

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE
HORMIGÓN ARMADO REFORZADAS CON FIBRA DE
CARBONO”**

Autor:

MARISOL GRISELDA RODRIGUEZ ALBINO

SEMESTRE I – 2025

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE
HORMIGÓN ARMADO REFORZADAS CON FIBRA DE
CARBONO”**

Autor:

MARISOL GRISELDA RODRIGUEZ ALBINO

Proyecto de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I – 2025

TARIJA – BOLIVIA

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a Dios padre celestial, quien me acompaña y levanta de mi continuo tropiezo.

A mis padres Juan Rodriguez y Justina Albino,
por apoyarme incondicionalmente, a mi familia
y amigos que me ayudaron y motivaron.

ÍNDICE

CAPITULO I ANTECEDENTES

1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 El problema	4
1.3.1 Planteamiento del problema	4
1.3.2 Formulación del problema	5
1.3.3 Sistematización del problema	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Justificación.....	7
1.5.1 Justificación teórica.....	7
1.5.2 Justificación académica.....	8
1.5.3 Justificación metodológica.....	8
1.5.4 Justificación práctica.....	8
1.6 Alcance del estudio	9
1.7 Limitación de la investigación	10
1.8 Tipo de estudio.....	11
1.9 Hipótesis.....	12
1.10 Síntesis del proceso	12
1.11 Descripción de variables	14
1.11.1 Variable independiente:	14

1.11.2 Variable dependiente:.....	14
-----------------------------------	----

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades	15
2.2 Conceptos básicos	16
2.3 Hormigón	18
2.3.1 El hormigón y sus componentes	18
2.3.1.1 Cemento	18
2.3.1.2 Agua	18
2.3.1.3 Agregado fino o arena	19
2.3.1.4 Agregado grueso o grava	20
2.4 Hormigón armado	21
2.4.1 Resistencia mínima del hormigón en función del acero	22
2.4.2 Barras de acero para hormigón armado	22
2.5 Vigas de hormigón armado	23
2.5.1 Tipos de vigas	23
2.5.2 Comportamiento de elementos estructurales a flexión (Vigas)	24
2.5.3 Comportamiento a fuerza cortante	25
2.5.4 Diseño de vigas de hormigón armado (Norma CBH – 87)	26
2.5.4.1 Cálculo a flexión simple	26
2.5.4.2 Esfuerzo cortante	29
2.5.4.3 Tensión-deformación	30
2.5.4.4 Acciones permanentes	30
2.6 Reforzamiento estructural	30

2.6.1 Causas para efectuar reforzamiento en estructuras de hormigón armado.....	31
2.6.2 Tipos de reforzamiento estructural en vigas	32
2.6.3 Reforzamiento con fibra de carbono, fibra de aramida y fibra de vidrio	32
2.7 Polímero Reforzado con Fibra de Carbono - CFRP.....	34
2.7.1 Composición y estructura de la fibra de carbono.....	35
2.7.2 Propiedades del material	35
2.7.2.1 Propiedades físicas	35
2.7.2.2 Propiedades químicas.....	36
2.7.2.3 Propiedades mecánicas.....	37
2.7.3 Formas en que se encuentra el Polímero Reforzado con Fibra de Carbono	38
2.7.3.1 Platinas formadas con CFRP.....	38
2.7.3.2 Tejidos de fibra de carbono.....	39
2.7.3.3 Barras de fibra de carbono	40
2.7.4 Campo de aplicación de los CFRP.....	42
2.7.5 Ejemplos de Aplicación de CFRP.....	43
2.7.5.1 Aplicaciones en vigas.....	43
2.7.5.2 Aplicaciones en muros de hormigón o albañilería	44
2.7.5.3 Aplicaciones en columnas.....	45
2.7.5.4 Aplicaciones en losas	45
2.8 Sistemas CFRP Polímeros Reforzados con fibras de Carbono en Bolivia - Platinas de fibra de carbono Sika Carbodur S512	47
2.8.1 Platinas de fibra de carbono	47
2.8.1.1 Fabricación de las láminas de fibra de carbono SIKA CARBODUR.....	47
2.8.1.2 Platinas de fibra de carbono aplicadas en vigas	48

