naturaleza, tales como:

Desarrollo acelerado de mercados comunes, en los cuales las empresas que no se adapten a las nuevas modalidades de mercado no tendrán como sobrevivir.

Aplicación acelerada de la filosofía y de las técnicas de la calidad total en las organizaciones del mismo ramo, reduciendo en forma drástica sus costos; de modo que se vuelven más y más competitivas. Esto también se aplica a las empresas públicas, que muchas veces son obligadas a competir con el capital privado (por ejemplo, Bancos).

Aumento acelerado de la concientización del ser humano, debido al rápido desarrollo de su hemisferio cerebral derecho, siendo que hasta ahora utilizamos casi exclusivamente el izquierdo. Los usuarios ya no se conforman con “lo que hay” y cada vez exigen productos y servicios de buena calidad.

Otro problema, de fundamental importancia, “es el de los números tangibles y de los números intangibles. Los primeros son bien conocidos por todo administrador, los otros son ignorados porque hacen parte del futuro, pero ellos son construidos con nuestra acción presente” (Bonilla, 2009, P.9).

Uno de estos números intangibles tiene relación con lo que ocurre cuando un cliente está satisfecho con nuestro producto (y en esa satisfacción deben estar involucrados todos los sectores de la empresa, actuando con elevados padrones de calidad, de modo que por eso se habla en calidad total), y otro número intangible está relacionado a lo que ocurre cuando el cliente está insatisfecho con nuestro producto.

Esta insatisfacción no puede ser atribuida – una vez más – a una supuesta incapacidad del Departamento de Producción de producir algo realmente bueno; lo que está en juego es la capacidad del principal y de la dirección toda, para hacer de la organización una empresa viable). De la dinámica de estos números intangibles dependerá no solo la prosperidad de cada empresa y sí su propia sobrevivencia.

Bonilla, (2009) afirma que: “no hay un modelo único, dogmático e inmodificable para implantar la calidad total. Cada consultor tiene su propio esquema, pero existen – sin duda – algunos puntos esenciales que no pueden ser omitidos” (P.9).

Ellos son presentados en una concentrada relación de diez asuntos, a saber:

1. El Principal debe asumir públicamente la implantación de la calidad total en la empresa, dirigiéndola como un proceso gradual – pero definitivo – parecido con una bola de nieve que tiene dificultades de alcanzar su masa crítica durante el período inicial, pero que después – una vez alcanzada esta – se transforma en un proceso irresistible. Para formar esta masa crítica se precisa de un mínimo de tres años, por eso, no hay tiempo que perder.
2. Definición de las directrices básicas, sustentadas en el abordaje eco-sistémico (u holístico).
3. Creación del Comité de Calidad Total, implantación y desarrollo de la misma. con su Secretaría Ejecutiva, responsable por la implantación y desarrollo de la misma.
4. Desarrollo de un Programa de Educación y Capacitación Gradual, pero que incluya todos los integrantes de la empresa, desde el principal hasta el último funcionario, con énfasis tanto en el crecimiento del ser humano como en las técnicas de gestión de calidad total.
5. Instalar el subsistema de rutinas, estableciendo padrones o estándares que permitan mantener la estabilidad de los procesos específicos.
6. Difundir el proceso de “identificación de problemas” a todos los niveles de la empresa, con un objetivo doble: uno, poder descubrir donde concentrar los esfuerzos de perfeccionamiento; dos, llevar a la empresa todo un proceso de auto-análisis cooperativo, como germen para la creación de un futuro pensamiento (y acción) común.
7. Dar énfasis especial al “crecimiento del ser humano” conducido por cada responsable de área. Aplicar la metodología de “solución de problemas”, mediante instrumentos específicos que deberán ser enseñados a todos los miembros de la empresa, y que los capacitarán – cada uno en su nivel – a encontrar las soluciones adecuadas para que la calidad total se transforme en una auténtica realidad.

8. Instalación del subsistema de mejoras, a través del cual los estándares o padrones, establecidos por la rutina son mejorados continuamente, en una demostración de aplicabilidad plena de los principios de la calidad total. Es en este punto que la empresa va madurando para el nuevo enfoque y donde los retornos de los primeros tiempos de esfuerzo y dedicación, comienzan a ofrecer los magníficos frutos de la productividad, competitividad y lucratividad.
9. Instalación de círculos de control de calidad, con los cuales se consigue el paso final para la integración de los diferentes niveles de la empresa.
10. Implantación de auditorías de calidad, necesarias para monitorear la marcha del proceso.

2.2.2 Conceptualizaciones

Viga. Elemento estructural lineal que trabaja principalmente a flexión. El esfuerzo de flexión provoca tensiones de tracción y compresión, produciéndose las máximas en el cordón inferior y en el cordón superior respectivamente, las cuales se calculan relacionando el momento flector y el segundo momento de inercia. (Pérez, 1990, P.32)

Columna. Elemento arquitectónico de soporte, rígido, más alto que ancho y normalmente de sección cilíndrica o poligonal, que sirve para soportar la estructura horizontal de un edificio, un arco u otra construcción (Caballero, 2007, P.43).

Flexión. “En ingeniería se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. (Berrocal, 1991, P.12)

Vulnerabilidad Sísmica. Se define como la predisposición intrínseca de una estructura a sufrir daños ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño (Bonnet, 2003, P.32).

Reforzamiento Estructural. es el proceso de incrementar la capacidad de carga y serviciabilidad de una estructura (Gere, 2009, P.9).

Resina Epoxi. Una clase de sistema de unión química orgánica utilizada en la preparación de recubrimientos o adhesivos para concreto o como aglutinante en morteros, y compuestos de FRP. (ACI-440.2R, 2008, P.9)

Compuesto. Material hecho de dos o más materiales que permanecen distintos, pero se combinan para crear un material con propiedades no poseídas por ninguna de los materiales constituyentes individualmente (ACI-440.2R, 2008, P.9).

2.3 Metodologías aplicadas.

Una estructura puede concebirse como un conjunto de partes o componentes que se combinan en forma ordenada para cumplir una función dada, más específicamente, soportar la acción de una serie de fuerzas aplicadas sobre ellos.

La estructura debe cumplir la función a que está destinada con un grado de seguridad razonable y de manera que tenga un comportamiento adecuado en las condiciones normales de servicio.

2.3.1 Análisis estructural

El análisis de estructuras significa la separación de la estructura en sus elementos constitutivos y la determinación del efecto de las cargas aplicadas a la estructura en cada elemento. Cualquier estructura es un todo continuo, pero para fines de análisis se puede dividir en distintos miembros, como serían las barras de una armadura, o las vigas, columnas y losas en la estructura de un edificio, o las pilas, estribos, sistemas de piso y cables, en un puente colgante.

Una vez dividida la estructura en sus distintos miembros, la determinación del efecto de las cargas en cada miembro se lleva a cabo calculando las acciones internas producidas por esas cargas, o sea, las fuerzas axiales, las fuerzas cortantes, los momentos flexionantes y los torsionantes de cada miembro, así como las deformaciones de cada elemento y de la estructura completa.

Como un concepto general, Kassimali (2001) señala que el análisis estructural “es la predicción del comportamiento de una estructura dada bajo cargas prescritas y otros efectos externos, o bajo ambas influencias, como movimientos en los apoyos y cambios de temperatura” (p. 4).

2.3.2 Diseño estructural

El diseño estructural incluye el arreglo y dimensionamiento de las estructuras y sus partes, de tal manera que las mismas soporten satisfactoriamente las cargas colocadas sobre ellas. En particular, el diseño estructural implica lo siguiente:

1. La disposición general de las estructuras
2. Estudio de los posibles tipos o formas estructurales que representen soluciones factibles.

3. Consideración de las condiciones de carga.
4. Análisis y diseño preliminares de las soluciones posibles.
5. Selección de una solución y análisis y diseño estructural final de la estructura, incluyendo la preparación de los planos.

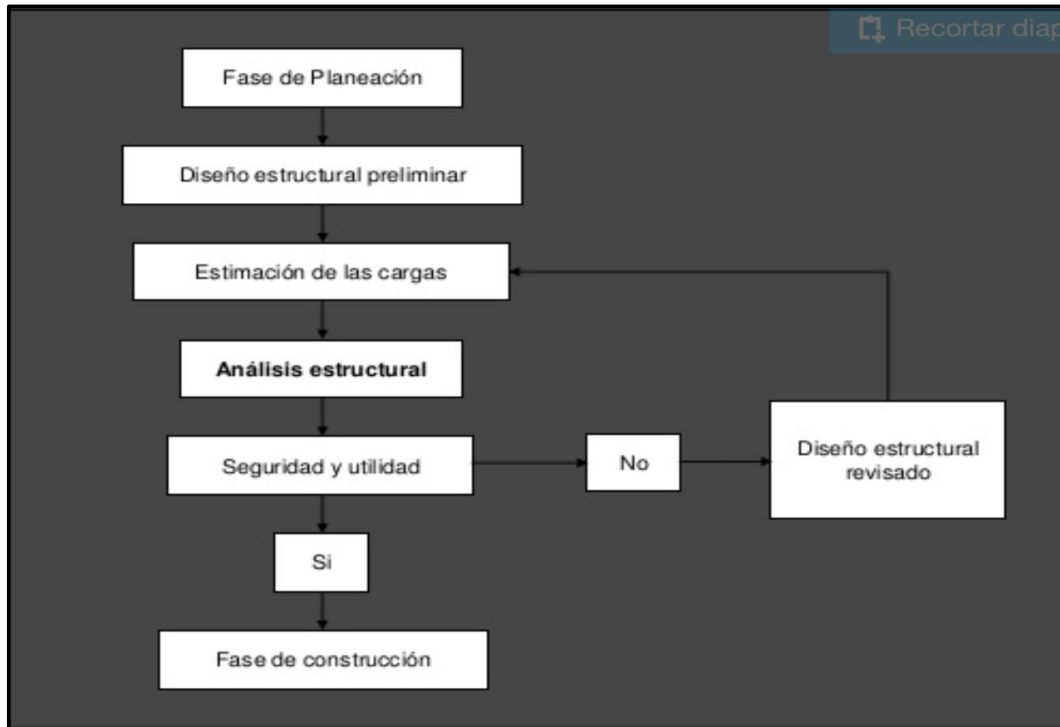


Figura 11. Fases de un proyecto típico de ingeniería estructural.
Fuente: (Kassimali, 2001).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se definen elementos como ser la congruencia metodológica, los enfoques y métodos, el diseño de la investigación, así como los instrumentos, las fuentes primarias y secundarias empleadas y las técnicas y procedimientos aplicados, en las presentes investigaciones.

3.1 Congruencia Metodológica

3.1.1 Matriz Metodológica

Tabla 3. Matriz Metodológica.

Tema	Problema	Preguntas de Investigación	Objetivos		Variables	
			General	Específico	Independientes	Dependientes
alternativa de reforzamiento en elementos de concreto en estructuras con vulnerabilidad sísmica en Tegucigalpa.	necesidad de reforzar las estructuras que presenten vulnerabilidad sísmica o aquellas que presenten fallas	¿Cuáles son los factores para el incumplimiento de los parámetros sísmicos establecidos en la normativa nacional?	en las adopción y cumplimiento de los parámetros sísmicos en Tegucigalpa, mediante un plan de acción de acuerdo a requerimientos sísmicos que incluya el uso de polímeros, con el fin de contrarrestar la vulnerabilidad sísmica estructural.	Identificar y analizar los factores y consecuencias físicas que contribuye el incumplimiento o desuso de la normativa en pórticos de concreto en estructuras ubicadas en Tegucigalpa.	Relación resistencia-peso	Plan para la aplicación de los polímeros reforzados en casos estructurales específicos.
		¿Cuál podría ser una alternativa eficaz para contrarrestar los daños en edificaciones vulnerables a eventos sísmicos?		Definir alternativas o soluciones a deficiencias estructurales encontradas mediante el uso de fibras de carbono.		

		¿Cómo se implementaría la posible solución encontrada?		Proponer un plan para la aplicación de los polímeros reforzados en casos estructurales específicos.	Costo	
		¿Cuáles serían los alcances de dicha alternativa?		Entregar una guía de diseño de refuerzo para vigas de concreto con FRP.	Durabilidad	
		¿Qué tipo de fallas buscamos contrarrestar?			Aplicabilidad	

3.1.2 Variables de estudio

Variables independientes:

- a) Relación Resistencia-Peso.
- b) Tolerancia a la Corrosión.
- c) Costo.
- d) Durabilidad.
- e) Aplicabilidad.

Variable Dependiente:

- a) Plan para la aplicación de los polímeros reforzados en casos estructurales específicos.

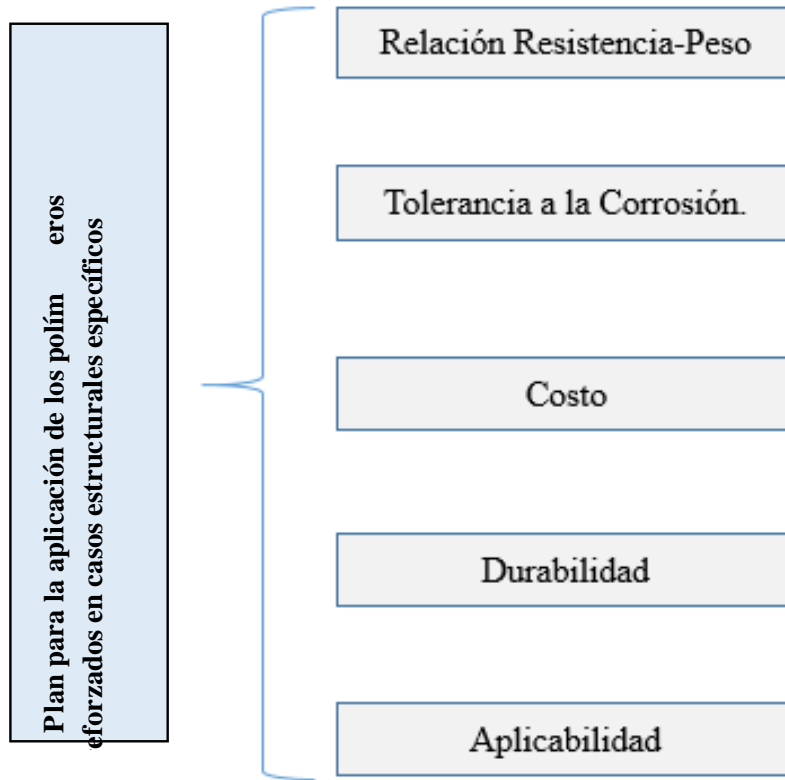


Figura 12. Diagrama de variables de estudio

3.1.3 Operacionalización de las variables

Tabla 4. Operacionalización de las Variables.

Variable Independiente	Definición		Dimensión	Indicador	Ítem	Unidades (Categorías)	Escala
	Conceptual	Operacional					
Relación Resistencia -Peso.	Evaluación de la resistencia en relación al peso aportada por la fibra de carbono	Determina la eficacia del material	Materiales resistentes y de bajo peso	propiedades físicas de la fibra de carbono.	¿Ha diseñado alguna estructura?	SI NO	1 2

Tolerancia a la Corrosión.	Nivel de corrosión máximo al cual la fibra de carbono puede ser expuesta	Evita los efectos corrosivos en la estructura	Materiales resistentes a la corrosión y sulfatos		¿Qué tipo de estructura ha diseñado?	Edificios mayores de 3 niveles Casas habitacionales Muros Puentes y carreteras Represas y obras de captación de agua Otros	1 2 3 4 5 6
Costo.	Factor económico para la adquisición de la fibra de carbono	Esta variable define en gran parte la viabilidad del uso de la alternativa propuesta	Materiales económicos		En sus diseños, ¿Qué normativa de diseño estructural ha utilizado?	CHOC-08 ACI Otros tipos de códigos o normativas Ninguna	1 2 3 4
Durabilidad.	Vida útil del material, se busca que esta sea la mayor posible	Dota a la estructura de los beneficios del material usado durante un tiempo definido.	Materiales con larga vida útil		En su experiencia, ¿Cuántos proyectos ha realizado sin diseño estructural?	Ninguno De 1 a 5 De 5 a 10 Más de 10	1 2 3 4

Aplicabilidad.	Acción de aplicación de la fibra de carbono en la estructura.	Permite rehabilitar la estructura de manera rápida y práctica.	Materiales aplicables de manera manejable y en poco tiempo		¿Ha buscado un especialista en estructuras para el diseño de sus proyectos?	SI	1
						NO	2
					¿Por qué no ha buscado la ayuda de un especialista en estructuras?	Por no conocer a ninguno Porque representa un gasto extra para el proyecto Porque no son necesarios para el tipo de proyectos a ejecutar Por indiferencia	1 2 3 4

3.1.4 Hipótesis

El uso de materiales compuestos o polímeros específicamente, la fibra de carbono dará mayor resistencia y evitará fallas a las estructuras con vulnerabilidad sísmica en Tegucigalpa.

3.2 Enfoque y métodos

Esta investigación presenta un enfoque mixto, en donde la parte cuantitativa rige sobre la cualitativa ya que para alcanzar los objetivos y probar la hipótesis planteada es necesario realizar ensayos y cálculos que comprueben la eficiencia de la alternativa propuesta.

Además, se hace uso de elementos estadísticos para determinar la magnitud del problema y la viabilidad de la posible solución.

De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la hipótesis. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, p. 4)

Los métodos de investigación utilizados son:

3.2.1 Inductivo – Deductivo

El método Inductivo – Deductivo es un método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares y se hace uso de el en la presente investigación.

Este método utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos, para llegar a conclusiones cuya aplicación sea de carácter general. El método se inicia con un estudio individual de los hechos y se formulan conclusiones universales que se postulan como leyes, principios o fundamentos de una teoría. (Bernal et al., 2014, p. 39)

3.2.2 Histórico.

El método histórico se utiliza en esta investigación en el proceso de recaudación de información con el fin de tener una perspectiva general hasta la fecha de la problemática a tratar.

Es indispensable que en el estudio de las cuestiones históricas se analicen los sucesos descomponiéndolos en todas sus partes para conocer sus posibles raíces económicas, sociales, políticas, religiosas o etnográficas y partiendo de este análisis llevar a cabo la síntesis que construya y explique el hecho histórico (Delgado García, 2009, p. 11).

3.2.3 Explicativo

Se utiliza el método explicativo con el fin de explicar porque ocurre el fenómeno a investigar y las condiciones en las que se da este.

Gómez (2006) Afirma:

Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; están dirigidos a encontrar las causas de los eventos sucesos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar porque ocurre u ocurrió un fenómeno en qué condiciones se da o se dio este, o porque se relacionan dos variables de determinada manera. (p. 68)

3.2.4 Descriptivo

Mediante este método haremos las respectivas mediciones con el fin de analizar las variables más influyentes y su injerencia en el problema.

En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones, conceptos o variables y se mide cada una de ellas independientemente de las otras, con el fin, precisamente, de describirlas. Estos estudios buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno. (Cazau, s. f, p. 27)

3.2.5 Analítico.

Mediante este método, se interpretan los resultados obtenidos en la investigación. En el caso de esta investigación analizaremos los beneficios que aportan las fibras de carbono a las estructuras con vulnerabilidad sísmica.

El método analítico consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos. El análisis es la observación y examen de un hecho en particular. Este método nos permite conocer más del objeto de estudio, con lo cual se puede: explicar, hacer analogías, comprender mejor su comportamiento y establecer nuevas teorías. (Ruiz, 2006)

3.3 Diseño de la investigación

Para el diseño de esta investigación se empleó un modelo experimental transversal en donde las fases más representativas de la misma son la identificación del problema, sobre el cual para poder definirlo se realizó un anteproyecto para determinar los alcances de la misma.

Luego se plantean los objetivos, se recopila la información necesaria de las fuentes primarias y secundarias arriba mencionadas, se implementan las respectivas metodologías para el análisis con el fin de obtener resultados y conclusiones. Sampiere recomienda este diseño para investigaciones de este tipo y se expresa referente a este modelo de la siguiente forma:

Sampieri et al., (2010) afirma que los diseños transversales: “recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como tomar una fotografía de algo que sucede” (p. 151).

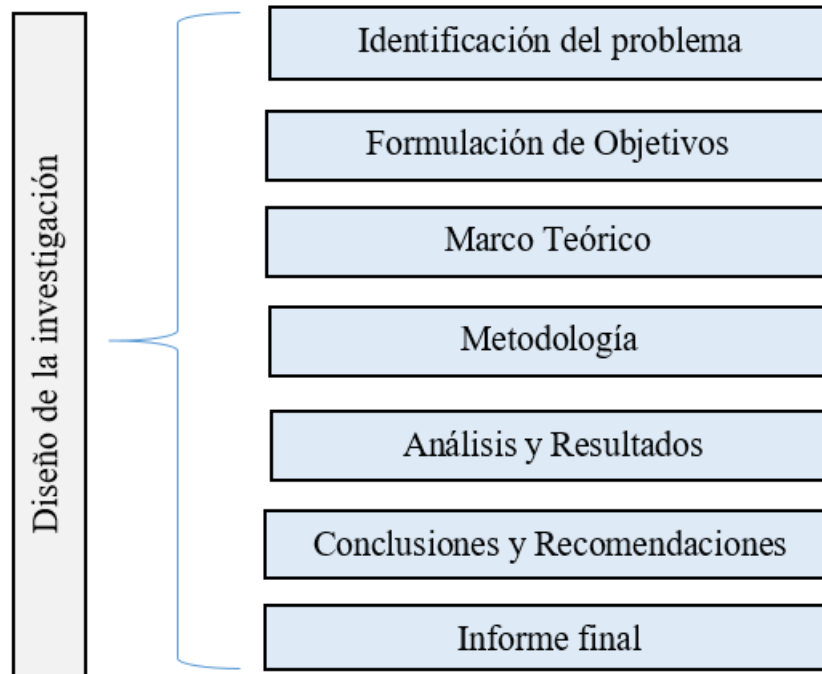


Figura 13 Desarrollo de la investigación.

3.3.1 Población

Se define para esta investigación, una población de 93 personas, representados por ingenieros civiles activos registrados en el Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras (CICH), cuya área de trabajo es la ciudad de Tegucigalpa.

Población, es el conjunto de individuos o elementos identificados y delimitados con atributos y características observadas y medidas... la población presenta dificultades cuando el número de elementos de la población es infinito, si los elementos se destruyen, si sufren daños al ser medidos o están muy dispersos, si el costo de los trabajos es muy elevado (Guerra Bustillo, Menéndez Acuña, Barrera Morera, & Egaña, 2003).

3.3.2 Muestra

El método implementado para el cálculo de la muestra es el método para poblaciones finitas, tomando como base muestral para la encuesta a 60 ingenieros civiles activos.

La palabra muestra se refiere a cualquier parte de la población... Una muestra de objetos en la que cada uno de estos se escoge de forma aleatoria recibe el nombre de muestra aleatoria... en este sentido será suficiente pensar en una muestra aleatoria como aquella que se obtiene al asegurar a cada objeto la oportunidad de pertenecer a esta (sin afectar la oportunidad de los demás miembros). (Naiman, Rosenfeld, & Zirkel, 1987, p. 4)

3.3.3 Unidad de análisis

La unidad de análisis utilizada en esta investigación está representada por la muestra definida (Personas del gremio y expertos en estructuras).

3.3.4 Unidad de respuesta

Se presenta como unidad de respuesta de la presente investigación: Unidades y Porcentajes.

3.4 Instrumentos, técnicas y procedimientos aplicados

3.4.1 Instrumentos

El principal instrumento para recolectar la información necesaria para llevar a cabo la investigación es el cuestionario, el cual se utiliza tanto en la encuesta como en la entrevista.

3.4.2 Técnicas

Partiendo del enfoque de esta investigación (enfoque mixto), y tomando en cuenta los objetivos trazados se define como técnicas a utilizar la encuesta y la entrevista. En la cual, en el caso de la encuesta, se formularon preguntas concretas con el fin de obtener respuestas cerradas por parte de los encuestados. Y en el caso de la entrevista, se realizaron preguntas abiertas con el fin de que los expertos ahondaran más en el tema. (Ver anexo I y II)

3.4.3 Procedimientos

- a) La encuesta se aplicó vía internet, enviándole un ejemplar del cuestionario a cada miembro activo del Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras, quienes respondieron de forma electrónica retroalimentando automáticamente la base de datos y los resultados.
- b) La entrevista se realizó de manera personal con el fin de captar la mayor parte de información necesaria.

3.5 Fuentes de información

3.5.1 Fuentes primarias

La fuente primaria de la información obtenida, proviene de la encuesta y la entrevista realizada a expertos en el área de la construcción, diseño y/o rehabilitación de estructuras.

3.5.2 Fuentes secundarias

Dentro de las fuentes secundarias podemos mencionar libros, revistas científicas, Tesis, códigos, leyes, documentos publicados en la web.

3.6 Limitaciones del estudio.

- a) Los expertos calificados en el tema son pocos.
- b) El tiempo para el desarrollo de la investigación es muy corto.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo enmarca el análisis y los resultados obtenidos con los instrumentos de recopilación de información utilizados. Los cuales se presentan a continuación.

4.1 Resultados de la encuesta

Con el objetivo de identificar y analizar los factores y consecuencias físicas que contribuye el incumplimiento o desuso de la normativa nacional de construcción aplicada a estructuras ubicadas en Tegucigalpa se realiza la siguiente encuesta:

Tabla 5. Involucramiento en construcción de edificios

1 ¿Ha estado involucrado en la construcción de edificios?

Involucramiento en construcción de edificios	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Involucrado	54	90%	90%
NO involucrado	6	10%	100%
Total	60	100%	

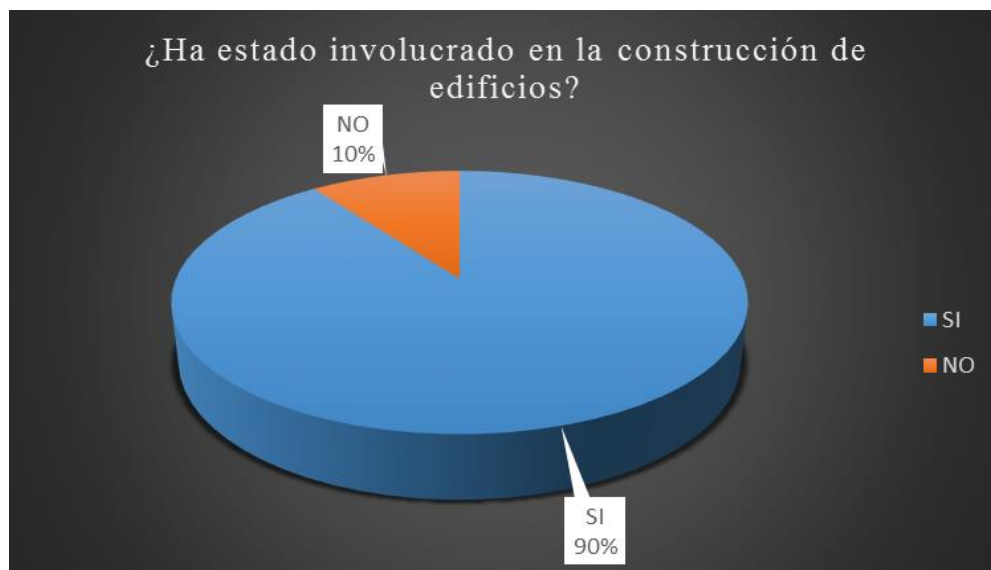


Figura 14. Involucramiento en la construcción de edificios.

Según el hallazgo manifestado, se observa que gran mayoría de los ingenieros activos se dedican a la construcción en campo. El resto se asume que, al estar activos, realizan trabajo de gabinete como ser diseño, formulación de proyectos, cálculos de presupuestos, preparación de concursos y licitaciones. Lo que significa que, aunque no estén en el campo, si están relacionados con los proyectos y ejercen la profesión. La tendencia esperada es estable ya que en el rubro existen mayores fuentes de trabajo en el campo que en la oficina. Sin embargo, se concluye que ambos escenarios son igual de importantes en el ámbito.

Tabla 6. Experiencia en diseño de estructuras

2 ¿Ha diseñado alguna estructura?

Experiencia en diseño de estructuras	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Ha diseñado	25	42%	42%
NO ha diseñado	35	58%	100%
Total	60	100%	



Figura 15. Experiencia en diseño de estructuras.