2.8.1.3 Características y propiedades de las platinas o láminas de fibra de carbono..	49
2.8.1.3.1 Características de los materiales:	49
2.8.1.4 Ventajas del uso de platinas de fibra de carbono	50
2.8.1.5 Desventajas del uso de platinas de fibra de carbono	50
2.8.1.6 Sostenibilidad del uso de platinas de fibra de carbono	51
2.8.1.7 Usos del refuerzo con platinas de fibra de carbono	51
2.8.2 Adhesivo Sikadur 30	52
2.8.2.1 Usos del adhesivo.....	52
2.8.2.2 Ventajas del adhesivo.....	52
2.8.3 Preparación de las superficies para recibir el sistema CFRP	53
2.8.4 Pasos para instalar la Platina de Fibra de Carbono	53
2.9 Desarrollo y análisis de la normativa ACI 440.2R-17	54
2.9.1 Filosofía de diseño de vigas reforzadas externamente con pletinas o bandas de fibra de carbono.....	54
2.9.1.1 Consideraciones básicas para diseño y análisis de vigas de hormigón armado	55
2.9.1.2 Suposiciones necesarias para calculo simplificado.....	56
2.9.1.3 Consideraciones acerca del material compuesto.....	56
2.9.1.4 Límites del reforzamiento	57
2.9.1.5 Consideraciones ambientales	58
2.9.1.6 Propiedades del material de diseño	59
2.9.1.7 Propiedades del material de diseño	61
2.9.1.8 Momento nominal sin refuerzos.....	61
2.9.1.9 Nivel de deformación en el refuerzo de PRF	61
2.9.1.10 Nivel de esfuerzo en el refuerzo de FRP.....	62

2.9.1.11 Fuerza última de sección rectangular reforzado individualmente.....	62
2.10 Modos de falla por flexión en vigas de concreto armado externamente reforzadas con bandas de Fibra de Carbono	63

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Resumen de la Investigación.....	68
3.2 Normativa de los ensayos.....	69
3.3 Preparación de los áridos	70
3.3.1 Árido grueso.....	70
3.3.2 Árido fino	71
3.3.3 Cuarteo de muestras (ASTM C 702).....	71
3.3.4 Cemento	72
3.3.5 Agua	73
3.3.6 Barras de Fierro corrugado de 12 mm y 6mm	73
3.3.7 Platinas de Fibra de Carbono Sika-CarboDur S 512.....	74
3.3.8 Epoxi SikaDur - 30	75
3.4 Caracterización de los agregados	75
3.4.1 Análisis granulométrico del árido grueso (Norma ASTM C 136).....	75
3.4.2 Análisis granulométrico del árido fino (Norma ASTM C 136)	79
3.4.3 Determinación del Peso Unitario del árido grueso (Norma ASTM C 29).....	82
3.4.4 Determinación del Peso Unitario del árido fino.....	86
3.4.5 Determinación del peso específico y absorción del árido grueso	92
3.4.6 Determinación del peso específico y absorción del árido fino	97
3.5 Diseño de mezcla – Dosificación de hormigón H-21 (Método ACI 211).....	102

3.5.1 Procedimiento para el diseño de mezcla de hormigón.....	102
3.5.2 Elaboración de Probetas cilíndricas	103
3.5.3 Curado de Pobretas de hormigón	108
3.5.4 Resistencia a la compresión	108
3.6 Diseño de Vigas de Hormigón Armado (CBH-87).....	111
3.6.1 Unidades prácticas recomendadas en el sistema SI son las siguientes (Norma Boliviana).....	111
3.6.2 Cálculo Diseño a Flexión de Viga Rectangular de Hormigón Armado.....	111
3.6.3 Cálculo Diseño a Cortante de Viga Rectangular de Hormigón Armado	117
3.7 Diseño de Vigas de Hormigón Armado reforzadas con Fibra de Carbono (NORMA ACI 440. 2R-17)	120
3.8 Elaboración de las vigas de hormigón armado	131
3.9 Aplicación del refuerzo a flexión PLATINAS DE FIBRA DE CARBONO.....	134
3.9.1 Preparación del Soporte	134
3.9.2 Preparación de los Laminados Sika CarboDur.	134
3.9.3 Preparación del adhesivo.....	136
3.10 Ensayo a flexión de Vigas de Hormigón Armado Sin y Con Refuerzo de Láminas de Fibra de Carbono	139
3.11 Aplicación del Software de Sika para Reforzamiento de Vigas de Hormigón Armado.....	144

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Ensayos de los agregados.....	157
4.1.1 Análisis Granulométrico del agregado fino	157
4.1.2 Análisis Granulométrico del agregado grava	158

4.2 Diseño de mezclas (Método-ACI 211)	160
4.3 Ensayo a Compresión de probetas cilíndricas (Método ASTM C 39).....	160
4.4 Análisis de los resultados de carga y deformación	161
4.5 Modos de falla en las vigas de hormigón armado reforzadas con fibra de carbono	189
4.5.1 Análisis general del tipo de fallas en las vigas con refuerzo de fibra de carbono	195
4.6 Cálculo del Incremento en %	197
4.7 Contrastación de hipótesis	197