El hallazgo derivado de esta pregunta no es positivo, en el gráfico se presenta una tendencia creciente a las respuestas negativas. Eso nos indica que los ingenieros se inclinan más por el área de construcción y no por el diseño. Por lo tanto, una de las conclusiones que podemos sacar de este análisis es que los ingenieros civiles no presentan las competencias necesarias que les permita realizar un diseño estructural o bien es más rentable el área constructiva que dedicarse al diseño de estructuras.

Tabla 7. Tipos de estructuras diseñadas

3 ¿Qué tipo de estructura ha diseñado?

Tipos de estructuras diseñadas	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Edificios mayores de 3 niveles	1	4%	4%
Casas habitacionales	12	48%	52%
Muros	2	8%	60%
Puentes y carreteras	9	36%	96%
Represas y obras de captación de agua	0	0%	96%
Otros	1	4%	100%
Total	25	100%	



Figura 16. Tipos de estructuras diseñadas.

El hallazgo de este grafico significa que el área de trabajo en donde se desenvuelven mejor los ingenieros son proyectos residenciales o de bajo índole y proyectos carreteros. Proyectos que no requieren de alto conocimiento en diseño por lo que se concluye que existe una clara falta de experiencia en el área estructural específicamente en edificaciones de mayores índoles. Con esto confirmamos la falta de experiencia en el área de diseño reflejada en la pregunta anterior. Sin embargo, los proyectos especiales como ser los muros u obras de mitigación presentan una tendencia creciente. Sabiendo que estos generalmente están asociados a los proyectos habitacionales y a los carreteros.

Tabla 8. Normativas de diseño utilizadas

4 En sus diseños, ¿Qué normativa de diseño estructural ha utilizado?

Normativas de diseño utilizadas	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
CHOC-08	6	24%	24%
ACI	10	40%	64%
Otros tipos de códigos o normativas	1	4%	68%
Ninguna	8	32%	100%
Total	25	100%	

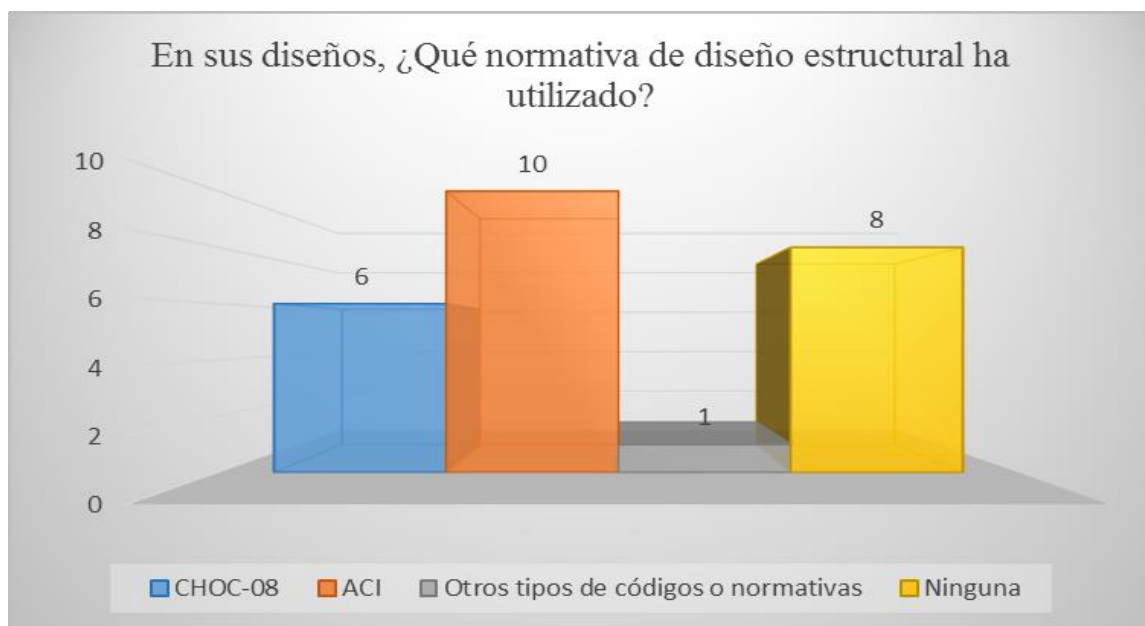


Figura 17. Normativas de diseño utilizadas.

Los resultados de este grafico son un tanto alarmantes ya que dejan en evidencia la indiferencia o bien la mala praxis de algunos ingenieros civiles y confirma el problema planteado desde el primer capítulo de esta investigación. Podemos concluir según este hallazgo, que los encuestados se inclinan por códigos y normativas internacionales antes que la normativa nacional. La tendencia nos dicta que las estructuras construidas por estos profesionales que no cumplen con los requerimientos de la normativa nacional presentaran vulnerabilidad estructural y es ahí donde concluimos que la investigación abordada tiene sentido.

Tabla 9. Edificaciones sin diseño estructural

5 En su experiencia, ¿Cuántos proyectos ha realizado sin diseño estructural?

Edificaciones sin diseño estructural	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Ninguno	1	4%	4%
De 1 a 5	13	52%	56%
De 5 a 10	8	32%	88%
Más de 10	3	12%	100%
Total	25	100%	

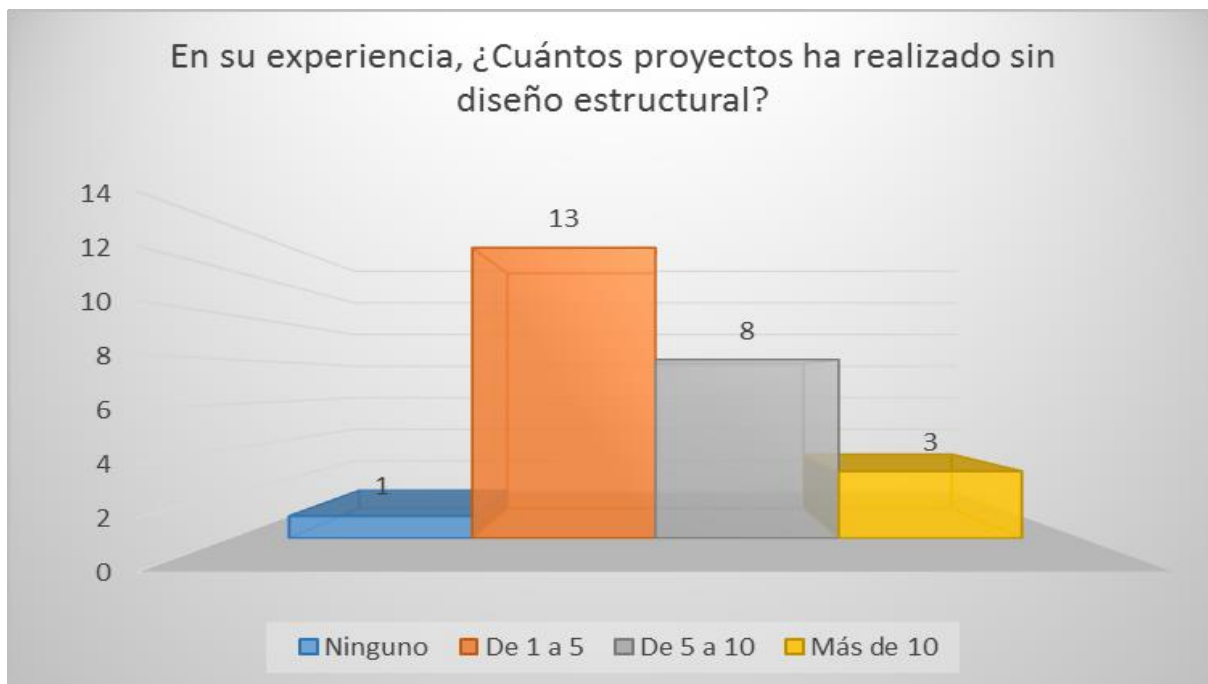


Figura 18. Edificaciones sin diseño estructural.

Analizando los resultados obtenidos, se puede decir que el problema planteado desde el principio de la investigación es persistente. Se marca una clara tendencia al desuso de la normativa nacional la cual indica las consideraciones necesarias para un buen diseño de las estructuras a construir. También podemos asociar esta pregunta con las respuestas anteriores en donde queda en evidencia que las estructuras con mayor vulnerabilidad estructural son las de baja índole es decir proyectos residenciales y carreteros al momento de asociar el número de proyectos ejecutados sin diseño estructural y los proyectos construidos con más frecuencia.

Tabla 10. Apoyo en especialistas estructurales

6 ¿Ha buscado un especialista en estructuras para el diseño de sus proyectos?

Apoyo en especialistas estructurales	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Involucrado	54	90%	90%
NO involucrado	6	10%	100%
Total	60	100%	

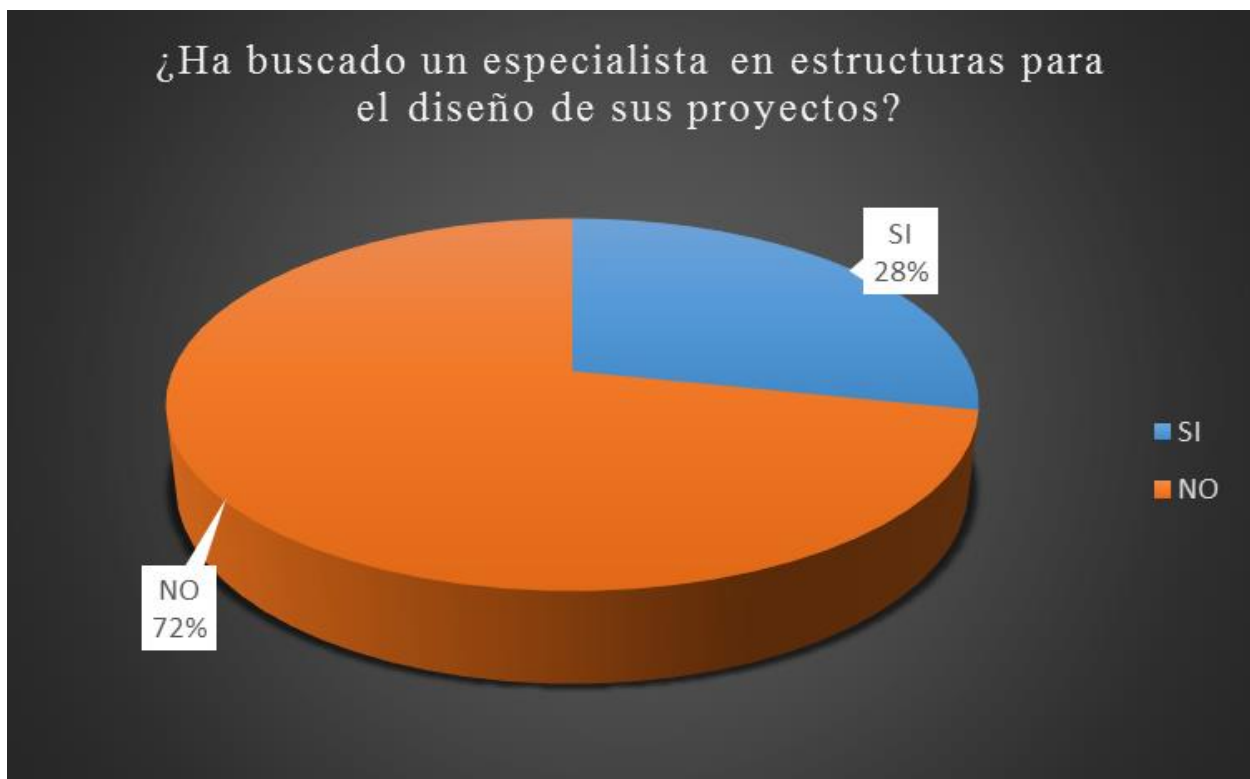


Figura 19. Apoyo en especialistas estructurales.

Los resultados que esta pregunta arrojó eran un tanto predictibles ya que la pregunta tiene relación o mejor dicho es consecuente de las preguntas anteriores. Podemos concluir que existe poca conciencia de la importancia que conlleva el uso de la normativa de construcción y más aún la poca conciencia en cuanto a las consecuencias que puede traer la indiferencia de los encuestados al no avocarse a un especialista con el fin de construir estructuras cada vez más seguras evitando de esta manera la producción o edificación de estructuras vulnerables a eventos sísmicos.

Tabla 11. Estado de las estructuras diseñadas por expertos

7 En la actualidad, ¿En qué estado se encuentran esas estructuras?

Estado de las estructuras diseñadas por expertos	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Buen estado	14	82%	82%
Falladas	3	18%	100%
Colapsadas	0	0%	100%
Total	17	100%	

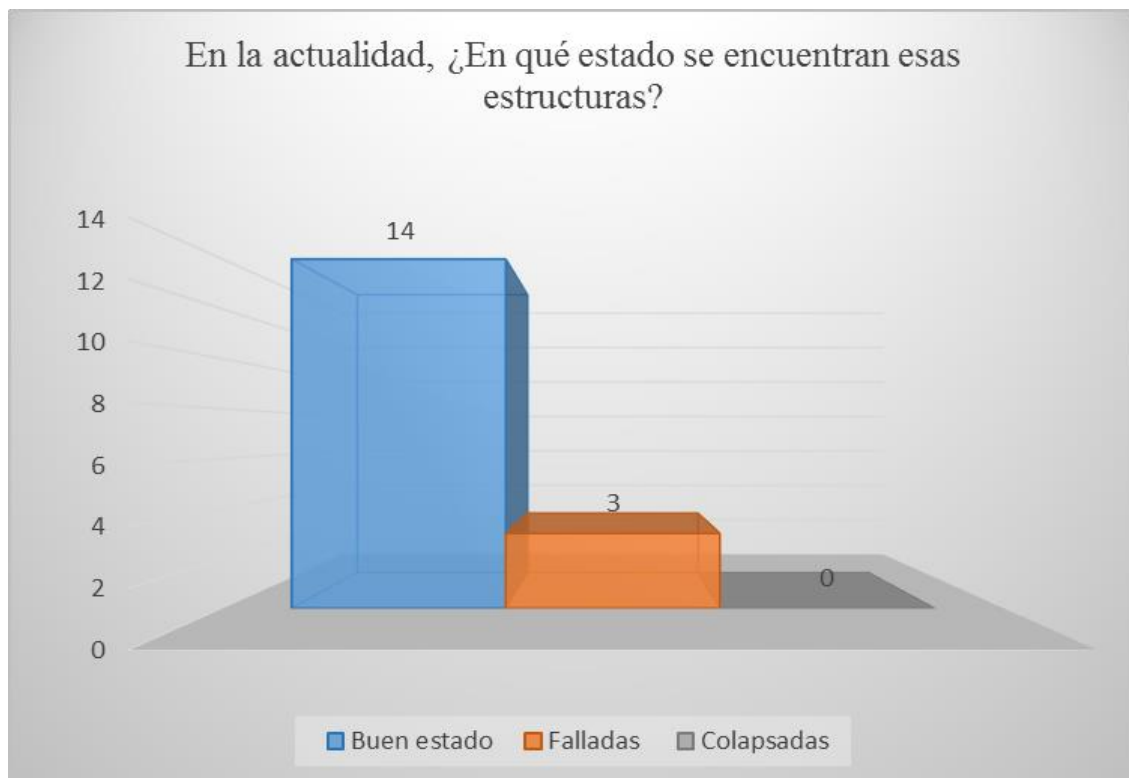


Figura 20. Estado de las estructuras diseñadas por expertos.

El hallazgo dicta que la ayuda de un especialista en los proyectos constructivos es de gran importancia. Se observa una tendencia positiva la cual nos indica que las estructuras diseñadas por expertos en el área específicamente por ingenieros estructuralistas son estructuras mucho más seguras con bajo grado de vulnerabilidad. Por otra parte, se observa que el problema no aún no se erradica existiendo una tendencia porcentual de estructuras vulnerables. Vulnerabilidad que puede ser asociada con otros factores.

Tabla 12. Involucramiento en construcción de edificios

8 ¿Por qué no ha buscado la ayuda de un especialista en estructuras?

Involucramiento en construcción de edificios	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Por no conocer a ninguno	8	13%	13%
Porque representa un gasto extra para el proyecto	32	53%	67%
Porque no son necesarios para el tipo de proyectos a ejecutar	16	27%	93%
Por indiferencia	4	7%	100%
Total	60	100%	



Figura 21. Factores para no apoyarse en un especialista estructural.

La tendencia de los resultados obtenidos, representa un constante crecimiento en cuanto al tipo de proyectos ejecutados lo cual confirma los resultados de la pregunta 3 concluyendo que los proyectos más realizados son los de pequeño índole y relacionándolo con los resultados obtenidos en la presente pregunta podemos concluir en que la población en general no está dispuesta a absorber gastos que incurran en la contratación de especialista calificados para los proyectos residenciales y carreteros aun cuando son conscientes del peligro que conlleva la ejecución informal.

4.2 Resultados de la entrevista

1. ¿Cuáles son las alternativas de reforzamiento estructural que conoce?

R/ las alternativas de reforzamiento que se identificaron como factor común entre los expertos estructurales son pocas. Esto, según los expertos se debe a que no es necesario reforzar estructuras cuando los edificios o estructuras en general son diseñadas de manera óptima. Es decir, siguiendo y respetando los parámetros dictados en la normativa nacional y apoyados en los códigos internacionales, los cuales se relacionan en cierta forma con el código hondureño.

- Entre las alternativas más frecuentes podemos mencionar las siguientes:
- Reforzamiento con placas de acero.
- Ensanchamiento de los elementos estructurales con concreto
- Incremento de la cuantilla de acero mediante adiciones externas de confinamiento.
- Adiciones de nuevos elementos estructurales para dar estabilidad a la estructura.
- Materiales compuestos con fibras.

2. En su experiencia, ¿Cuáles son las consecuencias físicas que ha identificado por el incumplimiento o desuso de la normativa hondureña de construcción?

R/ En general, se puede decir que la mayoría de estructuras no presentan fallas, ya que estas fueron construidas para solicitudes estructurales bajas de manera específica, para proyectos residenciales pequeños. Adicionalmente, en Honduras, no se ha presentado ningún evento sísmico considerable para el deterioro de las mismas, lo cual nos indica que la mayoría de estas estructuras fueron sobre diseñadas afectando considerablemente la economía de los usuarios quienes pagaron por una estructura que no es eficiente ya que lo que se busca en un diseño es producir estructuras seguras con la menor cantidad de recursos posibles.

Ahí es cuando entra en juego la importancia de diseños estructurales elaborados por profesionales expertos en el área de diseño quienes garantizaran el buen funcionamiento de la estructura y sobretodo la seguridad de los usuarios.

Otra porción de estas estructuras si están falladas. En general estas presentan fallas como ser:

- Agrietamientos excesivos.
- Fallas por flexión.
- Fallas por cortante.
- Fallas por punzonamiento.
- Desprendimiento de elementos constructivos.
- Levantamiento de pisos.
- Deflexiones de losas.

Todo esto producto de desplazamientos estructurales producidos por la baja resistencia de las estructuras ante las cargas solicitadas o bien por el uso de un método constructivo inadecuado.

3. ¿Cómo puede determinar si una estructura fue diseñada respetando la normativa nacional y como identifica cuando una estructura presenta vulnerabilidad sísmica?

R/ haciendo un recuento entre todas las respuestas proporcionadas por los expertos en diseño estructuras, podemos concluir en que esta respuesta es un tanto subjetiva ya que en el caso de las estructuras que aún no presentan fallas es difícil determinar si estas presentan algún tipo de vulnerabilidad sísmica.

Por otra parte, los riesgos sísmicos o de fallas se pueden predecir mediante la inspección física de las estructuras. Es decir, inspeccionando la estructura en campo, analizando la distribución arquitectónica de los elementos estructuras con el fin si estos no presentan irregularidades ya sea verticales o de planta de las cuales se habla en la mayoría de códigos y normativas de construcción, también se puede observar la calidad constructiva, y la procedencia de los materiales. Además, se pueden observar otros tipos de riesgo externos a la estructura, pero quienes pueden poner en peligro la misma.

4. ¿Conoce la tecnología de la fibra de carbono como refuerzo estructural?, en caso de ser SI, ¿Dónde y porqué la ha utilizado?

R/ La mayoría de expertos conoce la tecnología, pero no de manera profunda, esto debido a la falta de promoción o comercialización en el mercado nacional.

Adicionalmente ya que solo existe un proveedor nacional el costo del mismo resulta elevado por el efecto monopólico y el factor tiempo y la logística en el caso de importar el material también influye.

En general se aprecia una reacción escéptica ante los beneficios que aportan los materiales compuestos a la estructura. Esto se aduce a la falta o a la poca experiencia en el uso de los mismos.

4.3 Diagrama de Ishikawa

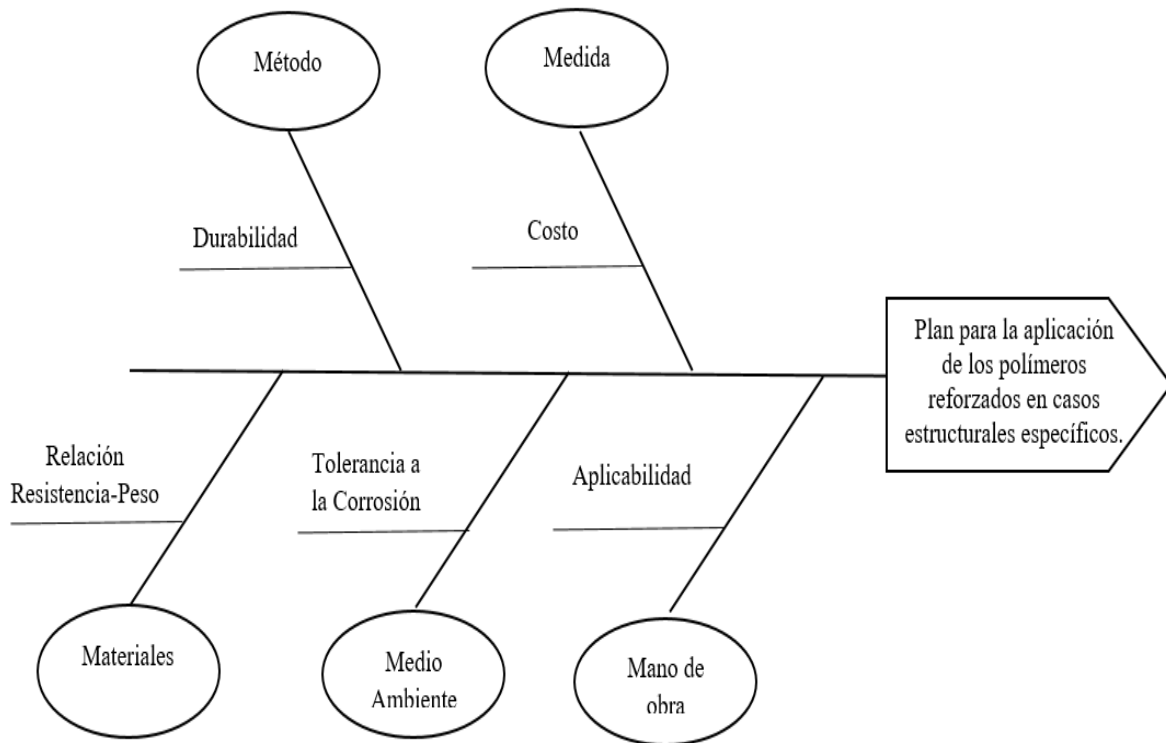


Figura 22. Diagrama de Ishikawa

Explicación:

1. Método

- **Durabilidad:**

La durabilidad de la fibra de carbono influirá directamente en la erradicación de la vulnerabilidad sísmica presente en la estructura por lo que se busca que esta sea la mayor posible lo cual solo se logra mediante la ejecución de un método de diseño y aplicación adecuado con el fin de que la propuesta (fibra de carbono) cumpla los requerimientos estructurales para los cuales fue requerida.

2. Medida

- **Costo:**

El factor económico para la adquisición de la fibra de carbono, así como el costo y la logística para su importación influye directamente en el cumplimiento y rentabilidad de la propuesta. Se busca que el material sea lo más económico posible sin descuidar la calidad del mismo en la estructura vulnerable.

3. Materiales

- **Relación Resistencia – Peso:**

Esta variable es fundamental para el cumplimiento de la propuesta ya que marca una diferencia entre la nueva tecnología de los materiales compuestos y los sistemas de reforzamiento convencionales. Los cuales generalmente se componen por placas y/o perfiles de acero aportando gran peso a la estructura y ganando poca resistencia.

Por lo tanto, la implementación de la fibra de carbono resulta ser un material innovador de bajo peso que dota a la estructura de resistencias mayores en comparación de los métodos convencionales.

4. Medio Ambiente

- **Tolerancia a la corrosión:**

La finalidad de esta variable es determinar la resistencia máxima de la fibra de carbono a los agentes corrosivos presentes en el medio ambiente. Se busca a través de este material compuesto que la estructura también quede protegida ante estos agentes ambientales que repercuten de manera directa en el buen funcionamiento de la misma.

Los sulfatos son reacciones químicas presentes siempre en el medio ambiente. Estos, dañan las estructuras y las vuelven vulnerables a fallas. Por lo tanto, es necesario considerar materiales resistentes a los agentes corrosivos para que el plan propuesto resulte exitoso.

5. Mano de Obra

- **Aplicabilidad:**

La aplicabilidad se relaciona directamente con los tiempos de ejecución para la implementación del plan propuesto. Esta a su vez se ve afectada por la mano de obra contratada para instalar la fibra de carbono en la estructura con vulnerabilidad.

Por lo tanto, se puede decir que a mejor mano de obra contratada para implementar el plan menor será el tiempo de ejecución y a menor tiempo de ejecución mayor eficiencia del plan.

4.4 Análisis Estadístico

Gutiérrez Pulido & Vara Salazar, (2012) Afirman que: Para utilizar los métodos estadísticos en general y los diseños de experimentos en particular, en primer lugar se requiere que el experimentador tenga un buen nivel de conocimiento técnico y práctico sobre el fenómeno que estudia, de tal forma que pueda vislumbrar con cierta facilidad cuáles son los aspectos claves del fenómeno y sea capaz de plantear conjeturas precisas... todo esto ayudara a seleccionar mejor los factores y sus niveles, así como el diseño que es mejor aplicar. (p. 9)

También, Sulbarán, (2009) afirma: La aplicación más importante del análisis estadístico está relacionada con su atención al concepto de incertidumbre, entendida esta como la tendencia de un resultado a variar cuando se efectúan observaciones repetidas del mismo fenómeno, bajo condiciones semejantes. En situaciones deterministas, donde los factores son causas ontológicas de otra... El álgebra o análisis matemático bastan para definir el fenómeno en cuestión. (p. 8)

Con el fin de validar los resultados obtenidos con el cuestionario de la encuesta, se realiza el análisis estadístico respectivo y se presenta a continuación:

4.4.1 Análisis estadístico de la Encuesta.

Colegio24hs, (2004) afirma que: Para evitar los valores negativos de los desvíos de datos suelen tomarse los cuadrados de los mismos.... Llamamos Varianza a la media de los cuadrados de los desvíos y se denota por S al cuadrado.... En símbolos la varianza queda expresada como la suma de los cuadrados de los desvíos dividida por el número de observaciones. (p. 64)

Con el coeficiente de variación, relativizamos el concepto de desviación, ya que comparamos la desviación típica con la media del conjunto de valores que estudiamos, con este coeficiente intentamos saber el número de veces que la desviación típica (S), es más grande o más pequeña que la media. (Álvarez, 2010, p. 132)

1. ¿Ha estado involucrado en la construcción de edificios?

Tabla 13. Datos estadísticos pregunta 1.

Descripción	Valor
Media	30
Moda	0
Mediana	30
Desviación Estandar	24
Varianza	576
Coefficiente de Variación	80.00%

La media presenta el mismo valor que la mediana, por lo tanto, podemos concluir en que la distribución de datos es simétrica. Es decir, que el comportamiento de los datos es el mismo para valores distribuidos a la derecha e izquierda con referencia a la media en caso de alguna representación gráfica.

En esta pregunta no cabe valor en la moda ya que es una pregunta cerrada con opción a solo dos respuestas. Esto, provoca automáticamente que no exista moda en el análisis estadístico de este tipo de preguntas.

Se observa una varianza en los datos poco homogénea, es decir se identifica bastante variación en los datos obtenidos. sin embargo, presenta una desviación estándar baja y alejada a la varianza eso nos confirma que los resultados obtenidos presentan una diferencia considerablemente alta.

2. ¿Ha diseñado alguna estructura?

Tabla 14. Datos estadísticos pregunta 2.

Descripción	Valor
Media	30
Moda	0
Mediana	30
Desviación Estandar	5
Varianza	25
Coefficiente de Variación	16.67%

Al observar que la media presenta el mismo valor que la mediana podemos concluir en que la distribución de datos es simétrica. Es decir, que el comportamiento de los datos es el mismo para valores positivos y negativos en caso de alguna representación gráfica. En esta pregunta no cabe valor en la moda ya que es una pregunta cerrada con opción a solo dos respuestas, lo cual provoca automáticamente que no exista moda en el análisis estadístico de este tipo de preguntas.

Se observa una varianza en los datos homogénea con una varianza baja y una desviación estándar relativa a la varianza eso nos confirma que los datos son constantes aun cuando existe grandes diferencias entre las dos respuestas disponibles. La relación entre el coeficiente de variación y la varianza son factores claves en la interpretación de los resultados del análisis estadístico de esta pregunta por lo que es prudente su definición.

3. ¿Qué tipo de estructura ha diseñado?

Tabla 15. Datos estadísticos pregunta 3.

Descripción	Valor
Media	4.17
Moda	1
Mediana	5.5
Desviación Estandar	4.60
Varianza	21.14
Coefficiente de Variación	110.34%

En estos resultados observamos que hay una leve diferencia en la media y la mediana. Esto se debe a que las opciones de respuesta son mayores, por lo que la media no podrá coincidir con la mediana. Sin embargo, estos resultados no quieren decir que los datos estén erróneos simplemente la tendencia en caso de una representación gráfica será con un grado de inclinación más cercano a la mediana.

En este caso se observa que al tener más opciones de respuesta y por ende respuestas más variadas, aparece la moda la cual presenta un valor bajo producto del tamaño muestral, al tener una muestra pequeña la moda arrojará valores pequeños y al tener una muestra grande la moda se comportará creciente. Se observa una varianza poco homogénea, es decir se identifica bastante variación en los datos obtenidos. sin embargo, presenta una desviación estándar baja y alejada a la varianza eso nos confirma que los resultados obtenidos presentan una diferencia considerablemente alta entre las opciones de respuestas proporcionadas.

4. En sus diseños, ¿Qué normativa de diseño estructural ha utilizado?

Tabla 16. Datos estadísticos pregunta 4.

Descripción	Valor
Media	6.25
Moda	0
Mediana	5.5
Desviación Estandar	3.34
Varianza	11.19
Coefficiente de Variación	53.52%

La media es mayor que la mediana lo que nos indica que la distribución de los datos es simétrica y tiene una tendencia dada hacia la derecha en caso de alguna representación gráfica.

En esta pregunta no existe moda lo que nos indica que, aunque haya diferentes opciones de respuestas los datos no coinciden en más una vez con esto definimos que no existe un patrón que garantice el uso de la normativa nacional como reglamento para el diseño y construcción de las estructuras.

El coeficiente de variación lo confirma y advierte la necesidad de estandarizar las normativas y códigos de construcción con el fin de que los procesos constructivos y principalmente de diseño se estandaricen y se produzcan así estructuras con menos vulnerabilidad sísmica de manera nacional.

5. En su experiencia, ¿Cuántos proyectos ha realizado sin diseño estructural?

Tabla 17. Datos estadísticos pregunta 5.

Descripción	Valor
Media	6.25
Moda	0
Mediana	10.5
Desviación Estandar	4.66
Varianza	21.69
Coefficiente de Variación	74.51%

La media es menor que la mediana lo que nos indica que la distribución de los datos es simétrica y tiene una tendencia dada hacia la izquierda en caso de alguna representación gráfica.

En esta pregunta no existe moda lo que nos indica que, aunque haya diferentes opciones de respuestas los datos no coinciden en más una vez con esto definimos que existe una tendencia a favor de las construcciones sin diseño estructural. Esto no es bueno ya que indica que un porcentaje considerable de las estructuras de todo tipo de envergadura presentan vulnerabilidad sísmica.

El coeficiente de variación lo confirma y advierte la necesidad de regular las malas praxis y/o proyectos que atentan con la seguridad de los usuarios. La varianza es elevada y nos indica que la mala praxis por parte de los profesionales encuestados es recurrente cometiendo el mismo error aun siendo conscientes de las consecuencias que el obviar el diseño estructural adecuado conlleva.

6. ¿Ha buscado un especialista en estructuras para el diseño de sus proyectos?

Tabla 18. Datos estadísticos pregunta 6.

Descripción	Valor
Media	30
Moda	0
Mediana	30
Desviación Estandar	24
Varianza	576.00
Coefficiente de Variación	80.00%

La media presenta el mismo valor que la mediana, por lo tanto, podemos concluir en que la distribución de datos es simétrica. Es decir, que el comportamiento de los datos es el mismo para valores distribuidos a la derecha e izquierda con referencia a la media en caso de alguna representación gráfica. En esta pregunta no cabe valor en la moda ya que es una pregunta cerrada con opción a solo dos respuestas. Esto, provoca automáticamente que no exista moda en el análisis estadístico de este tipo de preguntas. La varianza y el coeficiente de variación difieren considerablemente lo que indica que hay una tendencia completamente marcada a favor de una respuesta en particular. Analizando las respuestas mayoritarias determinamos que la mayoría de los profesionales de la construcción (ingenieros y arquitectos), así como algunos ejecutores informales no se apoyan en un especialista estructural para desarrollar sus proyectos consciente o inconscientemente del peligro que esta práctica conlleva.

7. En la actualidad, ¿En qué estado se encuentran esas estructuras?

Tabla 19. Datos estadísticos pregunta 7.

Descripción	Valor
Media	5.67
Moda	0
Mediana	8.5
Desviación Estandar	6.02
Varianza	36.22
Coefficiente de Variación	106.21%

La media es menor que la mediana lo que nos indica que la distribución de los datos es simétrica y tiene una tendencia dada hacia la izquierda en caso de alguna representación gráfica. El hallazgo es optimista ya que está representado en su mayoría por respuestas positivas en relación al buen estado de las estructuras diseñadas por los especialistas en estructuras

La varianza y el coeficiente de variación difieren considerablemente lo que indica que hay una tendencia completamente marcada a favor de una respuesta arriba mencionada. En esta pregunta no existe moda lo que nos indica que, aunque haya diferentes opciones de respuestas los datos no coinciden en más una vez con esto definimos que existe una tendencia a favor de las estructuras seguras El coeficiente de variación lo confirma y en base a eso podemos concluir en que el diseño estructural siguiendo los parámetros establecidos en la normativa nacional y los códigos internacionales resultan ser diseños eficientes produciendo estructuras cada vez as seguras y garantizando de ese modo el bienestar de los usuarios.

8. ¿Por qué no ha buscado la ayuda de un especialista en estructuras?

Tabla 20. Datos estadísticos pregunta 8.

Descripción	Valor
Media	15
Moda	0
Mediana	24
Desviación Estandar	10.72
Varianza	115.00
Coefficiente de Variación	71.49%

La media es menor que la mediana lo que nos indica que la distribución de los datos es simétrica y tiene una tendencia dada hacia la izquierda en caso de alguna representación gráfica. El hallazgo es alarmante ya que el factor economía rige sobre el factor seguridad poniendo de esa manera en riesgo la estabilidad de las estructuras, y más aun poniendo en riesgo la vida de los usuarios.

La varianza y el coeficiente de variación difieren considerablemente lo que indica que hay una tendencia completamente marcada a favor de que los diseños no son considerados por su repercusión económica en el presupuesto del proyecto elevando a este y generando molestia en los clientes. En esta pregunta no existe moda lo que nos indica que, aunque haya diferentes opciones de respuestas los datos no coinciden en más una vez.

El coeficiente de variación lo confirma y en base a eso podemos concluir en que el diseño estructural está siendo puesto en tela de juicio aun cuando se sabe que este es vital para combatir la vulnerabilidad estructural y evitar desastres a corto y largo plazo.

4.4.2 Comprobación de la hipótesis

El uso de materiales compuestos o polímeros específicamente, la fibra de carbono dará mayor resistencia y evitará fallas a las estructuras con vulnerabilidad sísmica en Tegucigalpa. Alcanzando los objetivos planteados mediante un plan integral para el uso y aplicación de los polímeros reforzados en casos estructurales específicos.

4.5 Propuesta

4.5.1 Plan para la aplicación de los parámetros reforzados en casos estructurales específicos.

4.5.2 Diseño de refuerzo estructural a elementos de concreto reforzado a Base de materiales FRP.

El material FRP se diseña solo para que resista la tensión. Por consiguiente, elementos estructurales sujetos a tensión directa o a tensión inducida por flexión, cortante o flexo-compresión son viables a ser reforzados con FRP. El FRP también puede ser usado para proveer confinamiento (como los estribos en columnas), lo cual permite incrementar la capacidad a compresión y la ductilidad del elemento estructural. Aunque se sabe que el FRP laminado tiene cierta resistencia a la compresión y al cortante directo, no existe suficiente información científica en la actualidad como para tomarla en cuenta en el diseño.

Este documento está basado en las guías de diseño incluidas en la versión 2008 del ACI 440.2R editado por el American Concrete Institute y la versión 2007 del AC 125 editado por el ICC Evaluation Services.

El AC 125 contiene relativamente poca información de diseño, pero incluye criterios de diseño para muros de cortante y estructuras de mampostería, los cuales no son considerados en el ACI 440.2R. El ACI 440.2R es un documento extenso con amplia información de diseño, pero solo considera elementos de estructuras de concreto reforzado y pre-esforzado.

A continuación, se presentan los aspectos más relevantes del AC 125 y ACI 440.2R.

4.5.3 Descripción de la propuesta.

Consideraciones generales de diseño

Al igual que el ACI 318-05, el ACI 440.2R adopta la filosofía de diseño de estados límites. De hecho, el ACI 440.2R recomienda el diseño de sistemas de refuerzo a base de FRP de acuerdo a los requisitos de resistencia y funcionalidad del ACI 318 y establece criterios adicionales que son particulares a los materiales FRP.

Dado a que el sistema de refuerzo FRP es susceptible a la falla por adherencia y/o a daños por vandalismo u otras causas, es deseable que la estructura sin reforzar posea un mínimo de resistencia para evitar el colapso de la estructura de ocurrir la falla del FRP. La siguiente ecuación establece el valor mínimo de resistencia:

$$(\phi R_n)_{existente} \geq (1.1S_{CM} + 0.75S_{CV})_{nueva}$$

Ecuación 1. Resistencia Nominal

Fuente: (ACI 440.2R, 2008)

Las cargas de servicio muertas y vivas usadas en la Ec. (1) deben ser las mismas a las que estará sujeta el elemento estructural cuando entre en operación después de aplicar el FRP. Si se espera que las cargas vivas de servicio mantengan su valor máximo por períodos prolongados de tiempo, como por ejemplos en bodegas y bibliotecas, el factor de carga de 0.75 debe cambiarse a 1.0.

Si el sistema FRP está expuesto a temperaturas elevadas (que excedan 60 a 80 grados Celsius) las resinas epóxicas pueden exhibir degradación considerable de sus propiedades mecánicas.

Aunque las fibras de carbono, vidrio, etc., definen la resistencia del FRP y dichas fibras requieren de temperaturas mucho más elevadas para presentar degradación en sus propiedades mecánicas, la degradación de la resina impacta a la resistencia de adherencia del FRP, afectando directamente al mecanismo de transferencia de carga del elemento estructural al FRP. Por consiguiente, se debe garantizar que el elemento estructural al menos pueda resistir las cargas de servicio (vivas y muertas) esperadas después de la aplicación del FRP. Esto se logra utilizando factores de carga de 1.0 en la Ec. (1), tanto para la carga viva como muerta.

Las propiedades mecánicas del FRP más relevantes para el ingeniero son la resistencia última a la tensión, la deformación unitaria última y el módulo de elasticidad. Debido a que los valores de la resistencia y deformación unitaria última pueden verse afectados por condiciones ambientales, como ambientes excesivamente alcalinos, exposición a rayos ultravioleta, etc., el ACI 440.2R considera un factor ambiental de reducción C_E que toma en cuenta las condiciones de exposición (interior, exterior, ambientes químicamente agresivos) y el tipo de fibra (carbón, vidrio y aramida). En general, la fibra de carbón exhibe la mejor resistencia ambiental y la fibra de vidrio la menor ($C_E = 0.95$ a 0.85 para fibras de carbono y $C_E = 0.75$ a 0.50 para fibras de vidrio). Los valores corregidos de las propiedades mecánicas se obtienen de las siguientes ecuaciones:

$$f_{fu} = C_E f_u^*$$

Ecuación 2. Esfuerzo de diseño ultimo

$$\epsilon_{fu} = C_E \epsilon_{fu}^*$$

Ecuación 3. Deformación última de diseño

$$E_f = f_{fu} / \epsilon_{fu}$$

Ecuación 4. Módulo de elasticidad

Donde f_{fu} y ϵ_{fu} son los valores proporcionados por el fabricante del FRP de la resistencia última a tensión y la deformación unitaria, respectivamente, y E_f es el módulo de elasticidad.

Reforzamiento a flexión

El reforzamiento a tensión se logra colocando el FRP en la cara de tensión de elemento estructural con las fibras orientadas paralelas al eje longitudinal de dicho elemento. La ecuación general de diseño por flexión dada en ACI 318-05 es válida para este caso también:

$$\phi M_n \geq M_u$$

Ecuación 5. Ecuación general de diseño

Donde M_u es la suma de momentos factorizados considerando la combinación de carga aplicable según el ACI 318-05 y ϕM_n es el momento de diseño considerando el efecto del FRP (la ecuación se presenta más adelante).

Se deben considerar los siguientes modos de falla al diseñar el reforzamiento a flexión:

- a) Falla a compresión del concreto antes de la falla por fluencia del acero de refuerzo;
- b) Falla por fluencia del acero de refuerzo seguida por ruptura de la lámina de FRP;
- c) Falla por fluencia del acero de refuerzo seguido por falla a compresión del concreto;
- d) Falla por delaminación del recubrimiento del concreto debido a tensión y/o cortante
- e) Falla por delaminación (desprendimiento) del FRP.

Las siguientes suposiciones se asumen válidas para calcular la capacidad a flexión de un elemento reforzado con FRP:

- a) Las deformaciones unitarias en el acero de refuerzo, concreto y lámina de FRP se asumen directamente proporcionales a su distancia al eje neutro.

- b) No existe desplazamiento relativo entre la lámina de FRP y la superficie a la que se adhiere.
- c) Las deformaciones por cortante de las láminas de FRP son despreciables.
- d) El concreto falla a compresión al alcanzar una deformación unitaria de $\epsilon_{cu} = 0.003$
- e) La lámina de FRP falla a la tensión al alcanzar una deformación unitaria de ϵ_{fu} .
- f) El FRP exhibe comportamiento elástico lineal hasta alcanzar la falla.

Deformaciones Unitarias Relevantes en Láminas de FRP

El FRP sufre desprendimiento en zonas alejadas de los puntos de terminación del FRP e inducidas

por agrietamiento del concreto bajo una deformación unitaria de:

$$\epsilon_{fd} = 0.083 \sqrt{\frac{f'c}{nE_f t_f}} \geq 0.9 \epsilon_{fu}, \text{ en unidades de lb-plg}$$

Ecuación 6. Deformación unitaria

$$\epsilon_{fd} = 0.410 \sqrt{\frac{f'c}{nE_f t_f}} \geq 0.9 \epsilon_{fu}, \text{ en unidades SI}$$

Ecuación 7. Deformación unitaria en SI

Donde n es el número de láminas (capas) de FRP y tf es el espesor de una lámina de FRP. Una vez adherida la lámina de FRP a la superficie de tensión del elemento, las deformaciones unitarias en el FRP pueden calcularse mediante la siguiente expresión:

$$\epsilon_{fe} = \epsilon_{cu} \left(\frac{d_f - c}{c} \right) - \epsilon_{bi} \leq \epsilon_{fd}$$

Ecuación 8. Deformación unitaria efectiva.

Donde d_f es la distancia desde la fibra extrema a compresión al centroide de la lámina FRP y c es la distancia desde la fibra extrema a compresión al eje neutro. ε_{bi} es la deformación unitaria inicial presente en la superficie antes de adherir la lámina de FRP.

El valor de dicha deformación unitaria se determina mediante un análisis elástico de la sección del elemento estructural a reforzar, considerando las cargas presentes durante la instalación del FRP y las propiedades agrietadas de la sección.

Factor de Reducción por Resistencia ϕ

Cuando se diseña el refuerzo FRP para flexión exclusivamente, se espera una reducción en la ductilidad del elemento estructural, aunque en algunos casos dicha reducción resulta despreciable. Sin embargo, para garantizar un nivel aceptable de ductilidad, las deformaciones unitarias en el acero de tensión deben ser de al menos 0.005 al presentarse la falla del concreto y/o el FRP. Siguiendo los criterios establecidos en el ACI 318, el factor ϕ se condiciona al valor calculado de las deformaciones unitarias en el acero de tensión utilizando la siguiente expresión:

$$\phi = \begin{cases} 0.9 & \text{para } \varepsilon_t \geq 0.005 \\ 0.65 + \frac{0.25(\varepsilon_t - \varepsilon_{sy})}{0.005 - \varepsilon_{sy}} & \text{para } \varepsilon_{sy} < \varepsilon_t < 0.005 \\ 0.65 & \text{para } \varepsilon_t \leq \varepsilon_{sy} \end{cases}$$

Ecuación 9. Factor de Reducción

Donde ε_t y ε_{sy} son las deformaciones unitarias en el acero de tensión y la deformación unitaria de fluencia del acero, respectivamente.

Condiciones de Servicio

En elementos de concreto reforzado se debe evitar la deformación y agrietamiento excesivo. El efecto del FRP se puede determinar analizando la sección transformada.

En este caso, la relación modular de interés es la del concreto con respecto al FRP (se transforma al FRP en área equivalente de concreto).

Para evitar deformaciones inelásticas en elementos de concreto reforzado bajo cargas de servicio se recomienda limitar los esfuerzos de servicio a los siguientes valores:

$$\text{Acero de refuerzo: } f_{s,s} \leq 0.80 f_y$$

Ecuación 10. Esfuerzo del acero de refuerzo

$$\text{Concreto: } f_{c,s} \leq 0.45 f'_c$$

Ecuación 11. Esfuerzo del concreto

Esfuerzos Límites para Falla por Fatiga y Ruptura por Flujo en Láminas de FRP

La ruptura por flujo ocurre cuando una lámina de FRP sujeta a carga constante por un período de tiempo prolongado falla a tensión a esfuerzos menores que su resistencia última. La falla por fatiga ocurre también a esfuerzos menores a la resistencia última después de un cierto período de tiempo, excepto que la naturaleza de la carga es cíclica.

Las láminas FRP de fibras de carbono son las menos susceptibles y las de fibra de vidrio las más susceptibles a este tipo de fallas. El ACI 440.2R establece los siguientes límites para los esfuerzos en el FRP bajo carga sostenida de servicio más la carga cíclica de servicio:

- (a) para FRP a base de fibra de vidrio: $0.25f_{fu}$
- (b) para FRP a base de fibras de aramida: $0.30f_{fu}$
- (c) para FRP a base de fibras de carbono: $0.55f_{fu}$. Donde f_{fu} esta dado por la Ec (2).

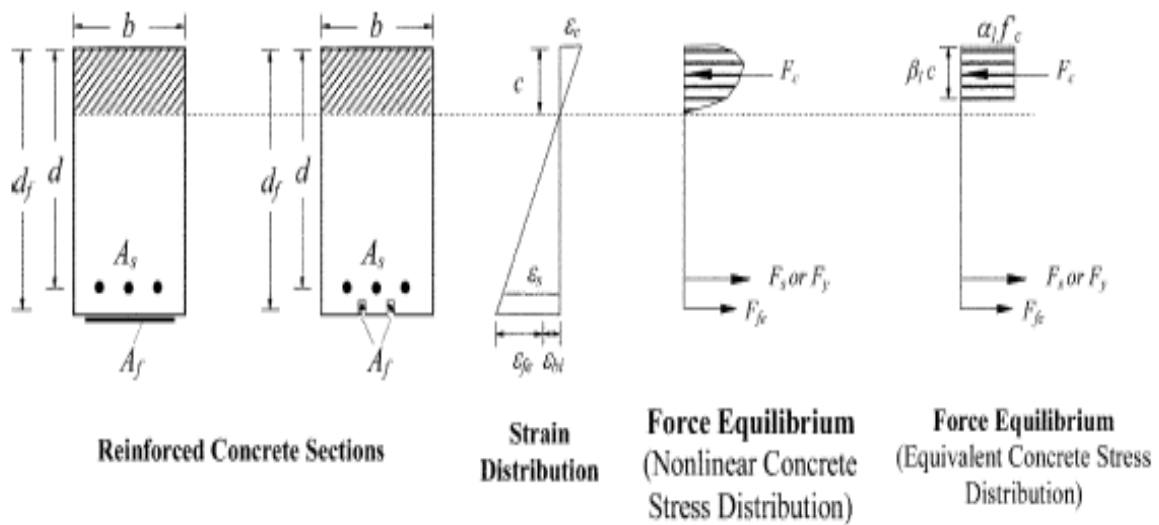


Figura 23. Distribución interna de deformaciones unitarias y esfuerzos de un elemento de concreto reforzado considerando el efecto FRP.

Fuente: (ACI 440-2R, 2008)

Resistencia Última a la Flexión de Secciones Rectangulares Simplemente Reforzadas

Se presenta a continuación un proceso iterativo para calcular la resistencia a flexión considerando el refuerzo FRP.

1. Asuma un valor para la profundidad del eje neutro: C_i
2. Calcule la deformación unitaria en el FRP

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left(\frac{d_f - c_i}{c_i} \right) - \varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{fd}$$

3. Calcule el esfuerzo en el FRP

$$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe}$$

Ecuación 12. Esfuerzo Efectivo

4. Calcule la deformación unitaria en el acero:

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \left(\frac{d - c_i}{d_f - c_i} \right)$$

Ecuación 13. Deformación unitaria en el acero

5. Determine el esfuerzo en el acero:

$$\text{si } \varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \text{ entonces } f_s = f_y$$

$$\text{si } \varepsilon_s < \varepsilon_{sy} \text{ entonces } f_s = E_s \varepsilon_s$$

Ecuación 14. Esfuerzo en el acero

6. Determine la profundidad del eje neutro:

$$C = \frac{A_s f_s + A_f f_{fe}}{\alpha_1 f'_c \beta_1 b}$$

Ecuación 15 Profundidad del eje neutro

Los valores de α_1 y β_1 son parámetros que dependen de la distribución de esfuerzos asumida para el concreto en la zona de compresión. Si se asume que aplica el bloque equivalente de esfuerzos de Whitney, entonces tenemos que $\alpha_1 = 0.85$ y el valor de β_1 depende del valor de f'_c :

$$\text{Para } f'_c \leq 4000 \text{ PSI (280 kg/cm}^2\text{): } \beta_1 = 0.85$$

$$\text{Para } 4000 \text{ PSI (280 kg/cm}^2\text{)} < f'_c < 8000 \text{ PSI (560 kg/cm}^2\text{):}$$

$$\beta_1 = 1.05 - 0.00005 f'_c \text{ para unidades lbs-plg}$$

Ecuación 16. Distribución de esfuerzos en la zona de compresión

$$\beta_1 = 1.09 - 0.008 f'_c \text{ para unidades SI}$$

Ecuación 17. Distribución de esfuerzos en la zona de compresión SI

$$\text{Para } f'_c > 8000 \text{ PSI (560 kg/cm}^2\text{): } \beta_1 = 0.65$$

7. Si $C \neq C_i$ volver al paso (1). Iterar entre (1) y (6) hasta lograr convergencia aceptable.
8. Calcular capacidad nominal a flexión del elemento estructural reforzado con FRP:

$$M_n = A_s f_s \left(\frac{d - \beta_1 c}{2} \right) + \psi_1 A_f f_{fe} \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

Ecuación 18. Momento nominal

La segunda parte de la ecuación (18) representa la contribución del FRP a la capacidad nominal a flexión del elemento estructural. El factor ψ_1 es un factor de reducción de resistencia del FRP y el ACI 440.2R recomienda un valor de $\psi_1 = 0.85$.

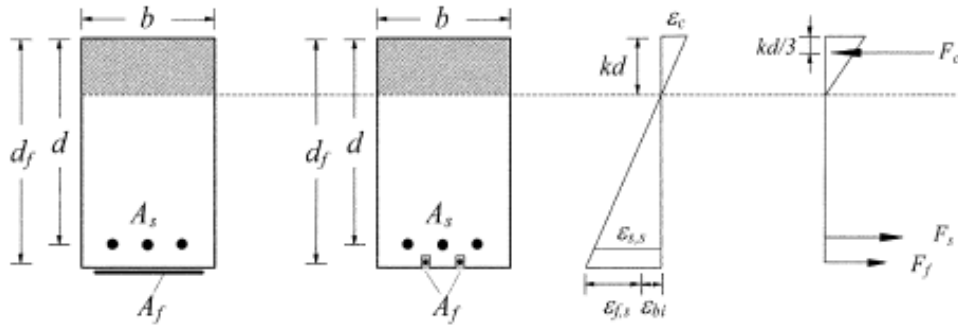


Figura 24. Distribución elástica de deformaciones unitarias y esfuerzos.

Fuente: (ACI 440.2R, 2008)

9. Calcular los esfuerzos bajo cargas de servicio en el acero y el FRP

$$k = \frac{\sqrt{(n_s A_s d + n_f A_f d)^2 + 2(b d^2)(n_s A_s d + n_f A_f d_f) - d(n_s A_s + n_f A_f)}}{b d^2}$$

Ecuación 19. Esfuerzos bajo cargas de servicio del concreto.

$$f_{s,s} = \frac{\left[M_s + \varepsilon_{bi} A_f E_f \left(d_f - \frac{kd}{3} \right) \right] (1 - k) d E_s}{A_s E_s d^2 \left(1 - \frac{k}{3} \right) (1 - k) + A_f E_f \left(d_f - \frac{kd}{3} \right) (d_f - kd)}$$

Ecuación 20. Esfuerzo Bajo cargas de servicio del acero

$$f_{f,s} = f_{s,s} \left(\frac{E_f}{E_s} \right) \left(\frac{d_f - kd}{d - kd} \right) - \varepsilon_{bi} E_f$$

Ecuación 21. Esfuerzo bajo cargas de servicio del FRP

Donde $n_f = E_f / E_c$ y $n_s = E_s / E_c$ son las relaciones modulares del FRP y acero, respectivamente y el M_s es el momento flexionante máximo debido a todas las cargas sostenida (cargas muertas mas la porción sostenida de la carga viva).

10. Revisar si el valor de $f_{f,s}$ cumple el valor máximo permisible para evitar ruptura por flujo o falla por fatiga. Revisar si $f_{f,s} \leq 0.80f_y$.

Reforzamiento a cortante

El reforzamiento a cortante se logra colocando las láminas de FRP con las fibras orientadas perpendicular al eje longitudinal del elemento estructural. Las láminas pueden envolver totalmente al elemento o colocarse solamente en ciertas caras, dependiendo de la accesibilidad.

Por ejemplo, la Figura 10 ilustra disposiciones típicas de láminas para vigas de piso; evidentemente la losa obstruye el acceso a la cara superior, dejando la opción de colocar las láminas en tres o dos caras. Sin embargo, para columnas, las cuatro caras estarán usualmente accesibles.

Las láminas pueden colocarse en patrones continuos o a intervalos. No se recomienda usar patrones continuos si se colocarán las láminas en las cuatro caras, ya que el FRP es una barrera de humedad y podría causar daños al concreto en climas fríos al congelarse la humedad atrapada.

La resistencia de diseño del refuerzo a cortante se determina utilizando la misma expresión contemplada en ACI 318-05:

$$\phi V_n \geq V_u$$

Ecuación 22. Resistencia de diseño a cortante

Donde V_u es el valor del cortante máximo bajo la combinación de cargas factorizadas aplicables al caso y ϕV_n es la resistencia de diseño por cortante que considera la participación del FRP:

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s + \psi_f V_f)$$

Ecuación 23. Resistencia de diseño a cortante nominal

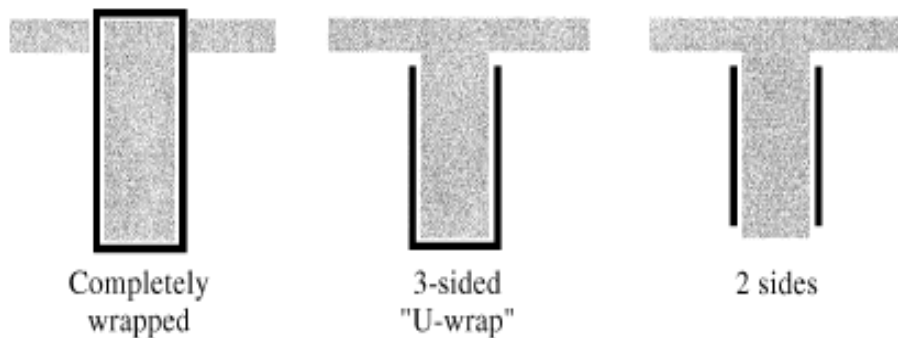


Figura 25. Patrones típicos de colocación del FRP como refuerzo a cortante.
Fuente: (ACI 440.2R, 2008)

Donde $\psi_f = 0.95$ cuando las láminas de FRP envuelven la totalidad del elemento estructural y $\psi_f = 0.85$ cuando las láminas de FRP se colocan en tres o dos caras del elemento. El ACI 318-05 establece $\phi = 0.85$ para diseño por cortante. Las contribuciones a la resistencia al cortante del concreto V_c y del acero de refuerzo transversal (estribos) V_s se calculan con las expresiones dadas en el ACI 318-05 y no se repiten aquí. La contribución a la resistencia a cortante del FRP se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\text{sen } \alpha + \text{cos } \alpha) d_{fv}}{s_f}$$

Ecuación 24. Aportación del cortante del FRP

Donde los parámetros α , d_{fv} , s_f y W_f se ilustran en la Figura 11 y:

$$A_{sf} = 2nt_f W_f$$

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_f$$

Ecuación 25. Área y esfuerzo del acero FRP.

Se asume implícitamente en el uso de la Ec (25) que independientemente del patrón de colocación de las láminas de FRP, siempre se colocará FRP en al menos dos caras del elemento estructural paralelas a la acción de la fuerza cortante. Por ejemplo, en el caso de las vigas de piso, serían las caras verticales. En la mayoría de los casos, se espera que las fibras del FRP sean colocadas paralelas al eje longitudinal del elemento ($\alpha = 90$ grados), por lo que la Ec (24) se simplifica a:

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} d_{fv}}{s_f}$$

Ecuación 26. Simplificación de la ecuación 24

Determinación de la Deformación Unitaria Efectiva en el FRP

La deformación unitaria efectiva ε_{fe} es el máximo valor de la deformación unitaria que puede alcanzar el FRP y depende del tipo de falla a cortante que puede presentarse en el elemento. Para elementos totalmente envueltos en FRP, se ha observado que la degradación de la resistencia a fricción en el agregado del concreto dentro de las grietas de cortante ocurre antes que el FRP alcance ε_{fu} . Por consiguiente, en este caso, la deformación unitaria en el FRP se limita a:

$$\varepsilon_{fe} = 0.004 \leq 0.75\varepsilon_{fu}$$

Ecuación 27. Deformación unitaria efectiva

Para los casos donde el FRP se coloca solamente en dos o tres caras, se ha observado que el FRP tiende a desprenderse (falla por adherencia) antes de que ocurra la degradación de la resistencia a fricción del agregado. En este caso, la deformación unitaria en el FRP se limita a:

$$\varepsilon_{fe} = k_v \varepsilon_{fu} \leq 0.004$$

Ecuación 28. Deformación unitaria en el FRP

Donde k_v es el coeficiente de reducción por adherencia del FRP, el cual depende del patrón de colocación del FRP, de la resistencia a compresión de concreto y la rigidez de la lámina de FRP y está dado por:

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{468 \varepsilon_{fu}} \leq 0.75 \text{ en unidades lbs-plg}$$

Ecuación 29. Coeficiente de Reducción por Adherencia

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{fu}} \leq 0.75 \text{ en unidades SI}$$

Ecuación 30. Coeficiente de Reducción por Adherencia en SI

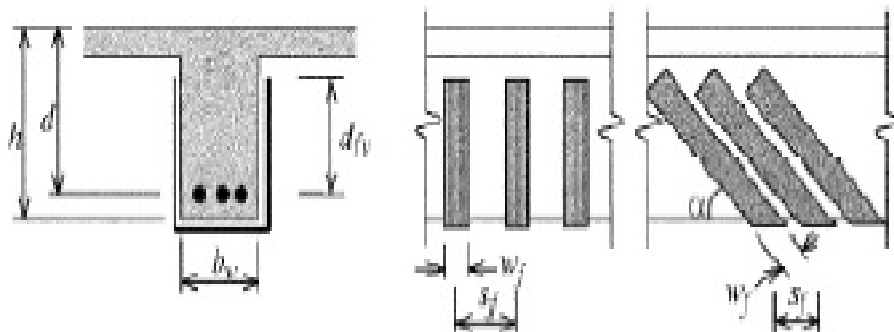


Figura 26. Variables dimensionales relevantes de diseño para refuerzo FRP a cortante.
Fuente: (ACI 440.2R, 2008)

Donde L_e es la longitud de la lámina de FRP en donde se mantiene la mayoría del esfuerzo de adherencia. Esta longitud se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L_e = \frac{2500}{(n t_f E_f)^{0.58}} \text{ en unidades lbs-plg}$$

Ecuación 31. Longitud de las láminas de FRP

$$L_e = \frac{23300}{(n t_f E_f)^{0.58}} \text{ en unidades SI}$$

Ecuación 32. Longitud de las láminas de FRP en SI

El coeficiente k_1 toma en cuenta la resistencia a compresión del concreto y el coeficiente k_2 toma en cuenta el patrón de colocación del FRP y están dados por:

$$k_1 = \left(\frac{f'_c}{4000}\right)^{2/3} \text{ en unidades lbs-plg}$$

Ecuación 33. Resistencia a compresión del concreto

$$k_1 = \left(\frac{f'_c}{27}\right)^{2/3} \text{ en unidades SI}$$

Ecuación 34. Resistencia a compresión del concreto en SI

$$k_2 = \begin{cases} \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} & \text{para FRP colocado en tres caras} \\ \frac{d_{fv} - 2L_e}{d_{fv}} & \text{para FRP colocado en dos caras} \end{cases}$$

Ecuación 35. Patrón de colocación del FRP

El ACI 440.2R recomienda que la separación centro a centro entre láminas de FRP no exceda a $d/4 + W_f$ y refiere al lector al ACI 318-05 para los requisitos adicionales de separación del refuerzo. Deben observarse también los límites máximos establecidos por el ACI 318 para la contribución del refuerzo a resistir el cortante:

$$V_s + V_f \leq 8\sqrt{f'c}b_w d \text{ en unidades de lbs-plg}$$

Ecuación 36. Límites máximos para la contribución del refuerzo al corte

$$V_s + V_f \leq 0.66\sqrt{f'c}b_w d \text{ en unidades de SI}$$

Ecuación 37. Límites máximos para la contribución del refuerzo al corte en SI

Es importante mencionar que en algunas ocasiones el refuerzo a cortante de FRP es requerido como consecuencia del refuerzo a flexión con FRP, ya que el incremento en la resistencia a flexión generado por el FRP puede inducir a que primero ocurra la falla por cortante. Dado que la falla por cortante es de naturaleza frágil y repentina, el ingeniero deberá siempre constatar que la resistencia a cortante del elemento existente sea la requerida para resistir el incremento en la capacidad de carga generado por el refuerzo a flexión del FRP.

Refuerzo a compresión axial.

Aunque el ACI 440.2R no reconoce la resistencia a compresión axial del FRP para propósitos de diseño, se puede lograr un incremento en la resistencia a compresión en el concreto mediante el efecto de confinamiento del FRP.

En este caso el FRP se coloca con las fibras orientadas perpendicular al eje longitudinal del

elemento estructural. Utilizando los criterios establecidos en el ACI 318-05, el ACI 440.2R propone las siguientes expresiones para el cálculo de la resistencia de diseño a compresión axial considerando la contribución del FRP:

Para elementos con refuerzo transversal en espiral: $\phi P_n = 0.85\phi[0.85f'_{cc}(A_g - A_s) + f_y A_s]$

Para elementos con refuerzo transversal de estribos: $\phi P_n = 0.85\phi[0.85f'_{cc}(A_g - A_s) + f_y A_s]$

Donde $\phi = 0.70$ para columnas con refuerzo en espiral y $\phi = 0.65$ para columnas con refuerzo de estribos. La resistencia a compresión del concreto tomando en cuenta el efecto de confinamiento del FRP está dada por la siguiente expresión:

$$f'_{cc} = 3.3\psi_f k_a f_l$$

Ecuación 38. Resistencia a compresión del concreto bajo confinamiento

Donde $\psi_f = 0.95$, k_a es un factor de eficiencia de confinamiento que depende de la geometría de la columna:

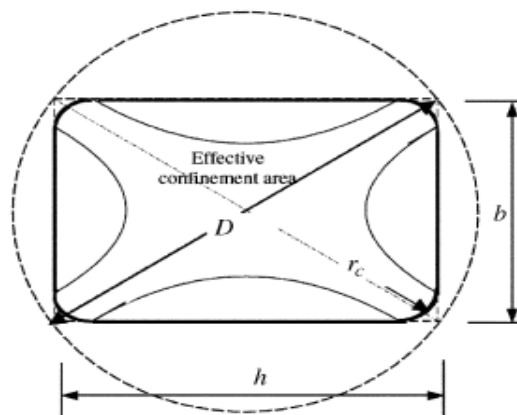


Figura 27. Área de confinamiento efectiva para columnas con sección rectangular.

Fuente: (ACI 440.2R, 2008)

Para columnas de sección circular $k_a = 1$

$$\text{Para columnas rectangulares de sección } h \times b: k_a = \left(\frac{A_e}{A_c}\right)\left(\frac{b}{h}\right)^2$$

Ecuación 39. Factor de eficiencia de confinamiento

Donde A_e/A_c define la relación entre el área de la sección de la columna efectivamente confinada por el FRP y el área de la sección de la columna sujeta a compresión (ver figura 12):

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[\frac{b}{h}(h - 2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)(b - 2r_c)^2 \right] - \rho_g}{1 - \rho_g}$$

Ecuación 40. Área de sección de la columna sujeta a compresión

Donde A_g es el área bruta de la sección de la columna, r_c es el radio de curvatura de la esquina redondeada de la columna y ρ_g es la relación de refuerzo longitudinal.

El esfuerzo de confinamiento del FRP f_l está dado por la siguiente expresión:

$$f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{D} \geq 0.08 f'_c$$

Ecuación 41. Esfuerzo de confinamiento

Donde D es el diámetro si la columna tiene sección circular y es igual a la siguiente expresión si la columna tiene sección rectangular:

$$D = \sqrt{b^2 + h^2}$$

Ecuación 42. Diámetro de la columna

El ACI 440.2R recomienda considerar $\varepsilon_{fe} = 0.55\varepsilon_{fu}$ para tomar en cuenta fallas prematuras del FRP debido a estados de esfuerzo multiaxiales (que difieren del estado de esfuerzo uniaxial usado para determinar ε_{fu}) y/o debido a concentraciones de esfuerzos causados por el agrietamiento del concreto al ocurrir la expansión lateral de la sección transversal producto de la carga axial. Es de fundamental importancia que $f_l \geq 0.08 f'_c$, ya que garantiza que $f'_{cc} \geq f'_c$. Obviamente, si f'_{cc} no excede a f'_c entonces el efecto de confinamiento del FRP es nulo. Por consiguiente, si $f_l \geq 0.08 f'_c$ se recomienda incrementar n (número de capas o láminas de FRP) hasta lograr que $f_l \geq 0.08 f'_c$.

La deformación unitaria última en el concreto al alcanzar f'_{cc} esta dada por la siguiente expresión:

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left[1.50 + 12k_b \left(\frac{f_l}{f'_c} \right) \left(\frac{0.55\varepsilon_{fu}}{\varepsilon'_c} \right)^{0.45} \right] \leq 0.01$$

Ecuación 43. Deformación unitaria última en el concreto

Donde k_b es un factor que depende de la geometría de la sección transversal. Para secciones circulares $k_b = 1.0$ y para secciones rectangulares:

$$k_b = \left(\frac{A_e}{A_c} \right) \left(\frac{h}{b} \right)^{0.5}$$

Ecuación 44. Factor de Geometría

Donde $\frac{A_e}{A_c}$ está dada por la Ec (41). ε'_c es el valor de la deformación unitaria en el concreto al alcanzar f'_c y el ACI 440.2R recomienda usar $\varepsilon'_c = 0.002$. El ACI 440.2R recomienda limitar el

valor de ϵ_{ccu} a 0.01 para evitar agrietamiento excesivo que pueda comprometer la integridad del concreto.

Consideraciones de Servicio

Cuando la carga axial en la columna alcanza valores cercanos a la carga axial factorizada, el concreto muy probablemente presentará agrietamiento considerable en la dirección radial. El FRP mantendrá la integridad de la columna mediante el efecto de confinamiento.

Sin embargo, este tipo de agrietamiento debe ser evitado cuando la carga axial es producto de cargas de servicio. El ACI 440.2R recomienda para tal efecto, que el esfuerzo de servicio a compresión del concreto no exceda a $0.65f'_c$.

Así mismo, el ACI 440.2R recomienda que el esfuerzo de servicio a compresión en el acero longitudinal de refuerzo no exceda a $0.60f_y$ para evitar deformaciones plásticas bajo cargas cíclicas.

También se debe verificar que los esfuerzos de servicio en el FRP no excedan los valores límites estipulados para evitar la falla de fatiga o ruptura por flujo.

4.5.3.1 Pasos del plan

Las láminas de fibra de carbono

En el mercado están disponibles las láminas de fibras de carbono de 0,50 m de espesor por longitud variable, de acuerdo al requerimiento del diseño. Las fibras de carbono en la lámina vienen alineadas en una sola dirección, dirección en la que se provee la resistencia adicional.

Por ejemplo, en el caso del refuerzo de una losa aligerada cuya resistencia se desea aumentar, se disponen tiras de fibras debajo de las viguetas, en el número de capas necesario. En una losa armada en dos sentidos, se pueden disponer franjas en ambas direcciones.

Luego de la adecuada preparación de la superficie del concreto, mencionada en los párrafos anteriores, el proceso de aplicación de un sistema FRP se puede resumir en las siguientes etapas:

1. Ya preparada la superficie de concreto, se aplica una capa de imprimante epóxico usando un rodillo especial. Usualmente, este primer producto epóxico tiene una baja viscosidad permitiendo su penetración en el concreto.

La función de esta primera capa es proveer a la superficie del concreto una adecuada adherencia.

2. Acto seguido, se aplica una masilla o pasta epóxica para rellenar cualquier defecto en la superficie que pueda quedar mayor de.” de profundidad (Cualquier cangrejera o hueco profundo debe ser rellenado con mortero durante la preparación de la superficie de concreto, no en esta etapa).

3. Luego, se cubre la superficie con un saturante epóxico para impregnar las fibras secas. Este saturante mantiene las fibras en su adecuada dirección y posición.

El objetivo de esta capa de saturante es rápidamente empapar las fibras y mantenerlas en su ubicación mientras se inicia el proceso de curado del sistema de reforzamiento. Debido a su alta

viscosidad, permite el fácil manejo de la fibra y su correcta aplicación. Este saturante también distribuye los esfuerzos en las fibras y ayuda a protegerlas de las condiciones ambientales y la abrasión.

4. Se cortan y preparan a medida las láminas de fibras de carbono de acuerdo al diseño del proyecto y se colocan en su lugar, permitiendo que comience a absorber el saturante.

5. Luego de un tiempo de espera determinado que permite que la lámina absorba la primera capa de saturante, se aplica una segunda capa de saturante para cubrirla.

6. Finalmente, se aplica una capa de acabado que cubre totalmente el sistema FRP, logrando una apariencia similar a un concreto común. Esta capa también protege a la fibra de los rayos ultravioletas, ataques químicos, abrasión, severas condiciones climáticas, etc.

Es muy importante mencionar que la efectividad de este sistema depende de la pericia y experiencia que debe tener el técnico aplicador para lograr una adecuada adherencia concreto-fibra, siempre bajo la supervisión de un ingeniero entrenado en este procedimiento.

El manejo adecuado de los tiempos de espera entre una y otra capa, los espesores exactos de las capas, y la presión de aplicación son factores determinantes en la resistencia final del sistema, por lo que no se recomienda su aplicación en manos inexpertas.

4.5.1 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Tabla 21. Cronograma

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES / METRO LINEAL DE REFUERZO																												
ITEM	DESCRIPCION	MINUTOS																								SUPUESTO		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		25	
1	Preparacion de la superficie a reforzar	■	■	■	■	■																						Superficie Preparada
2	Imprimacion con epoxico					■	■																					Epoxico Colocado
3	Enmasillado							■	■	■	■	■																Enmasillado Finalizado
4	Aplicacion del saturante epoxico											■	■	■	■													Saturante Aplicado
5	Preparacion de las laminas de Fibra de Carbono					■	■	■	■	■																		Laminas preparadas para su instalacion
6	Colocacion de las laminas de fibra de carbono															■	■	■	■	■								Laminas Instaladas
7	Acabado final																					■	■	■	■	■		Trabajo finalizado

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se describen los frutos producto de la investigación realizada dando respuesta a las preguntas de investigación y determinando si los objetivos planteados fueron alcanzados.

5.1 Conclusiones

Se logró identificar los factores y consecuencias físicas que contribuye el incumplimiento o desuso de la normativa nacional de diseño y construcción denominada específicamente como Código Hondureño de la Construcción (CHOC). Los cuales generan vulnerabilidad sísmica y fallas en las estructuras.

Entre los factores más frecuentes para el desuso del código puede citar: El incremento en los costos del proyecto y por la falta de conciencia en cuanto a que todo proyecto por pequeño que sea debe garantizar la seguridad de los usuarios por consiguiente es necesario la implementación del CHOC en todos los proyectos para erradicar la vulnerabilidad sísmica en las estructuras de Tegucigalpa.

Las fallas más frecuentes producto del incumplimiento de la normativa son: agrietamientos, fallas por flexión, cortante y punzonamiento, entre otras menos dañinas dando paso así a la vulnerabilidad sísmica presente según los resultados de la encuesta y el análisis estadístico.

Se define como alternativa de reforzamiento o soluciones a deficiencias estructurales a los materiales compuestos, específicamente la fibra de carbono (fibra utilizada para hacer la investigación). Se comprobó mediante un análisis de elementos finitos basados en las propiedades del material estudiado y el aporte físico que este transmite a las estructuras con algún grado de vulnerabilidad sísmica que la fibra de carbono funciona y ayuda de gran manera a contrarrestar dicha vulnerabilidad. Dotando a las estructuras de mayor resistencia convirtiéndola de estructura vulnerable a segura.

Se logró proponer un plan para la aplicabilidad de la fibra de carbono en casos estructurales específicos. Este plan, conlleva una guía de diseño de refuerzo para pórticos de concreto reforzado el cual parte desde el análisis del grado de vulnerabilidad hasta el tratamiento que se le debe de dar a dichas fallas y/o cambios en los requerimientos estructurales. Todo esto mediante un análisis y diseño estructural contemplando los requerimientos del CHOC.

Se logró probar mediante un análisis de elementos finitos que la fibra de carbono cumple con los alcances esperados en cuanto al aporte que se busca transmitir a las estructuras, dotando a esta de mayor resistencia específicamente a flexión y cortante. Fallas en las cuales fijamos el alcance de nuestra investigación.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda crear conciencia en los centros educativos a los estudiantes de ingeniería futuros diseñadores y constructores del país, así como en el gremio mediante el ente regulador de profesionales en el área (Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras CICH) en cuanto a la importancia del uso del Código Hondureño de la Construcción y otras normativas de ayuda para el diseño y la construcción de estructuras seguras, sin ningún grado de vulnerabilidad.

Promover las especializaciones en el área estructural con el fin de atacar la falta de especialistas en la ciudad mediante el apoyo financiero y logístico a profesionales de la ingeniería en sus estudios de maestrías y otros postgrados afines al diseño de estructuras.

Capacitar a la población de ingenieros a nivel nacional en cuanto a los beneficios que otro tipo de tecnologías de diseño y procesos constructivos poco frecuentes en el país pueden aportar a los proyectos constructivos Y a la población en general, en cuanto al riesgo que asumen al construir estructuras sin el diseño y supervisión de un especialista en el área mediante los centros educativos y los medios de comunicación. Exponiendo los beneficios que trae una praxis responsable por parte de los ingenieros.

BIBLIOGRAFIA

1. Código hondureño de la construcción, (2008).
2. La Gaceta, 2010. Diario Oficial de la República de Honduras. Decreto No. 173.
3. Rougier, Confinamiento de columnas de hormigón con materiales compuestos, (2003).
4. Avilés, “Estudio experimental sobre el refuerzo a cortante de estructuras de hormigón armado mediante materiales compuestos”, tesis doctoral, universidad politécnica de Cataluña, Barcelona, (2002).
5. Hull, “an introduction to composite materials”, (1996).
6. American Concrete Institute 440.2R (2008) Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures.
7. Car, “Tratamiento Numérico de los materiales compuestos”, (2010)
8. Nanni, “Behavior of Pre-Cracked RC Beams Strengthened with Carbon FRP Sheets,” *Journal of Composites in Construction*, V. 1, No. 2, pp. 63-70, (1997)
9. Castillo, “Boletín semanal del Programa de ingeniería en infraestructura del transporte” Vol. 1, No.6 (2010)
10. Bernal, C., Correa, A., Pineda, M. I., Lemus, F., Fonseca, M. del S., & Muñoz, C. (2014). *Fundamentos de investigación* (1ra.). México: Pearson Educación.
11. Cazau, P. (s. f.). *Introducción a la investigación en Ciencias Sociales*. (3a ed.). Buenos Aires. Recuperado a partir de <http://alcazaba.unex.es/asg/400758/MATERIALES/INTRODUCCI%C3%93N%20A%20LA%20INVESTIGACI%C3%93N%20EN%20CC.SS.pdf>
12. Delgado García, G. (2009). *Conceptos y Metodología de la investigación histórica*. 2010, 10.

13. Gómez, M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. (1a ed.). Córdoba: Brujas.
14. Guerra Bustillo, C., Menéndez Acuña, E., Barrera Morera, R., & Egaña, E. (2003). *Estadística* (1a.). Habana: Félix Varela.
15. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6ta.). México: Mc Graw Hill Education.
16. Naiman, A., Rosenfeld, R., & Zirkel, G. (1987). *Introducción a la estadística* (3ra.). Mc Graw Hill Interamericana.
17. Ruiz, R. (2006). *Historia y evolución del pensamiento científico*. México.
18. Mapei, “Sistemas de Compuestos FRP” (2015).
19. Luis Flores Tantaleán, (2013). “REFORZANDO EDIFICACIONES CON FIBRAS DE CARBONO”
20. Dr. Qaisar Ali, Earthquake Engineering Center, (2009). *Seismic Retrofitting and Repair Manual for Buildings*, National Disaster Management Authority Pakistan.
21. Ashbee (1993) *Fundamental Principles of fiber reinforced composites*. 2nd ed. Technomic Publishing Co.
22. Peña, (2008) *Uso de telas poliméricas reforzadas con fibras (frp) para la rehabilitación y refuerzo de infraestructura y edificaciones*
23. Yopez, *Evaluación probabilística de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras de hormigón armado por medio de simulación*, 1996
24. Bonnet, Tesis doctoral “Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenazas alta y moderada. Ets de ingeniería de caminos canales y puertos de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña 2003
25. Caballero “Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método de índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Sincelejo” 2007

26. Berrocal (1991) Resistencia de materiales.
27. Gere (2009) Mecánica de Materiales.
28. Peña, (2008) uso de telas poliméricas reforzadas con fibras (frp) para la rehabilitación y refuerzo de infraestructura y edificaciones
29. Dueñas, (2015) Reforzamiento de estructuras con FRP, aplicación al caso de refuerzo a flexión de vigas metálicas.
30. Raigosa (2010) Técnicas de reforzamiento de estructuras construidas de concreto que presentan deficiencias estructurales.
31. Espinosa. Calidad total. Córdoba, 2009
32. Bonilla, Gestión de la calidad total en el servicio público (2009)

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1. Instrumento de investigación: Encuesta

Buen día, somos estudiantes de UNITEC, cursando el proyecto de graduación de la maestría en Ingeniería Estructural. Solicitamos de la manera más cordial nos ayude a llenar la siguiente encuesta cuyo objetivo es Identificar y analizar los factores y consecuencias físicas que contribuye el incumplimiento o desuso de la normativa nacional de construcción aplicada a estructuras ubicadas en Tegucigalpa.

1 ¿Ha estado involucrado en la construcción de edificios?

R/

 SI
NO

2 ¿Ha diseñado alguna estructura?

R/

 SI
NO

Si su respuesta es NO, pasar a la pregunta 6

3 ¿Qué tipo de estructura ha diseñado?

R/

 Edificios mayores de 3 niveles
Casas habitacionales
Muros
Puentes y carreteras
Represas y obras de captación de agua
Otros

4 En sus diseños, ¿Qué normativa de diseño estructural ha utilizado?

R/

 CHOC-08
ACI
Otros tipos de códigos o normativas
Ninguna

5 En su experiencia, ¿Cuántos proyectos ha realizado sin diseño estructural?

R/

<input type="checkbox"/>	Ninguno
<input type="checkbox"/>	De 1 a 5
<input type="checkbox"/>	De 5 a 10
<input type="checkbox"/>	Más de 10

6 ¿Ha buscado un especialista en estructuras para el diseño de sus proyectos?

R/

<input type="checkbox"/>	SI
<input type="checkbox"/>	NO

Si su respuesta es NO, pasar a la pregunta 8

7 En la actualidad, ¿En qué estado se encuentran esas estructuras?

R/

<input type="checkbox"/>	Buen estado
<input type="checkbox"/>	Falladas
<input type="checkbox"/>	Colapsadas

8 ¿Por qué no ha buscado la ayuda de un especialista en estructuras?

<input type="checkbox"/>	Por no conocer a ninguno
<input type="checkbox"/>	Porque representa un gasto extra para el proyecto
<input type="checkbox"/>	Porque no son necesarios para el tipo de proyectos a ejecutar
<input type="checkbox"/>	Por indiferencia

DATOS DEMOGRÁFICOS

Edad:

<input type="checkbox"/>	Menos de 25 años
<input type="checkbox"/>	De 25 a 35
<input type="checkbox"/>	De 36 a 45
<input type="checkbox"/>	Mayores de 46

Anexo 2. Instrumento de investigación: Entrevista

Buen día, somos estudiantes de UNITEC, cursando el proyecto de graduación de la maestría en Ingeniería Estructural. Solicitamos de la manera más cordial nos ayude a responder la siguiente entrevista. La cual tiene por objetivo Identificar y analizar los factores y consecuencias físicas que contribuye el incumplimiento o desuso de la normativa nacional de construcción aplicada a estructuras ubicadas en Tegucigalpa.

1. ¿Cuáles son las alternativas de reforzamiento estructural que conoce?

R/ _____

2. En su experiencia, ¿Cuáles son las consecuencias físicas que ha identificado por el incumplimiento o desuso de la normativa hondureña de construcción?

R/ _____

3. ¿Cómo puede determinar si una estructura fue diseñada respetando la normativa nacional y como identifica cuando una estructura presenta vulnerabilidad sísmica?

R/ _____

4. ¿Cuáles son las fallas más frecuentes que usted identifica en estructuras que no fueron diseñadas por un especialista estructural?

R/ _____

5. ¿Conoce la tecnología de la fibra de carbono como refuerzo estructural?, en caso de ser SI, ¿Dónde y porque la utilizado?

R/ _____