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	196
5.2 RECOMENDACIONES	197
BIBLIOGRAFIA	199

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 MATRIZ P.C.E.S.....	6
Tabla N° 2.1 Granulometría del agregado fino.	19
Tabla 2.2 Granulometría del agregado grueso	21
Tabla 2.3 Resistencia del hormigón en función del tipo de acero	22
Tabla 2.4 Diámetros y áreas de aceros.....	22
Tabla 2.5 Valor de w.....	27
Tabla 2.6 Capacidad Mecánica	28
Tabla 2.7 Cuantía geométrica mínimas referidas a la sección del hormigón.....	28
Tabla 2.8 Área de acero según diámetro.....	29
Figura 2.9 Propiedades Químicas del material (Fibra de Carbono).....	36

Tabla 2.10 Comparación entre las propiedades del acero y FRP.....	37
Tabla 2.11 Propiedades de la platina de fibra de carbono SIKA CARBODUR S512 49	
Tabla 2.12 Factor de reducción ambiental para varios sistemas de FRP y condiciones de exposición.....	59
Tabla 3. 1 Ensayos realizados y Normas	69
Tabla 3.2 Diámetro nominal – Peso nominal – Secciones nominales	73
Tabla 3.3 Pesos de las muestras según TM del agregado	76
Tabla 3.4 Dimensiones de los moldes según TMN del agregado	83
Tabla 3.5 Cantidad mínima de muestra según TMN del agregado.....	93
Tabla 4.1 Análisis Granulométrico del agregado fino	157
Tabla 4.2 Análisis Granulométrico del agregado grueso (grava)	158
Tabla 4.3 Proporciones de mezcla	160
Tabla 4.4 Resistencia adquirida a los 7 y 14 días	160
Tabla 4.5 Resistencia adquirida a los 28 días	160
Tabla 4.6 Viga 1-Datos obtenidos de la Prensa Universal y cálculo de momento ...	161
Tabla 4.7 Viga 2-Datos obtenidos de la Prensa Universal y cálculo de momento ...	164
Tabla 4.8 Viga 3-Datos obtenidos de la Prensa Universal y cálculo de momento ...	167
Tabla 4.9 Viga 4-Datos obtenidos de la Prensa Universal y cálculo de momento ...	171
Tabla 4.10 Viga 5-Datos obtenidos de la Prensa Universal y cálculo de momento .	174
Tabla 4.11 Viga 6-Datos obtenidos de la Prensa Universal y cálculo de momento	177
Tabla 4.12 Viga 7-Datos obtenidos de la Prensa Universal y cálculo de momento .	181
Tabla 4.13 Viga 8-Datos obtenidos de la Prensa Universal y cálculo de momento .	184
Tabla 4.14 Incremento de la resistencia mecánica en % Viga patrón vs Vigas con Fibra de carbono.....	197

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Filamentos de Fibras de Carbono (Ampliación microscópica)	2
Figura 2.1 Curva granulométrica	20
Figura 2.2 Vigas de hormigón armado.....	23
Figura 2.3 Deflexión de vigas de hormigón armado.....	24
Figura 2.4 Comportamiento de la fuerza cortante en una viga	25
Figura 2.5 Comportamiento de corte en una viga de hormigón armado.....	25
Figura 2.6 Esfuerzo vs Deformación de los tres tipos de refuerzos.....	32
Figura 2.7 Resistencia del FRP - Comparativa entre distintas fibras.....	33
Figura 2.8 Comportamiento de la fibra de carbono	33
Figura 2.9 Filamento de carbono de 6 μm (micrómetros) de diámetro (más chico), comparado con un cabello humano (más grande).....	34
Figura 2.10 Propiedades Químicas del material (Fibra de Carbono).....	36
Figura 2.11 Pletina de fibra de carbono	38
Figura 2.12 Tejido de fibras de carbono	39
Figura 2.13. Barras lisas de fibras de carbono	41
Figura 2.14 Barras con resaltes de fibras de carbono.....	41
Figura 2.15 Fibra de carbono utilizado en elementos estructurales	42
Figura 2.16 Refuerzo estructural por flexión con pletinas de CFRP en vigas	43
Figura 2.17 Refuerzo estructural de corte con tejidos de CFRP en muros	44
Figura 2.18 Refuerzo estructural de corte con tejidos de CFRP en muros	44
Figura 2.19 Refuerzo estructural de corte con tejidos de CFRP en vigas y de confinamiento en las columnas	45
Figura 2.20 Refuerzo estructural por flexión con pletinas de CFRP en losas.....	46
Figura 2.21 Refuerzo estructural por flexión con pletinas de CFRP en losas.....	46

Figura 2.22 Refuerzo estructural por flexión con pletinas de CFRP en losas.....	46
Figura 2.23 Sistema de fabricación Lamina Sika CarboDur.....	47
Figura 2.24 Reforzamiento de vigas con láminas (platina) CFRP para contrarrestar esfuerzos a flexión.....	48
Figura 2.25 Platinas encoladas en vigas.....	48
Figura 2.26 Sistema de Refuerzo con pletinas de Fibra de Carbono	55
Figura 2.27 Comportamiento de un miembro a flexión con un refuerzo adherido.....	64
Figura 2.28 Rotura del concreto en compresión antes de la fluencia del acero interior de refuerzo.....	65
Figura 2.29 Fluencia del acero en tracción seguido de la ruptura de la platina FRP. .	65
Figura 2.30 Fluencia del acero en tensión seguida de la rotura del concreto en compresión, sin falla del refuerzo externo FRP.	66
Figura 2.31 Delaminación del concreto producido en un extremo, que se extiende hacia el centro.	66
Figura 2.32 Despegue de la platina de refuerzo en el centro de la luz.....	67
Figura 2.33 Debonding o despegue de la platina de refuerzo en el centro de la luz y/o en un extremo.	67
Figura 4.1 Curva Granulométrica del agregado fino (arena)	158
Figura 4.2 Curva Granulométrico del agregado grueso (grava)	159
Figura 4.3 Curva Carga vs Deformación - Viga 1	163
Figura 4.4 Curva Momento vs Deformación – Viga 1.....	164
Figura 4.5 Curva Carga vs Deformación - Viga 2	166
Figura 4.6 Curva Momento vs Deformación – Viga 2.....	166
Figura 4.7 Curva Carga vs Deformación – Viga 3.....	170
Figura 4.8 Curva Momento vs Deformación - Viga 3	170

Figura 4.9 Curva Carga vs Deformación – Viga 4.....	173
Figura 4.10 Curva Momento vs Deformación – Viga 4.....	173
Figura 4.11 Curva Carga vs Deformación	176
Figura 4.12 Curva Momento vs Deformación	176
Figura 4.13 Curva Carga vs Deformación – Viga 6.....	179
Figura 4.14 Curva Carga vs Deflexión – Viga 6.....	180
Figura 4.15 Curva Carga vs Deformación – Viga 7.....	183
Figura 4.16 Curva Carga vs Deflexión – Viga 7.....	183
Figura 4.17 Curva Carga vs Deformación – Viga 8.....	186
Figura 4.18 Curva Carga vs Deflexión – Viga 8.....	187
Figura 4.19 Fisuras por fallo a cortante	189
Figura 4.19 Fallo a compresión en cabeza superior de la viga	190
Figura 4.20 Fallo por delaminación debido a despegue entre láminas y epoxi	191
Figura 4.21 Platina de fibra de carbono intacta dentro de los apoyos.....	191
Figura 4.22 Fisuras por fallo a cortante	192
Figura 4.23 Fisuras por fallo a cortante	192
Figura 4.24 Fallo a compresión en cabeza superior de la viga	193
Figura 4.25 Fallo por cortante.....	193
Figura 4.26 Fallo a compresión en cabeza superior de la viga	194
Figura 4.27 Despegue entre láminas de fibra de carbono y el epoxi	195
Figura 4.28 Viga sometida a ensayo de flexión	196

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 TABLAS DE DOSIFICACIÓN

ANEXO 2 CÁLCULO DE LA CARACTERIZACIÓN DEL LOS ÁRIDOS

ANEXO 3 CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN

ANEXO 4 ROTURA DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN

ANEXO 5 CÁLCULO DE DISEÑO DE LA VIGA DE HORMIGÓN ARMADO

ANEXO 6 CÁLCULO DEL DISEÑO DE REFUERZO CON PLATINAS DE FIBRA DE CARBONO

ANEXO 7 ROTURA DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO CON Y SIN REFUERZO DE FIBRA DE CARBONO, SOMETIDAS A FLEXIÓN

ANEXO 8 FICHA TÉCNICA DE LAS PLATINAS DE FIBRA DE CARBONO SIKA CARBODUR S512

ANEXO 9 FICHA TECNICA DEL ADHESIVO PARA PEGADO DE REFUERZOS SIKA DUR 30

ANEXO 10 IMÁGENES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS