

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis:

**“RESISTENCIA A FUERZA CORTANTE DE VIGAS CON Y SIN FIBRA
DE ACERO AL SER REFORZADAS CON CARBONO DESPUÉS DE
HABER ALCANZADO SU FALLA ÚLTIMA”**

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO CIVIL

Presentado por:

Bach. NORMAN SAMUEL MOROCHO SÁNCHEZ

Asesor:

Dr. Ing. MIGUEL ÁNGEL MOSQUEIRA MORENO

CAJAMARCA - PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** Morocho Sánchez, Norman Samuel
DNI: 46976285
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
- Asesor:** Dr. ing. Mosqueira Moreno, Miguel Angel
Facultad: Ingeniería
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:** RESISTENCIA A FUERZA CORTANTE DE VIGAS CON Y SIN FIBRA DE ACERO AL SER REFORZADAS CON CARBONO DESPUÉS DE HABER ALCANZADO SU FALLA ÚLTIMA.
- Fecha de evaluación:** 05/07/2024
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 24 %
- Código Documento:** oid:3117:364636471
- Resultado de la Evaluación de Similitud:** 24 %
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 05/07/2024

 <hr/> <p>FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos: Miguel Angel Mosqueira Moreno. DNI: 26733060</p>	 <p>Firmado digitalmente por: FERNANDEZ LEON Yvonne Katherine FAU 20148258601 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 07/07/2024 19:22:08-0500</p> <hr/> <p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>
--	--

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por la vida que me brinda, por todas las cosas buenas y malas que me han pasado de las cuales eh aprendido lecciones que me ha hecho crecer como ser humano.

A mis padres Nemecio Morocho Quispe y María Elvira Sánchez Tasilla, por haberme dado la educación que ellos nunca pudieron tener, por haberme brindado un hogar donde crecí con inmenso amor, donde adquirí los valores que hoy definen mi vida y a cada uno de mis 7 hermanos, en especial a mi hermano Juan Morocho Sánchez, que han estado brindándome su apoyo y consejos constantemente.

Agradezco infinitamente a mi Asesor Dr. Ing. Miguel Ángel Moqueira Moreno, por compartir sus conocimientos y guiarme durante todo el proceso de esta investigación.

Asimismo, a las personas que siempre me aconsejaron, me motivaron y me brindaron todo su apoyo para culminar esta etapa de estudios y de crecimiento profesional: Ing. Juan José Díaz Alejo, Ing. Eduardo Manuel Chavarry Vela e Ing. Adelio Diaz Fustamante.

A todas las personas que me brindaron su pequeño grano de apoyo durante toda la etapa de mi vida y en especial durante este proceso de investigación.

DEDICATORIA

Dedicado a Dios por su bendición de existir, a mis queridos padres por su infinito amor, por los buenos consejos y valores que me inculcaron desde pequeño, así como, por el sacrificio que ellos han realizado brindándome su apoyo en todas las etapas de mis estudios.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Contexto	1
1.2 Problema	4
1.2.1 Planteamiento del Problema	4
1.2.2 Formulación del Problema	5
1.3 Hipótesis	5
1.4 Justificación	5
1.5 Delimitación de la Investigación	5
1.6 Limitaciones	6
1.7 Objetivos	6
1.7.1 Objetivo General	6
1.7.2 Objetivos Específicos	6
1.8 Descripción de los Contenidos	7
2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes Teóricos de la Investigación	8

2.1.1	Antecedentes Internacionales.....	8
2.1.2	Antecedentes Nacionales	10
2.1.3	Antecedentes Locales	12
2.2	Bases Teóricas	14
2.2.1	Análisis de una Viga de Concreto Armado Sometida A Fuerza Cortante.....	14
2.2.2	Análisis De Una Viga Con Fibra De Carbono	17
2.2.2.1	Propiedades del Material de Diseño.	17
2.2.2.2	Reforzamiento de Corte.....	18
2.2.2.3	Resistencia al Corte Nominal.....	19
2.2.2.4	Contribución de FRP a la Resistencia al Corte.	21
2.3	Definición de Términos Básicos	22
2.3.1	Vigas	22
2.3.2	Resistencia.....	22
2.3.3	Fuerza Cortante.....	23
2.3.4	Estado Límite de Falla (Falla Última).....	23
2.3.5	Reparación	23
2.3.6	Reforzamiento	24
2.3.7	Fibras de Acero	24
2.3.8	Rigidez	24
2.3.9	Deformación	24
2.3.10	Fibra de Carbono.....	24
2.3.11	Polímero Reforzado con Fibra (FRP).....	25
2.3.12	MapeWrap C Uni-Ax 600.....	25
2.3.13	MapeWrap Primer 1.....	25
2.3.14	MapeWrap 31.....	25

2.3.15	SikaRep - 500.....	25
2.3.16	Sikadur – 32 Gel.....	26
2.3.17	Resina, Epoxi	26
3.	CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1	Ubicación Geográfica de la Investigación.....	27
3.2	Época de la Investigación	27
3.3	Equipos y Herramientas Utilizados en la Investigación	28
3.3.1	Materiales.....	28
3.3.2	Equipos	28
3.4	Metodología de la Investigación.....	29
3.4.1	Tipo de la Investigación	29
3.4.2	Nivel de la Investigación	29
3.4.3	Diseño de la Investigación	29
3.4.4	Método de la Investigación	29
3.4.5	Población de Estudio	29
3.4.6	Muestra	30
3.4.7	Unidad de Análisis.....	30
3.4.8	Unidad de Observación	30
3.4.9	Variables	30
3.4.9.1	Variable independiente:.....	30
3.4.9.2	Variable dependiente:.....	30
3.5	Procedimiento de la Investigación.....	30
3.5.1	Retiro de Pintura y Escarificado De Fisuras Y Grietas	30
3.5.2	Reparación de Vigas con Sikarep 500.....	31
3.5.3	Curado de Pórticos de Concreto Armado	32
3.5.4	Reforzamiento de Vigas con Fibra de Carbono	32

3.6	Presentación de Resultados	33
3.6.1	Resistencia a Compresión de Toma de Muestras de Mortero.....	33
3.6.1.1	Comparación de Ensayo a Compresión (Mortero Aplicado en Reparación vs Resistencia de Ficha Técnica):.....	34
3.6.2	Ensayo de Vigas de Concreto Armado Reparado y Reforzado con Fibra de Carbono.....	35
3.6.2.1	Acumulado de Curvas de Esfuerzo a Corte de Vigas de Etapa Inicial vs Reforzado con Fibra de Carbono:.....	39
3.6.3	Ensayo de Vigas de Concreto Armado con Adición de Fibra de Acero, Reparado y Reforzado con Fibra de Carbono.....	40
3.6.3.1	Acumulado de Curvas de Esfuerzo a Corte de Vigas con Adición de Fibra de Acero de Etapa Inicial vs Reforzado con Fibra de Carbono:	44
3.6.4	Comparación de Resultados de Vigas Ensayadas a Corte.....	45
3.6.4.1	Esfuerzo Cortante de Vigas de Concreto Simplemente Reforzadas – Reforzado con Fibra de Carbono.	45
3.6.4.2	Esfuerzo Cortante de Vigas de Concreto con Adición de Fibra de Acero – Reforzado con Fibra de Carbono.	46
3.6.4.3	Deformaciones de Vigas de Concreto Simplemente Reforzadas – Reforzado con Fibra de Carbono.	48
3.6.4.4	Deformaciones de Vigas de Concreto con Adición de Fibra de Acero – Reforzado con Fibra de Carbono.....	49
4.	CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
4.1	Análisis y Discusión de Resultados.....	51
4.2	Contrastación de la Hipótesis.....	54
5.	CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
5.1	CONCLUSIONES	55

5.2	RECOMENDACIONES	57
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
	ANEXOS.....	61
▪	Diseño de Pórticos.....	61
▪	Planos.....	67
▪	Fichas Técnica.....	69
	APÉNDICE	87
▪	Determinación de Fuerzas Cortantes.....	87
▪	Procesamiento de Datos de Ensayos a Corte de Vigas	95
▪	Panel Fotográfico.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Guía para anchos de fisuras razonables, hormigón armado bajo cargas de servicio.....	17
Tabla 2.2. Factor de reducción ambiental para varios materiales poliméricos reforzados con fibras y condiciones de exposición	18
Tabla 3.1. Resistencia a la compresión del muestreo de mortero a las 24 horas	33
Tabla 3.2. Resistencia a la compresión del muestreo de mortero a los 7 días	33
Tabla 3.3. Resistencia a la compresión del muestreo de mortero a los 14 días	34
Tabla 3.4. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PS-01	35
Tabla 3.5. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PS-02.....	36
Tabla 3.6. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PS-03	38
Tabla 3.7. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PF-01	40
Tabla 3.8. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PF-02	41
Tabla 3.9. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PF-03	43
Tabla 3.10. Cuadro comparativo de resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante de vigas.....	45
Tabla 3.11. Cuadro comparativo de resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante de vigas.....	46
Tabla 3.12. Cuadro comparativo de resultados de deformación del ensayo de vigas	48
Tabla 3.13. Cuadro comparativo de resultados de deformación del ensayo de vigas	49
Tabla A.1. Procesamiento de datos del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PS-01	95
Tabla A.2. Procesamiento de datos del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PS-02	96

Tabla A.3. Procesamiento de datos del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PS-03	97
Tabla A.4. Procesamiento de datos del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PF-01	98
Tabla A.5. Procesamiento de datos del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PF-02	99
Tabla A.6. Procesamiento de datos del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PF-03	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Viga con refuerzo longitudinal	14
Figura 2.2. Distribución de esfuerzos en sección de viga de material homogéneo o de concreto antes que se presente las rajaduras	15
Figura 2.3. Rajaduras de flexión.....	16
Figura 2.4. Rajaduras de tracción diagonal	16
Figura 2.5. Rajaduras de flexo-tracción	16
Figura 2.6. Esquemas de envoltura típicos para el refuerzo a cortante utilizando laminados FRP	20
Figura 2.7. Ilustración de las variables dimensionales utilizadas en los cálculos de resistencia al corte para reparaciones, actualizaciones o refuerzo utilizando laminados de FRP.....	22
Figura 3.1. Ubicación del Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz” – Edificio 1C de la UNC	27
Figura 3.2. Resistencia Comparativa a la compresión del mortero aplicado en la reparación de vigas y lo indicado en ficha técnica.....	34
Figura 3.3. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-01	35
Figura 3.4. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-01, Etapa Inicial vs Refuerzo con FRP	36
Figura 3.5. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-02	37
Figura 3.6. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-02, Etapa Inicial vs Refuerzo con FRP	37
Figura 3.7. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-03	38
Figura 3.8. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-03, Etapa Inicial vs Refuerzo con FRP	39

Figura 3.9. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-03, Etapa Inicial vs Refuerzo con FRP	39
Figura 3.10. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PF-01	40
Figura 3.11. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-03, Etapa Inicial vs Refuerzo con FRP	41
Figura 3.12. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PF-02	42
Figura 3.13. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-03, Etapa Inicial y Refuerzo con FRP	42
Figura 3.14. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PF-03	43
Figura 3.15. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PF-03, Tesis en Estudio y Tesis Reparación con FRP	44
Figura 3.16. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PF-03, Tesis en Estudio y Tesis Reparación con FRP	44
Figura 3.17. Comparación de Esfuerzos Cortantes de Vigas Ensayadas	45
Figura 3.18. Comparación de Esfuerzos Cortantes Promedio de Vigas Ensayadas	46
Figura 3.19. Comparación de Esfuerzos Cortantes de Vigas Ensayadas	47
Figura 3.20. Comparación de Esfuerzos Cortantes Promedio de Vigas Ensayadas	47
Figura 3.21. Comparación de Deformaciones de Vigas Ensayadas	48
Figura 3.22. Comparación de Deformaciones Promedio de Vigas Ensayadas	49
Figura 3.23. Comparación de Deformaciones de Vigas Ensayadas	50
Figura 3.24. Comparación de Deformaciones Promedio de Vigas Ensayadas	50

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N°01. Identificación de fisuras y grietas de pórticos	101
Fotografía N°02. Picado de fisuras, para su posterior reparación	101
Fotografía N°03. Remoción de daños severos de concreto	102
Fotografía N°04. Retiro de pintura y limpieza de concreto	102
Fotografía N°05. Aplicación de puente adherente (Sikadur 32), considerando el tiempo de trabajabilidad según su hoja técnica.....	103
Fotografía N°06. Encofrado de vigas para colocación de SikaRep 500	103
Fotografía N°07. Control de agua para la preparación del mortero	104
Fotografía N°08. Muestreo de mortero de reparación – ASTM C 109/109M	104
Fotografía N°09. Colocación del mortero en la reparación de vigas.....	105
Fotografía N°10. Identificación y curado de muestras de mortero	105
Fotografía N°11. Ensayo a compresión a las 24 horas	106
Fotografía N°12. Ensayo a compresión a los 7 días.....	106
Fotografía N°13. Ensayo a compresión a los 14 días.....	107
Fotografía N°14. Proceso de curado de pórticos.....	107
Fotografía N°15. Retirado el encofrado, se eliminó los vértices y salientes con ayuda de una amoladora.....	108
Fotografía N°16. Reparación de pequeñas cavidades (solaqueo) con cemento portland tipo 1.....	108
Fotografía N°17. Verificación de tela de fibra de carbono e imprimantes	109
Fotografía N°18. Verificación de medidas y traslape de fibra de carbono	109
Fotografía N°19. Preparación del producto MapeWrap Primer 1.....	110
Fotografía N°20. Preparación del producto MapeWrap 31	110
Fotografía N°21. Aplicación de la capa inicial – MapeWrap Primer 1.....	111

Fotografía N°22. Aplicación de MapeWrap 31 sobre la capa de MapeWrap Primer 1	111
Fotografía N°23. Colocación de la fibra de carbono y aplicación de MapeWrap 31 en traslape de 20 cm	112
Fotografía N°24. Aplicación de la segunda capa de MapeWrap 31 sobre la fibra de carbono.....	112
Fotografía N°25. Con ayuda de una espátula, se aplana bien la tela eliminando arrugas o bolsas de aire.....	113
Fotografía N°26. Con un rodillo con tornillo sin fin de aluminio, eliminamos completamente las burbujas de aire, el rodillo se pasa solamente en la dirección de las fibras primarias de la tela	113
Fotografía N°27. Culminados los trabajos de reforzamiento, se dejó protegido las estructuras por 14 días hasta su ensayo a corte	114
Fotografía N°28. Ensayo de pórtico PS-01	114
Fotografía N°29. Ensayo de pórtico PS-02	115
Fotografía N°30. Ensayo de pórtico PS-03	115
Fotografía N°31. Ensayo de pórtico PF-01.....	116
Fotografía N°32. Ensayo de pórtico PF-02.....	116
Fotografía N°33. Ensayo de pórtico PF-03.....	117
Fotografía N°34. Verificación del comportamiento de la Falla al corte de Viga (Pórtico PS-01)	117
Fotografía N°35. Verificación del comportamiento de la Falla al corte de Viga (Pórtico PS-02)	118
Fotografía N°36. Verificación del comportamiento de la Falla al corte de Viga (Pórtico PS-03)	118
Fotografía N°37. Verificación del comportamiento de la Falla al corte de Viga (Pórtico PF-01).....	119

Fotografía N°38. Verificación del comportamiento de la Falla al corte de Viga (Pórtico
PF-02)..... **119**

Fotografía N°39. Verificación del comportamiento de la Falla al corte de Viga (Pórtico
PF-03)..... **120**

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (2.1). Esfuerzo principal de tensión / compresión	14
Ecuación (2.2). Esfuerzo de corte y fuerza cortante en función del ángulo	14
Ecuación (2.3). Fuerza cortante debido a rajaduras de tracción diagonal	15
Ecuación (2.4). Fuerza cortante debido a rajaduras de flexo-tracción	16
Ecuación (2.5). Esfuerzo de rotura.....	17
Ecuación (2.6). Deformación de rotura.....	17
Ecuación (2.7). Módulo de elasticidad.....	17
Ecuación (2.8). Resistencia nominal al corte.....	19
Ecuación (2.9). Resistencia nominal al corte de un miembro reforzado con FRP	20
Ecuación (2.10). Resistencia al corte proporcionado por el esfuerzo FRP	21
Ecuación (2.11). Área del refuerzo de corte FRP con espaciamiento S	21

RESUMEN

La autoconstrucción en el Perú, si bien ha facilitado el acceso a la vivienda, también ha resultado en problemas de calidad y sostenibilidad, muchas de estas edificaciones presentan incrementos de carga de servicio y deterioros. En esta investigación, se presenta un método de reparación y reforzamiento de estructuras aplicando fibra de carbono, el cual nos permitirá determinar la variación de la resistencia a fuerza cortante. Se tomó como base de estudios la tesis “Influencia de la incorporación de fibras de acero en la resistencia de vigas de concreto armado ante un esfuerzo cortante”, presentado por Víctor Hugo Díaz Tafur, el cual elaboró 6 pórticos de concreto armado, incorporando a 3 de ellos fibra de acero. Estos pórticos luego del ensayo a corte fueron reparados con SikaRep 500 y reforzados con fibra de carbono, para el ensayo a corte, la carga se aplicó a una distancia igual al peralte efectivo. Los ensayos se ejecutaron en la Maquina Universal de 100 toneladas del Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM-FI-UNC) de la Universidad Nacional de Cajamarca. Finalmente, se concluye que la resistencia promedio en vigas con refuerzo simple sin adición de fibra de acero, al ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono es de 87.33 kg/cm², mientras que de la etapa inicial fue de 39.86 kg/cm² y en las vigas con adición de fibra de acero es de 93.73 kg/cm² y de la etapa inicial de 52.80 kg/cm². La deformación promedio en vigas con refuerzo simple sin adición de fibra de acero, al ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono es de 6.62 mm y de la etapa inicial de 2.40 mm, mientras que, en las vigas con adición de fibra de acero es de 9.26 mm y en la etapa inicial de 3.00 mm. Demostrando de esta manera que el empleo de fibra de carbono como reforzamiento estructural es muy eficiente y no implica un incremento brusco de sección de la estructura.

PALABRAS CLAVES: Falla última, Fibra de Acero, Fibra de Carbono, Deformación, Esfuerzo Cortante, adición.

ABSTRACT

Self-construction in Peru, although it has facilitated access to housing, has also resulted in quality and sustainability problems; many of these buildings present increases in service load and deterioration. In this research, a method for repairing and reinforcing structures using carbon fiber is presented, which will allow us to determine the variation in resistance to shear force. The thesis "Influence of the incorporation of steel fibers on the resistance of reinforced concrete beams to shear stress" was taken as a basis for studies, presented by Víctor Hugo Díaz Tafur, who created 6 reinforced concrete frames, incorporating 3 of them steel fiber. After the shear test, these frames were repaired with SikaRep 500 and reinforced with carbon fiber. For the shear test, the load was applied at a distance equal to the effective superelevation. The tests were carried out on the 100 ton Universal Machine. from the Materials Testing Laboratory (LEM-FI-UNC) of the National University of Cajamarca. Finally, it is concluded that the average resistance in beams with simple reinforcement without the addition of steel fiber, when repaired and reinforced with carbon fiber, is 87.33 kg/cm², while in the initial stage it was 39.86 kg/cm² and in the beams with the addition of steel fiber is 93.73 kg/cm² and the initial stage is 52.80 kg/cm². The average deformation in beams with simple reinforcement without the addition of steel fiber, when repaired and reinforced with carbon fiber, is 6.62 mm and the initial stage is 2.40 mm, while in the beams with the addition of steel fiber it is of 9.26 mm and in the initial stage of 3.00 mm. Demonstrating in this way that the use of carbon fiber as structural reinforcement is very efficient and does not imply a sudden increase in the section of the structure.

KEY WORDS: Ultimate failure, Steel Fiber, Carbon Fiber, Deformation, Shear Stress, Addition.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto

La situación del mercado de vivienda popular en Perú ha sido históricamente dominada por la autoconstrucción, un sector que, aunque ha permitido el acceso a la vivienda para muchos, también ha resultado en problemas de calidad y sostenibilidad, planteando desafíos sociales, económicos e incluso políticos. Existe, en tanto, un severo déficit de edificaciones de calidad y accesibles a sectores mayoritarios de la población, razón por la cual, debe realizarse investigaciones de nuevos sistemas constructivos que garanticen mayor resistencia, tiempos de ejecución y una adecuada calidad de las viviendas, con las exigencias de las normas de edificaciones vigentes. (Chávez Álvarez & Ortiz Hidalgo, 2019)

El diseño de concreto armado es un campo crucial en la ingeniería civil que asegura la seguridad y durabilidad de las estructuras. El diseño elástico, centrado en las cargas de servicio, ha dado paso al diseño por resistencia última, que considera el comportamiento del material hasta el punto de falla. Esta transición refleja un enfoque más realista y seguro para el manejo de las fuerzas actuantes en la estructura según su funcionalidad. Además, la distinción entre fallas dúctiles y frágiles es esencial para prever el comportamiento de las estructuras bajo cargas extremas y para diseñar edificaciones que puedan absorber energía y deformarse sin colapsar de manera repentina. Así, en la medida de lo posible y según sea conveniente, se debe orientar la falla hacia el tipo de falla asumido. (Harmsen Teodoro, 2017)

El concreto se considera uno de los materiales más versátiles y duraderos que existen, sin embargo, Muñoz Salinas & Mendoza Escobedo, en el 2012 publican en la revista concreto y cemento el tema “La durabilidad en las estructuras de concreto reforzado desde la perspectiva de la Norma Española para Estructuras de Concreto” donde indican que la durabilidad del concreto en edificios de viviendas es de 50 años. Se utiliza para construir edificios, puentes,

carreteras, presas y otras infraestructuras. El concreto tiene la ventaja de ser resistente a la compresión, al fuego, al agua y a la corrosión. Además, es económico, abundante y fácil de moldear. Sin embargo, el concreto también presenta algunos inconvenientes que limitan su rendimiento y sostenibilidad. Entre ellos se encuentran su baja resistencia a la tracción, su sensibilidad a las condiciones ambientales, su alto consumo de energía y recursos naturales y su impacto ambiental negativo, asimismo, existe también el proceso de degradación del concreto por diferentes factores. (MAPEI, 2019):

- ✓ **Factores Mecánicos:** Abrasión, erosión, impacto o cavitación. (MAPEI, 2019).
- ✓ **Factores Físicos:** Causados por causas meteorológicas, variaciones de temperatura (hielo-deshielo), el fuego y la retracción del concreto. (MAPEI, 2019).
- ✓ **Factores Estructurales:** Asientos diferenciales, acciones cíclicas o efectos dinámicos. (MAPEI, 2019).
- ✓ **Factores Químicos:** Debido al ataque por ácidos, sulfatos, cloruros o reacción álcali-árido. (MAPEI, 2019).
- ✓ **Factores Biológicos:** Los introducidos por agentes contaminantes o los debidos a la acción de organismos vivos. (MAPEI, 2019).
- ✓ **Factor Corrosión:** Se produce en las armaduras debido al ataque por carbonatación, causado por la penetración del dióxido de carbono en el concreto, los controles en la actualidad se realizan mediante aplicación de pinturas bituminosas como igol primer e igol denso y aditivos impermeabilizantes como SikaTop Seal 107. (MAPEI, 2019).

Para la recuperación de estructuras de concreto debido a la degradación con FRP (polímero reforzado con fibra), se pueden utilizar diferentes métodos, como el encolado de placas o varillas de FRP sobre la superficie de la estructura, la inyección de resina epoxi en las fisuras o el recubrimiento con tejidos o láminas de FRP. Estos métodos permiten aumentar la capacidad resistente a flexión y compresión de la estructura, reducir las deformaciones, mejorar la

adherencia entre los materiales y proteger la superficie frente a agentes agresivos. (MAPEI, 2019)

La aplicación de laminados compuestos de fibra de carbono y resina epoxídica en el refuerzo de estructuras de concreto, metálicas, de madera, de piedra, etc. comienza a constituir, en la presente década, una auténtica alternativa al sistema de refuerzo convencional mediante encolado de chapas de acero (fundamentalmente en refuerzos a flexión), tanto por sus mejores prestaciones mecánicas específicas y resistencia a la corrosión, como por los ahorros obtenidos en el proceso total del refuerzo, gracias a la ligereza que presentan los materiales compuestos, facilitando su transporte, manejo y puesta en obra, empleando medios auxiliares ligeros durante cortos periodos de tiempo. (Pons Gabarrón, 2007).

El empleo de fibra de carbono como reforzamiento de estructuras de concreto, mejora la resistencia a la tracción y durabilidad (alrededor de 50 años: ACI 440.2R-17), además es un material mucho más ligero en comparación con los métodos tradicionales de refuerzo. Las fibras de carbono no se corroen, mejoran el comportamiento estructural ante cargas. Sin embargo, su aplicación requiere de un adecuado diseño y ejecución, siguiendo las normas y criterios técnicos vigentes.

En esta investigación se presenta una revisión de los factores más resaltantes del sistema FRP, así como los resultados de un análisis experimental realizado en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, donde se evaluó el comportamiento de vigas reforzadas por flexión con este sistema.

Los ensayos mostraron que el reforzamiento con fibras de carbono mejora significativamente la capacidad resistente a flexión y la rigidez de las vigas, pero también evidenciaron la importancia de considerar factores como la longitud y el número de capas de refuerzo, el sistema de puente de adherencia y la ductilidad de los elementos. Se concluye que el sistema FRP es una alternativa viable y eficiente para el reforzamiento de estructuras de concreto armado, siempre que se realice un diseño adecuado.

1.2 Problema

1.2.1 Planteamiento del Problema

La seguridad estructural es fundamental en la construcción, ya que garantiza la integridad y durabilidad de las edificaciones frente a diversos fenómenos naturales. Los estudios en este campo han llevado a la creación de normativas y procedimientos que aseguren el cumplimiento de las exigencias básicas de seguridad. Además, el diseño adecuado y la selección de materiales de calidad son esenciales para la construcción segura y sostenible de estructuras.

La vulnerabilidad sísmica de los edificios es una preocupación creciente, particularmente en regiones propensas a terremotos. Históricamente, muchas estructuras no se diseñaron teniendo en cuenta las fuerzas sísmicas, lo que ha resultado en daños significativos durante estos eventos. La evaluación de la vulnerabilidad sísmica permite identificar los posibles modos de falla y la capacidad resistente de una estructura bajo condiciones de sismo probables. Es por ello que se realizan estudios donde proponen métodos para correlacionar la vulnerabilidad con características específicas de los edificios, como la antigüedad, ubicación geográfica y diseño sismoresistente.

El refuerzo de estructuras existentes abarca una amplia gama de desafíos más allá de los terremotos. Las edificaciones pueden verse afectadas por la corrosión debido a la humedad o la salinidad, especialmente en zonas costeras. Además, el desgaste por el uso continuo o la obsolescencia de materiales pueden comprometer la integridad estructural con el tiempo. Otro factor a considerar es la cimentación inadecuada que puede llevar a asentamientos diferenciales, causando inclinaciones o fisuras. Asimismo, las modificaciones no planificadas o ampliaciones que no siguen los códigos de construcción pueden introducir vulnerabilidades.

Si un elemento estructural es dañado por algún factor externo (sismo, choque, incendio, asentamiento, etc.), si este no se refuerza la falla puede ser inmediata, el colapso de la estructura será inevitable. Entonces se necesita saber que tan eficiente es el empleo de fibra de carbono como alternativa de reforzamiento de vigas. (MAPEI, 2019)

1.2.2 Formulación del Problema

¿En cuánto varía la resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibras de acero al ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono después de haber alcanzado su falla última?

1.3 Hipótesis

Las vigas luego de ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono tienen una mayor variación de la resistencia a corte que las vigas con y sin fibra de acero de diseño inicial.

1.4 Justificación

El uso de fibra de carbono para el reforzamiento de estructuras de concreto armado representa una técnica avanzada que ofrece notables beneficios en términos de resistencia y durabilidad. La investigación continua en este campo es esencial para optimizar las técnicas de aplicación y expandir el conocimiento sobre comportamientos a largo plazo de las estructuras reforzadas con fibra de carbono garantizando infraestructuras más seguras y resilientes.

La investigación en el comportamiento dúctil de los elementos estructurales es crucial para la ingeniería sísmica. El desarrollo de técnicas avanzadas para la reparación y refuerzo de estructuras de concreto armado no solo mejora la resistencia de los edificios ante terremotos, sino que también extiende su vida útil y garantiza la seguridad de sus ocupantes. Este campo de estudio ofrece a los Ingenieros Civiles herramientas esenciales para diseñar edificaciones más seguras, asegurando así el bienestar de las comunidades.

1.5 Delimitación de la Investigación

La presente investigación se realizará en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM-FI-UNC) de la Universidad Nacional de Cajamarca, consiste en realizar la reparación y reforzamiento de 6 vigas ensayadas a corte por el Bach. Víctor Hugo Díaz Tafur durante su investigación "Influencia de la Incorporación de Fibras de Acero en la Resistencia de Vigas de

Concreto Armado ante un Esfuerzo Cortante”, en dicho estudio se empleó concreto $f'c=210$ kg/cm² y a 3 de las vigas se les realizó incorporación de fibra de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB con una dosificación del 2%, la reparación se realizará con SikaRep 500 aplicando un puente de adherencia Sikadur 32 y posterior se realizará el reforzamiento de las vigas con fibra de carbono siguiendo las recomendaciones del ACI 440.2R-17 y la ficha de los productos aplicables.

Se realizó el ensayo en la Maquina Universal de 100 toneladas y se aplicó la carga a una distancia del total del peralte efectivo de la viga medido desde la cara de la columna para corte, se midieron las cargas de rotura y deformaciones, para luego analizar la variación de la resistencia a corte reforzado con fibra de carbono.

1.6 Limitaciones

Limitado a al tipo de refuerzo por cortante, en esta investigación se empleó un refuerzo continuo con envoltura completa de la sección, pudiendo ser el refuerzo en tiras, inclinados y la envoltura en “U” o a dos lados los cuales están en función del nivel de esfuerzos y la dificultad de la colocación en la estructura.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

- ✓ Determinar la variación de la resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con fibra de carbono después de haber alcanzado su falla última.

1.7.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar la resistencia a fuerza cortante y deformacion de vigas con (sika fiber CHO 65/35 NB en 2%) y sin fibras de acero al ser reforzadas con fibra de carbono después de haber alcanzado su falla última.

- ✓ Medir las deformaciones de las vigas reforzadas con fibra de carbono tanto en vigas con acero estructural y vigas con fibra de acero (sika fiber CHO 65/35 NB en 2%).

1.8 Descripción de los Contenidos

La presente investigación consta de cinco capítulos:

El capítulo primero, “INTRODUCCIÓN”, se establece el marco inicial del estudio. Aquí se detalla el contexto en el que se inscribe la investigación, se plantea el problema a resolver y se argumenta la relevancia del trabajo. Además, se definen los límites y alcance del estudio, se formulan los objetivos que guiarán la investigación y se proponen las hipótesis que serán sometidas a prueba.

El capítulo segundo, “MARCO TEÓRICO”, se establecen las bases teóricas y conceptuales sobre las cuales se construye el estudio. Al revisar trabajos previos, se identifican patrones, se detectan hallazgos significativos y se delimita el alcance de la investigación actual. La definición clara de términos es fundamental para asegurar que los lectores tengan un entendimiento uniforme de los conceptos clave.

El capítulo tercero, “MATERIALES Y MÉTODOS”, se especifica la población de objetivo, la selección de la muestra y la unidad de análisis, estableciendo las bases para la validez de los resultados. Describe los procedimientos y herramientas utilizadas para recopilar y analizar los datos. Proporciona la estructura necesaria para interpretar los resultados de manera significativa.

EL capítulo cuarto, “ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS”, se interpreta y se discute la significancia de los resultados obtenidos. Es aquí donde se evalúa si los datos recopilados apoyan o refutan la hipótesis planteada.

El capítulo quinto, “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”, las conclusiones se derivan directamente de los objetivos de estudio y las recomendaciones ofrecen un camino para la expansión del estudio.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos de la Investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

M. Di Ludovico, A. Balsamo, A. Prota, G. Manfredi, M. Dolce, C. Del Vecchio, G.M. Verderame (2014), en su estudio “Refuerzo de Nudos de Hormigón Armado Reforzados con CFRP, Departamento de Estructuras para Ingeniería y la Arquitectura de la Universidad Federico II de Nápoles – Italia”, la muestra de estudio se basó en 9 vigas-pilar no confinado, la finalidad fue representar edificaciones existentes que solo están diseñados para las acciones de cargas gravitacionales y no acciones sísmicas, referenciando o referenciando normas obsoletas para la evaluación de acciones sísmicas. En dicho estudio se concluye que la aplicación de CFRP (polímero reforzado con fibra de carbono) en los nudos viga-pilar muestra un aumento significativo en la resistencia a cortante, lo que es crucial durante un terremoto. Además, el confinamiento efectivo de los extremos de los pilares y el incremento de la resistencia a cortante en los extremos de las vigas contribuyen a la integridad global de la estructura sin afectar su rigidez.

Moncayo Theurer M., Rodriguez J., Alcívar, López, Soriano, Villacis (2016), en su estudio “Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras; Ingeniería, vol. 20, núm.1, pp. 57-62; Universidad Autónoma de Yucatán Mérida – México”, en dicho estudio se concluye que la fibra de carbono representa un avance significativo en la ingeniería, especialmente en el reforzamiento de las estructuras que han cumplido su vida útil o han sufrido daños significativos. Su alta resistencia y durabilidad, combinada con una vulnerabilidad reducida a factores externos, la convierten en una opción ideal para reforzar y prolongar la vida útil de las estructuras a las que se aplique. Además, su versatilidad ha permitido su aplicación en una

amplia gama de industrias, desde la automotriz hasta la aeroespacial, demostrando ser un material revolucionario en el campo de la construcción y diseño estructural.

M. Di Ludovico, A. Balsamo, A. Prota, G. Manfredi, M. Del Zoppo (2017), en su estudio “Refuerzo de Pilares a Flexión y a Cortante, Reforzados con CFRP, Departamento de Estructuras para Ingeniería y la Arquitectura de la Universidad Federico II de Nápoles – Italia”, el estudio experimental está basado en un conjunto de pilares, de los cuales tres de ellos son esbeltos y tienen un comportamiento flexional y cinco pilares son macizos con un comportamiento frágil, estos estudios presentan un enfoque innovador en la ingeniería sísmica, destacando la importancia del refuerzo de estructuras con CFRP (polímero reforzado con fibra de carbono) para mejorar la resistencia y ductilidad de los pilares de concreto. Los pilares esbeltos y macizos representan dos tipos comunes de elementos estructurales en zonas sísmicas, el uso de CFRP ha demostrado ser una técnica efectiva para aumentar la capacidad de deformación y resistencia a cortante, lo cual es crucial durante un terremoto. La aplicación de tensiones normales en las pruebas, refleja las condiciones reales que podrían experimentar los edificios durante un sismo, proporcionando datos valiosos para futuras aplicaciones de diseño y refuerzo. Este tipo de investigaciones contribuye significativamente a la seguridad estructural de edificios en zonas propensas a sismos.

Contreras Landa L. Antonio (2017), en su estudio “Análisis del Comportamiento de Vigas de Concreto Reforzadas con Fibra de Carbono, Monterrey Nuevo León – México”, El estudio realizado ofrece una visión detallada y técnica sobre el refuerzo de vigas de concreto utilizando fibras de carbono. Es interesante notar cómo la ductilidad y la cuantía de acero influye en la eficacia del refuerzo. La limitación impuesta por la ductilidad al aumentar la cantidad de refuerzo sugiere que hay un equilibrio delicado entre la resistencia y la flexibilidad que debe ser cuidadosamente considerado en el diseño estructural. Asimismo, la recomendación de no

exceder el 55% de la cuantía de acero máximo para vigas reforzadas con fibra de carbono es un dato crucial durante el diseño estructural, ya que indica un umbral a partir del cual el refuerzo adicional podría no ser beneficioso o incluso contraproducente. Finalmente, el cambio en el modo de falla y la reducción de la curvatura última son aspectos fundamentales que destacan la importancia de una planificación y análisis exhaustivos antes de aplicar esta técnica de refuerzo en proyectos de reforzamiento y construcción.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Alegre Gago Gianfranco (2017), en su estudio “Estudio de la Influencia en la Resistencia y Ductilidad de las Fibras de Carbono Utilizadas como Reforzamiento de Vigas de Concreto Armado; Lima – Perú”, en el siguiente estudio se realizó reforzamiento en vigas aplicando fibra de carbono, esto con la finalidad de analizar el comportamiento elástico e inelástico luego de ser sometido a fuerzas de flexión, por lo que se concluye:

- ✓ El estudio presentado ofrece una visión detallada y técnica sobre el impacto del refuerzo con fibra de carbono en vigas de concreto armado. Los resultados indican un aumento significativo en la resistencia a flexión, especialmente en secciones con menor cantidad de acero. Sin embargo, este refuerzo parece tener un efecto adverso en la ductilidad de las vigas, lo que sugiere una disminución en la capacidad de deformación antes de la falla. Este comportamiento lineal hasta el punto de falla del CFRP (polímero reforzado con fibra de carbono) subraya su naturaleza frágil y la necesidad de considerar estos factores de diseño estructural. Dicha investigación resalta la importancia de equilibrar la resistencia y la ductilidad en el diseño de estructuras.

Estrada Santos M. Alejandra y Yoplac Carhuatanta Jorvi, (2019), en su estudio “Evaluación Técnica y Económica de Reforzamiento Estructural en Vigas de Concreto Armado con Fibras de Carbono en el Edificio Multifamiliar Huaraz Breña; Lima – Perú”, el estudio realizado demuestra que la implementación de fibra de carbono (CFRP) para el reforzamiento de vigas de concreto armado no solo mejora significativamente la resistencia estructural, sino que también representa una opción más rentable en comparación con métodos tradicionales. Durante los ensayos realizados, se determinó que existe un incremento de resistencia hasta en un 20% y una reducción de costos hasta del 10.67% en comparación con los reforzamientos de encamisados, esta técnica se proporciona como una alternativa viable y económica. Además, al cumplir con el criterio de rentabilidad establecido por la experiencia internacional, se confirma su potencial para proyectos de vivienda, como lo evidencia el caso del edificio multifamiliar de Huaraz.

Aguilar Chama K. Paul y Cari Montoya B. Juan (2019), en su estudio “Verificación de la Efectividad del Uso de la Fibra de Carbono en el Reforzamiento de Vigas de Concreto Armado Sometidas a Esfuerzos de Flexión y Corte; Arequipa – Perú”, en dicho estudio se concluyó que:

- ✓ Los resultados de los ensayos son prometedores, mostrando un incremento significativo en la resistencia al corte cuando se utiliza un ángulo de 45° durante el reforzamiento, esto no solo mejora la capacidad de carga de las vigas, sino que también puede contribuir a una mayor seguridad estructural en situaciones de carga extrema; además, se demostró que la resistencia a flexión es 25% mayor que la resistencia calculada teóricamente.
- ✓ La fibra de carbono es un material de refuerzo superior en comparación con los métodos de ensanchamiento, en cuanto al costo, el refuerzo con fibra de carbono es más alto (16.5%), la reducción en el tiempo de ejecución es un factor importante a considerar, especialmente en proyectos con plazos ajustados.

Mendoza Rugel G. Eduardo y Silva Díaz M. Jimett (2023), en su estudio “Propuesta de Reforzamiento de Estructuras con Fibra de Carbón en Viviendas, por Cambio de Uso o Ampliación de Área Construida; Lima – Perú”, el refuerzo estructural para vigas y losas en edificaciones de Lima es de gran relevancia, considerando las sobrecargas que pueden surgir por ampliaciones y cambios de uso. La aplicación de dos capas de fibra de carbono (CFRP) es una solución innovadora que no solo es limpia y no invasiva, sino que también mejora significativamente la resistencia a la compresión y el momento flector de las estructuras. El incremento en la capacidad de carga hasta un valor de 1.3 veces el momento nominal es un avance notable, y el hecho de que el refuerzo necesario sea del 35.86%, dentro del límite de seguridad del 40% según lo establecido en la norma ACI 440.2R-17, demuestra la eficacia de este método.

2.1.3 Antecedentes Locales

Quiroz Saldaña J. Rivelino (2017), en su estudio “Reforzamiento estructural del puente Quebrada Negra aplicando polímeros reforzados con fibras de carbono (CFRP), en el acceso a la central hidroeléctrica Potrero – Centro Poblado Aguas Calientes – Distrito Eduardo Villanueva – Provincia de San Marcos – Cajamarca – Perú”, en dicho estudio se concluye que:

- ✓ En el caso del Puente Quebrada Negra, la aplicación de CFRP ha resultado en una significativa disminución de la deflexión máxima, pasando de 25.283 mm a 6.07 mm, esta reducción del 76.46% no solo mejora la capacidad del puente para soportar cargas adicionales, sino que también aumenta su vida útil y seguridad estructural.
- ✓ Los resultados obtenidos con SAP 2000 y CSiBridge demuestran su fiabilidad, una diferencia mínima en la deflexión máxima indica que ambos programas son consistentes y preciso para evaluar el comportamiento de vigas y puentes bajo

cargas de servicio y de diseño. Esto asegura que los ingenieros pueden confiar en estos softwares para obtener estimaciones cercanas a la realidad, optimizando así el proceso de diseño y garantizando la seguridad estructural.

Chávez Merino K. Jhoseph (2019), en su estudio “Resistencia a flexión en vigas de concreto simple empleando fibras de carbono como reforzamiento con diferentes anchos, Cajamarca – Perú”, en el estudio presentado se muestra un incremento significativo en la resistencia a flexión (6.69%, 15.56% y 27.02%) de vigas de concreto simplemente reforzadas con fibra de carbono con ancho de 2, 3 y 4 cm, comparado con una muestra patrón sin refuerzo. Los resultados indican que el ancho de la fibra de carbono tiene una relación directa con la resistencia a flexión, observándose los mayores aumentos de resistencia en las vigas con mayor ancho de fibra, este análisis es fundamental para la Ingeniería Civil, ya que sugiere que la fibra de carbono podría ser utilizada para mejorar la durabilidad y la capacidad de carga de estructuras de concreto.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Análisis de una Viga de Concreto Armado Sometida A Fuerza Cortante

En la figura 2.1 se muestra una viga homogénea sometida a una carga uniformemente distribuida. El efecto del peso propio se desprecia para el análisis. Por encima del eje neutro, los puntos de la sección A-A están sometidos a esfuerzos de corte y compresión, v y σ_x , respectivamente. Por debajo de él, la compresión es reemplazada por tracción. Para cada punto es posible determinar la magnitud y dirección de sus esfuerzos principales, a través de las siguientes expresiones (Harmsen Teodoro, 2017):

$$\sigma_{max/min} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + v^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\tan 2\theta = \frac{2v}{\sigma_x} \dots\dots\dots (2.2)$$

donde:

σ_{max} : Esfuerzo principal de tensión en dirección θ .

σ_{min} : Esfuerzo principal de compresión en la dirección θ .

σ_x : Esfuerzo de tracción o compresión debido al momento flector.

v : Esfuerzo de corte debido a la fuerza cortante.

θ : Ángulo que forma la dirección del esfuerzo principal con el eje del elemento.

La distribución de σ_x , σ_{max} y v en la sección A-A, se muestra en la figura 2.2.

Figura 2.1. Viga con refuerzo longitudinal

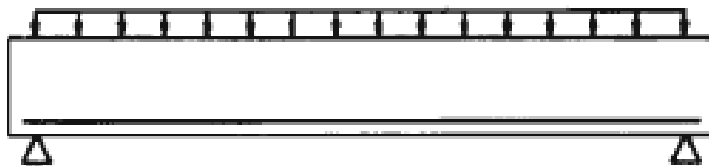
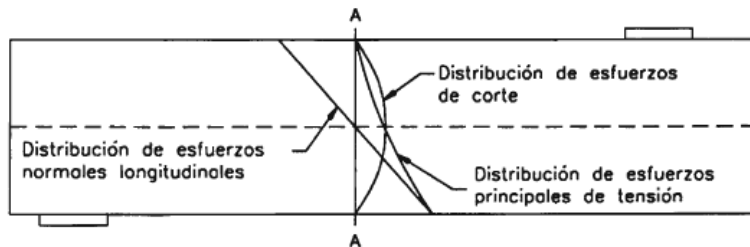


Figura 2.2. Distribución de esfuerzos en sección de viga de material homogéneo o de concreto antes que se presente las rajaduras



Nota: Tomada del libro diseño de estructuras de concreto armado, quinta edición, por Teodoro E. Harmsen, 2017.

Se observa que:

- ✓ En el eje neutro sólo actúa el esfuerzo de corte, $\sigma_x = 0$ y por lo tanto $\sigma_{max} = v$ y $\theta=45^\circ$ y $\theta=135^\circ$.
- ✓ En el borde inferior, el esfuerzo cortante es nulo y el esfuerzo de tracción es paralelo al eje del elemento e igual a σ_x . En los dos últimos casos $\theta = \pm 90^\circ$, $\theta = \pm 180^\circ$ y $\sigma_{max} = \sigma_x$.

Es posible distinguir tres tipos de rajaduras en vigas de concreto armado:

- ✓ **Rajadura de flexión:** Se presentan en las secciones donde se producen los mayores esfuerzos de flexión, es decir, en el tercio central de la luz de la viga y en los apoyos si se trata de elementos continuos. Son verticales y se inician al borde del elemento. En estas secciones, el efecto de la fuerza cortante es pequeño en comparación con el del momento flector (Figura 2.3).
- ✓ **Rajaduras de tracción diagonal:** La fuerza cortante que produce el agrietamiento diagonal es del orden:

$$v = 0.93 * \sqrt{f'_c} * b_w * d \dots \dots \dots (2.3)$$

Estas grietas se presentan cerca de los apoyos y en los puntos de inflexión de vigas de gran peralte, cuyo ancho es relativamente pequeño y están poco armadas transversalmente (Figura 2.4).

- ✓ **Rajaduras de flexo-tracción:** Son propias de secciones donde el momento flector es considerable. La fuerza cortante de agrietamiento diagonal es aproximadamente:

$$v = 0.50 * \sqrt{f'_c} * b_w * d \dots \dots \dots (2.4)$$

Dicha fuerza es menor que la que ocasiona las rajaduras de tracción diagonal (Figura 2.5).

Figura 2.3. Rajaduras de flexión

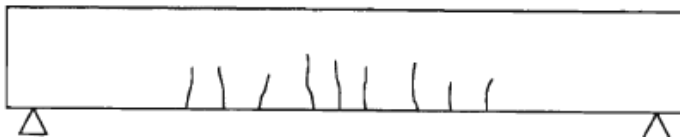


Figura 2.4. Rajaduras de tracción diagonal

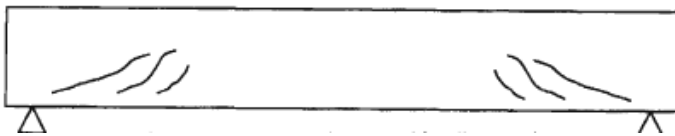
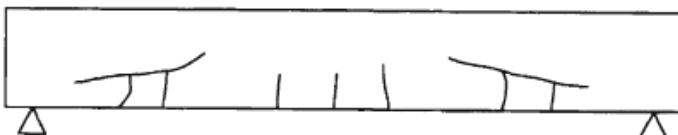


Figura 2.5. Rajaduras de flexo-tracción



Nota: Tomada del libro diseño de estructuras de concreto armado, quinta edición, por Teodoro E. Harmsen, 2017.

Tabla 2.1. Guía para anchos de fisuras razonables, hormigón armado bajo cargas de servicio

CONDICIÓN DE EXPOSICIÓN	ANCHO DE FISURA	
	in.	mm
Aire Seco o Membrana Protectora	0.016	0.41
Humedad, Aire Húmedo, Suelo	0.012	0.30
Productos Químicos Descongelantes	0.007	0.18
Agua de Mar y Rocío de Agua de Mar, Humedecimiento y Secado	0.006	0.15
Estructuras para Retención de Agua	0.004	0.10

Nota: Tomada del libro control de fisuras en estructuras de concreto (Instituto Americano del Concreto, ACI 224R-01).

2.2.2 Análisis De Una Viga Con Fibra De Carbono

2.2.2.1 Propiedades del Material de Diseño.

Debido a que la exposición a largo plazo a diversos tipos de entornos puede reducir las propiedades de tracción y la resistencia a la rotura por fluencia y fatiga de los laminados de fibra de carbono, las propiedades del material utilizadas en las ecuaciones de diseño deben reducirse en función de la condición de exposición ambiental.

Las ecuaciones (2.5), (2.6) y (2.7) dan las propiedades de tracción y deben usarse en todas las ecuaciones de diseño. la resistencia última a la tracción de diseño debe determinarse utilizando el factor de reducción ambiental (Tabla 2.2) para el tipo de fibra y la condición de exposición apropiados (ACI 440.2R, 2017).

$$f_{fu} = C_E * f_{fu}^* \text{ (Esfuerzo de Rotura)} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E * \varepsilon_{fu}^* \text{ (Deformación de Rotura)} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$E_f = \frac{f_{fu}}{\varepsilon_{fu}} \text{ (Módulo de Elasticidad)} \dots\dots\dots (2.7)$$

donde:

f_{fu}^* : Resistencia máxima a la tracción de la fibra de carbono según lo informado por el fabricante.

C_E : Factor de reducción ambiental.

Factor de reducción ambiental (Tabla 2.2) para el tipo de fibra y la condición de exposición apropiados.

Tabla 2.2. *Factor de reducción ambiental para varios materiales poliméricos reforzados con fibras y condiciones de exposición*

Condición de Exposición	Tipo de Fibra	Factor de Reducción Ambiental C_E
Exposición Interior	Carbón	0.95
	Vaso	0.75
	Aramida	0.85
Exposición Exterior (Puentes, muelles y estacionamientos no cerrados)	Carbón	0.85
	Vaso	0.65
	Aramida	0.75
Ambiente Agresivo (Plantas químicas y plantas de tratamiento de aguas residuales)	Carbón	0.85
	Vaso	0.5
	Aramida	0.7

Nota: Tomada del libro guía para el diseño y construcción de sistemas FRP adheridos externamente para el refuerzo de estructuras de concreto (instituto americano del concreto ACI 440.2R, 2017).

2.2.2.2 Reforzamiento de Corte.

Se ha demostrado que los sistemas de polímeros reforzados con fibra (FRP) aumenta la resistencia al corte de vigas y columnas de hormigón existentes al envolver o envolver parcialmente los miembros (Malvar, 1995; Chajes, 1995; Norris, 1997; Kachlakev y McCurry 2000). Orientar las fibras de FRP transversalmente al eje del miembro o perpendiculares a

posibles grietas por corte es eficaz para proporcionar resistencia al corte adicional (Sato, 1996). Puede ser necesario un aumento en la resistencia al corte cuando se implementa el refuerzo por flexión para garantizar que la capacidad de flexión siga siendo crítica. Las fallas por flexión son de naturaleza relativamente más dúctil en comparación con las fallas por corte (ACI 440.2R, 2017).

2.2.2.3 Resistencia al Corte Nominal.

La resistencia al corte de diseño de un miembro de concreto reforzado con un sistema FRP (polímeros reforzados con fibras) debe exceder la resistencia al corte requerido (Ecuación 2.8).

La resistencia al corte requerido de un miembro de concreto reforzado con FRP debe calcularse con los factores de carga requeridos por ACI-318. La resistencia al corte de diseño debe calcularse multiplicando la resistencia nominal al corte por el factor de reducción de la resistencia ϕ , como se especifica en ACI 318, 2019.

$$\phi V_n \geq V_u \dots \dots \dots (2.8)$$

donde:

ϕ : Factor de reducción de fuerza.

V_n : Resistencia nominal al corte.

V_u : Resistencia al Corte de diseño de un miembro de concreto reforzado con FRP.

La resistencia nominal al corte de un FRP reforzado miembro concreto se puede determinar sumando la contribución del refuerzo externo de PRF para cortante a las contribuciones del acero de refuerzo (estribos, amarres o espirales) y el concreto (Ecuación 2.9). Se aplica un factor de reducción adicional ψ_f a la contribución del sistema FRP (ACI 440.2R, 2017).

$$\phi V_n = \phi(V_c + V_s + \psi_f * V_f) \dots \dots \dots (2.9)$$

donde:

ϕ : Factor de reducción de fuerza.

ψ_f : Factor de reducción de la fuerza de FRP

= 0.85 para flexión (calibrado en función de las propiedades del material de diseño).

= 0.85 para cortante (basado en análisis de confiabilidad) para envoltura en U de FRP de tres lados o refuerzo de dos lados.

= 0.95 para secciones completamente envueltas en cortante.

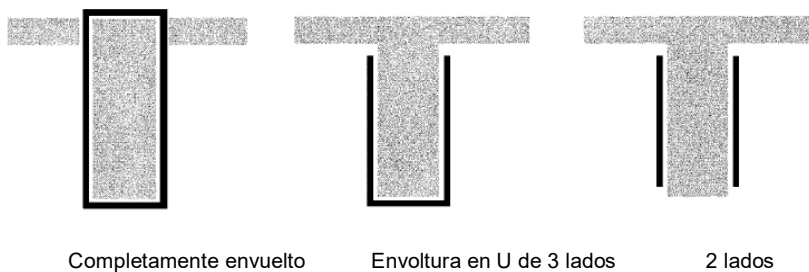
V_n : Resistencia nominal al corte.

V_c : Resistencia nominal al corte proporcionado por el concreto con acero de refuerzo a flexión.

V_s : Resistencia nominal al corte proporcionado por estribos de acero.

V_f : Resistencia nominal al corte proporcionado por los estribos de FRP.

Figura 2.6. Esquemas de envoltura típicos para el refuerzo a cortante utilizando laminados FRP



Completamente envuelto

Envoltura en U de 3 lados

2 lados

Nota: Tomada del libro guía para el diseño y construcción de sistemas FRP adheridos externamente para el refuerzo de estructuras de concreto (instituto americano del concreto ACI 440.2R, 2017).

2.2.2.4 Contribución de FRP a la Resistencia al Corte.

La figura 6 ilustra las variables dimensionales utilizadas en cálculos de resistencia al corte para laminados de FRP. La contribución del sistema FRP a la resistencia al corte de un elemento se basa en la orientación de las fibras y en un patrón de grietas asumido (Khalifa, 1998).

La resistencia al corte proporcionado por el refuerzo de FRP se puede determinar calculando la fuerza resultante de la tensión de tracción en el FRP a través de la fisura supuesta. La contribución a cortante de la armadura de FRP a cortante viene dada entonces por (Ecuación 2.10) (ACI 440.2R, 2017).

$$V_f = \frac{A_{fv} * f_{fe} * (\text{sen } \alpha + \text{cos } \alpha) * d_{fv}}{S_f} \dots\dots\dots (2.10)$$

donde:

A_{fv} : Área del refuerzo de cortante FRP con espaciamiento S.

f_{fe} : Estrés efectiva en el FRP; tensión alcanzada en la falla de la sección.

d_{fv} : Profundidad efectiva del refuerzo de cortante FRP.

S_f : Espaciado de centro a centro de las tiras FRP.

Para secciones rectangulares:

$$A_{fv} = 2 * n * t_f * w_f \dots\dots\dots (2.11)$$

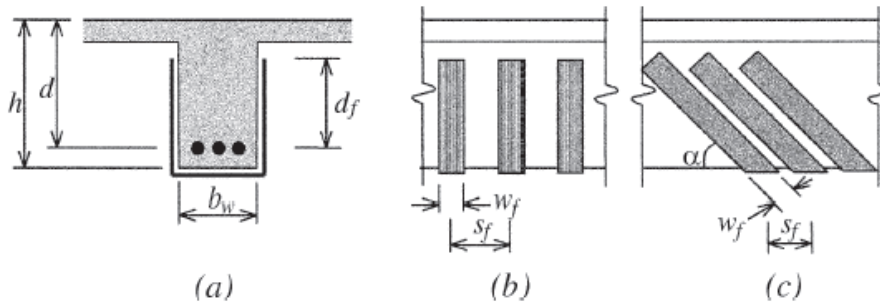
donde:

t_f : Espesor nominal de una capa de refuerzo de FRP.

w_f : Ancho de las capas de refuerzo.

n : Número de capas de refuerzo FRP.

Figura 2.7. Ilustración de las variables dimensionales utilizadas en los cálculos de resistencia al corte para reparaciones, actualizaciones o refuerzo utilizando laminados de FRP



Nota: Tomada del libro guía para el diseño y construcción de sistemas FRP adheridos externamente para el refuerzo de estructuras de concreto (Instituto Americano del Concreto ACI 440.2R, 2017).

2.3 Definición de Términos Básicos

2.3.1 Vigas

Las vigas son elementos estructurales que soportan esfuerzos de carga y sobre carga y se encargan de transmitir estas cargas hacia las columnas, las cuales están ubicadas generalmente en los ejes de la estructura y en conjunto dos columnas y una viga forman un pórtico, (Blasco, 2002).

2.3.2 Resistencia

Para la ingeniería la resistencia de un elemento se define como su capacidad para soportar esfuerzos sin que dicho elemento llegue a romperse, no obstante, va adquiriendo deformaciones temporales y otras permanentes, (Ottazzi, 2015).

2.3.3 Fuerza Cortante

La fuerza cortante representa la suma algebraica de las fuerzas externas aplicadas perpendicularmente al eje de una viga, que actúa en uno de los lados de una sección transversal específica.

La fuerza cortante es positiva cuando la parte situada a la izquierda de la sección tiende a subir con respecto a la parte derecha, (Mujica, 2011).

2.3.4 Estado Límite de Falla (Falla Última)

Los estados límites de falla son una preocupación primordial en la ingeniería estructural. Estos estados se refieren a condiciones bajo las cuales una estructura ya no puede cumplir con su propósito previsto, ya sea por fallas totales o parciales. La identificación y comprensión de estos estados son cruciales para el diseño de estructuras seguras y confiables, asegurando que puedan resistir no solo las cargas actuales sino también las futuras sin comprometer la seguridad de las personas. En algunos reglamentos o normas de diseño llaman a los estados límites de falla como estados límite últimos, (Manzanarez Cirilo, 2013).

2.3.5 Reparación

Consiste en restaurar la funcionalidad de elementos que han sufrido algún tipo de daño o desgaste, utilizando diversos materiales y técnicas. Aunque el objetivo no siempre es devolver el elemento a su estado original, el enfoque está en alcanzar un nivel de operatividad que garantice seguridad y eficiencia. Este proceso es fundamental para prolongar la vida útil de las infraestructuras y asegurar su correcto funcionamiento. El trabajo puede algunas veces ser tendientes simplemente a reducir la rata de deterioro o degradación sin aumentar significativamente el nivel actual de funcionalidad, (Sika S.A.S, 2017).

2.3.6 Reforzamiento

Acción para incrementar la resistencia de una estructura o sus componentes, para mejorar la estabilidad estructural de la construcción, (Sika S.A.S, 2017).

2.3.7 Fibras de Acero

Las fibras de acero son elementos de corta longitud y pequeña sección que se adicionan al concreto a fin de transferirle propiedades específicas y características que son necesarias para distribuir aleatoriamente dentro de una mezcla de concreto en estado fresco (Mármol, 2010).

Las dimensiones de las fibras de acero varían de 6 mm a 150 mm de longitud y espesores que varían de 0.005 mm a 0.75 mm, (Harmsen, 2017).

2.3.8 Rigidez

Es una propiedad presente en los materiales, la cual se define como la capacidad de oponerse a la deformación frente a esfuerzos externos, (Ottazzi, 2015).

2.3.9 Deformación

Podemos definir la deformación de un elemento estructural como una alteración del estado físico debido a una fuerza mecánica externa, a una variación de temperatura, a un cedimiento de apoyos, etc., (Morales F. Roberto, 2013).

2.3.10 Fibra de Carbono

Fibra producida al calentar materiales precursores orgánicos que contienen una cantidad sustancial de carbono, como rayón, poliacrilonitrilo (PAN) o brea en un ambiente inerte y a temperaturas de 2700 °F (1500 °C) o más (ACI 440.2R, 2017).

2.3.11 Polímero Reforzado con Fibra (FRP)

Un término general para un material compuesto que comprende una matriz polimérica reforzada con fibras en forma de tela, estera, hilos o cualquier otra forma de fibra (ACI 440.2R, 2017).

2.3.12 MapeWrap C Uni-Ax 600

Es una tela de fibra de carbono, unidireccional, de alta resistencia que cuando se utiliza con la familia MapeWrap de adhesivos epoxi de dos componentes, forma un sistema de refuerzo de adherencia externa de polímero reforzado con fibra (MAPEI, 2019).

2.3.13 MapeWrap Primer 1

Es una resina epoxi 100% sólida, de baja viscosidad, tolerante a la humedad, utilizada como recubrimiento de sellado para consolidar e imprimir sustratos de concreto (MAPEI, 2019).

2.3.14 MapeWrap 31

Es un adhesivo confeccionado a base de resinas epoxídicas, de consistencia gelatinosa, exento de disolventes, para efectuar la impregnación en obra, mediante el “sistema seco”, de los tejidos MapeWrap (MAPEI, 2019).

2.3.15 SikaRep - 500

Es un mortero predosificado de alta calidad, está basado en aglomerantes cementicios, fibras sintéticas, micro sílice, aditivos especiales y agregados inertes de granulometría controlada (Sika S.A.S, 2019).

2.3.16 Sikadur – 32 Gel

Es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epóxicas seleccionadas, libre de solventes (Sika S.A.S, 2019).

2.3.17 Resina, Epoxi

Es una clase de sistemas de enlace químico orgánico utilizados en la preparación de recubrimientos especiales o adhesivos para concreto o como aglutinantes en morteros de resina epoxi, concretos y compuestos de FRP (ACI 440.2R, 2017).

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación Geográfica de la Investigación

La investigación se realizó en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca, en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz” – Edificio 1C de la Universidad Nacional de Cajamarca – Facultad de Ingeniería, con coordenadas E 776616 m y N 9207008 m y una altitud aproximada de 2682 m.sn.m.

Figura 3.1. *Ubicación del Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz” – Edificio 1C de la UNC*



Nota: Google Maps.

3.2 Época de la Investigación

La investigación se realizó durante el periodo del mes de julio del 2023 hasta marzo del 2024, considerando que el plan de tesis fue presentado en marzo del 2023 y aprobado el mes de junio del mismo año.

3.3 Equipos y Herramientas Utilizados en la Investigación

3.3.1 Materiales

- ✓ SikaRep 500
- ✓ Sikadur 32 Gel
- ✓ MapeWrap C Uni-Ax 600
- ✓ MapeWrap Primer 1
- ✓ MapeWrap 31
- ✓ Cemento portland Tipo 1
- ✓ Pintura blanca
- ✓ Agua potable
- ✓ Triplay
- ✓ Alambre de amarre N°16

3.3.2 Equipos

- ✓ Comba de 2 libras
- ✓ Cincel
- ✓ Escobilla de acero
- ✓ Brochas
- ✓ Martillo
- ✓ Lija
- ✓ Espátula
- ✓ Depósitos de aluminio y plástico
- ✓ Balanza de 30 kg
- ✓ Moldes para muestreo de mortero según ASTM C109/109M
- ✓ Guantes de seguridad
- ✓ Amoladora

- ✓ Batidora
- ✓ Flexómetro
- ✓ Rodillo de pelo corto
- ✓ Rodillo con tornillo

3.4 Metodología de la Investigación

3.4.1 Tipo de la Investigación

Esta investigación se clasifica como aplicada.

3.4.2 Nivel de la Investigación

Esta investigación es de nivel descriptivo.

3.4.3 Diseño de la Investigación

Esta investigación es de diseño experimental.

3.4.4 Método de la Investigación

En esta investigación se aplicó un enfoque cuantitativo, donde se analizó datos numéricos y se identificó tendencias y promedios de los resultados obtenidos producto de los ensayos de laboratorio.

3.4.5 Población de Estudio

La población de estudio está conformada por 6 vigas de concreto armado con dimensiones de 0.15 m x 0.20 m y 1.00 m de longitud, estas vigas se encuentran empotradas a columnas de 0.25 m x 0.25 m formando de esta manera un pórtico. De las seis vigas, 3 de ellas cuentan con adición de fibra de acero en una dosificación de 2% y los 3 restantes sin adición de fibra de acero.

3.4.6 Muestra

La muestra se encuentra constituida por 6 vigas de concreto armado (3 simplemente reforzadas y 3 reforzadas con fibra de acero), reparadas y reforzadas con fibra de carbono.

3.4.7 Unidad de Análisis

Son las vigas que luego de ser diseñadas con y sin fibra de acero, estas fueron ensayadas a corte hasta llegar a su falla última, procediendo luego a ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono.

3.4.8 Unidad de Observación

Es la resistencia mecánica de vigas a esfuerzo cortante, así como el tipo de falla de la estructura, las deformaciones y desplazamientos que se obtuvieron en comparación con los ensayos de la etapa inicial.

3.4.9 Variables

3.4.9.1 Variable independiente:

Reforzamiento con fibra de carbono adherida al concreto armado.

3.4.9.2 Variable dependiente:

Resistencia a corte en vigas de concreto armado.

3.5 Procedimiento de la Investigación

Las estructuras de concreto que se analizaron en este estudio, han sido sometidas a pruebas de corte previamente, lo que provocó daños en el material como fisuras, grietas y desprendimiento de fragmentos de concreto. El método para reparar y reforzar estas estructuras se explica a continuación:

3.5.1 Retiro de Pintura y Escarificado De Fisuras Y Grietas

Para evaluar el estado de las estructuras en estudio, se realizó una observación visual de los daños presentes, tales como fisuras y grietas, que requieren una intervención adecuada. Para determinar el tipo y la magnitud de la reparación, se aplicaron los criterios del ACI 224R-01.

Siguiendo las pautas establecidas en el ACI 224R-01 (Tabla 2.1) y en el ítem 5.3.3.3 del ACI 301S-16, se procedió a reparar las fisuras y grietas que presentaba la estructura. Para ello, la reparación de fisuras superficiales se retiró 10 veces el ancho de la fisura, como mínimo 100 mm, en forma triangular formando un ángulo de 90°.

Para restaurar la integridad de la estructura que presentaba deterioros severos de concreto, se procedió a demoler y extraer el material afectado hasta alcanzar una superficie sana, exponiendo el acero de refuerzo. Se limpió y saneó el acero hasta dejar un recubrimiento mínimo de 2 cm para garantizar una buena adherencia del nuevo concreto.

Después de retirar el concreto deteriorado y escarificar la superficie, se realizó una limpieza cuidadosa con cepillos de acero, lijas para quitar la pintura y otros elementos, con el objetivo de dejar una superficie de concreto libre de suciedad y contaminación que permitiera la correcta colocación del nuevo concreto a restaurar.

3.5.2 Reparación de Vigas con Sikarep 500

El procedimiento para reparar las vigas con el producto SikaRep 500 se basó en la condición del concreto, verificando que el concreto endurecido hubiera alcanzado su madurez (resistencia de diseño) antes de iniciar la intervención, siguiendo las recomendaciones del ACI 301S-16 ítem 5.2.1.7. Materiales adhesivos se debe aplicar un agente adhesivo aceptado de acuerdo con los requisitos de fábrica o lechadas de cemento usando las mismas proporciones del cemento en el concreto o puente adherente.

Concluido la aplicación del puente de adherencia, se procedió a realizar la instalación del encofrado.

El mortero reforzado con fibras (SikaRep 500) se preparó siguiendo las instrucciones de la hoja técnica. Se tuvo en cuenta la resistencia del mortero, así como la resistencia de diseño del concreto de las vigas, y para mejorar la trabajabilidad del mortero, se añadió un 15% más de agua (potable) a la dosificación indicada en la hoja técnica.

Bajo la Supervisión de mi Asesor y preparado el mortero, se procedió a realizar el muestreo correspondiente siguiendo las especificaciones de la norma ASTM C 109/109M, así como, se procedió a reparar las vigas en estudio.

3.5.3 Curado de Pórticos de Concreto Armado

Para conseguir una buena resistencia de concreto con las propiedades mecánicas deseadas es importante el curado en ambiente adecuado, por lo que los pórticos fueron curados a una temperatura entre 20 C° y 26 C°, ASTM C 192.

3.5.4 Reforzamiento de Vigas con Fibra de Carbono

Para reforzar las vigas con fibra de carbono (laminado en seco), se realizó una reparación del acabado superficial del concreto, asegurando que estuviera limpio y sin irregularidades. Además, se eliminaron los bordes cortantes y se alisaron las curvas con un radio mínimo de 19 mm.

Se repararon las pequeñas cavidades con cemento portland tipo 1, dejando una superficie lisa y nivelada. Esto permitió aplicar el refuerzo con fibra de carbono de forma correcta y profesional siguiendo los procedimientos del ACI 440.2R-17.

Después de esperar dos semanas desde la reparación de las vigas con SikaRep-500 y contar con los resultados de las pruebas de compresión del mortero, se realizó el refuerzo con fibra de carbono, bajo la dirección de Mi Asesor.

Dado que la viga ha fallado en su totalidad y la finalidad del estudio es determinar la variación de la resistencia a fuerza cortante después de su falla última, se realizó un refuerzo de tipo confinado (ACI 440.2R-17) en la falla a corte, considerando los traslapes al peralte, y la longitud de este, según recomendación de ficha técnica del producto.

Seguindo las recomendaciones de la ficha técnica del producto MapeWrap Primer 1 y MapeWrap 31, procedemos a realizar la preparación considerando los tiempos de aplicación y la temperatura ambiente.

3.6 Presentación de Resultados

3.6.1 Resistencia a Compresión de Toma de Muestras de Mortero

De las muestras de la preparación de mortero, siguiendo el siguiente cronograma, se realizará el ensayo a compresión: 2 muestras a las 24 horas, 2 muestras a los 7 días y 2 muestras a los 14 días. El objetivo es evaluar la resistencia y la calidad del mortero en diferentes etapas de su fraguado.

✓ Ensayo a las 24 Horas:

Tabla 3.1. Resistencia a la compresión del muestreo de mortero a las 24 horas

N° de Muestras	Carga de Rotura (kN)	Área (cm ²)	f'c a las 24 Horas (Kg/cm ²)
1	25.13	25.90	98.95
2	24.87	26.16	96.93
1 kN = 101.97 Kg			

✓ Ensayo a los 7 Días:

Tabla 3.2. Resistencia a la compresión del muestreo de mortero a los 7 días

N° de Muestras	Carga de Rotura (kN)	Área (cm ²)	f'c a los 7 Días (Kg/cm ²)
1	59.71	25.90	235.10
2	59.62	26.16	232.37
1 kN = 101.97 Kg			

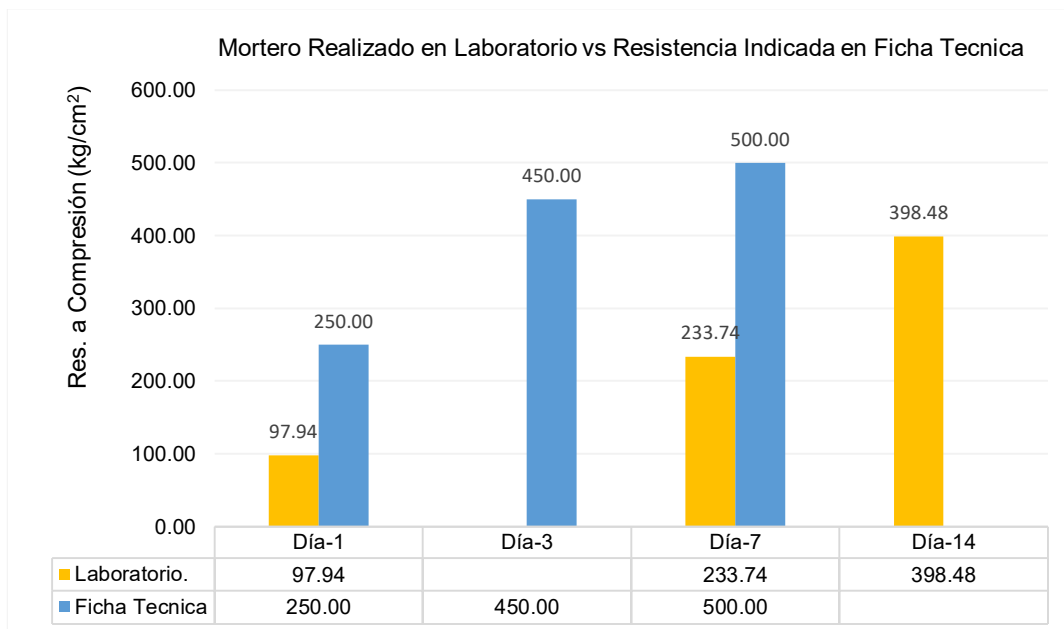
✓ **Ensayo a los 14 Días:**

Tabla 3.3. Resistencia a la compresión del muestreo de mortero a los 14 días

N° de Muestras	Carga de Rotura (kN)	Área (cm ²)	f'c a los 14 Días (Kg/cm ²)
1	104.24	26.27	404.61
2	100.39	26.09	392.34
1 kN = 101.97 Kg			

3.6.1.1 Comparación de Ensayo a Compresión (Mortero Aplicado en Reparación vs Resistencia de Ficha Técnica):

Figura 3.2. Resistencia Comparativa a la compresión del mortero aplicado en la reparación de vigas y lo indicado en ficha técnica



3.6.2 Ensayo de Vigas de Concreto Armado Reparado y Reforzado con Fibra de Carbono

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los pórticos simplemente reforzados, reparados y reforzados con fibra de carbono.

✓ Pórtico PS-01:

Tabla 3.4. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PS-01

Viga PS - 01 (Etapa Inicial)				Viga PS - 01 (Reparado y Reforzado con FRP)			
Altura (cm)	19.90	Área (cm ²)	167.33	Altura (cm)	19.00	Área (cm ²)	155.00
Parámetros de Control Últimos							
Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria	Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria
8.36	3.12	49.96	0.0157	12.00	6.01	77.42	0.0316
Carga Rotura (Tn)	11.30	Grieta Máx. (mm)	1.2	Carga Rotura (Tn)	12.00	Grieta Máx. (mm)	4.5

Del procesamiento de datos (Tabla A.1), se calculó los esfuerzos y deformaciones unitarias, datos necesarios para las gráficas que se muestra a continuación.

Figura 3.3. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-01

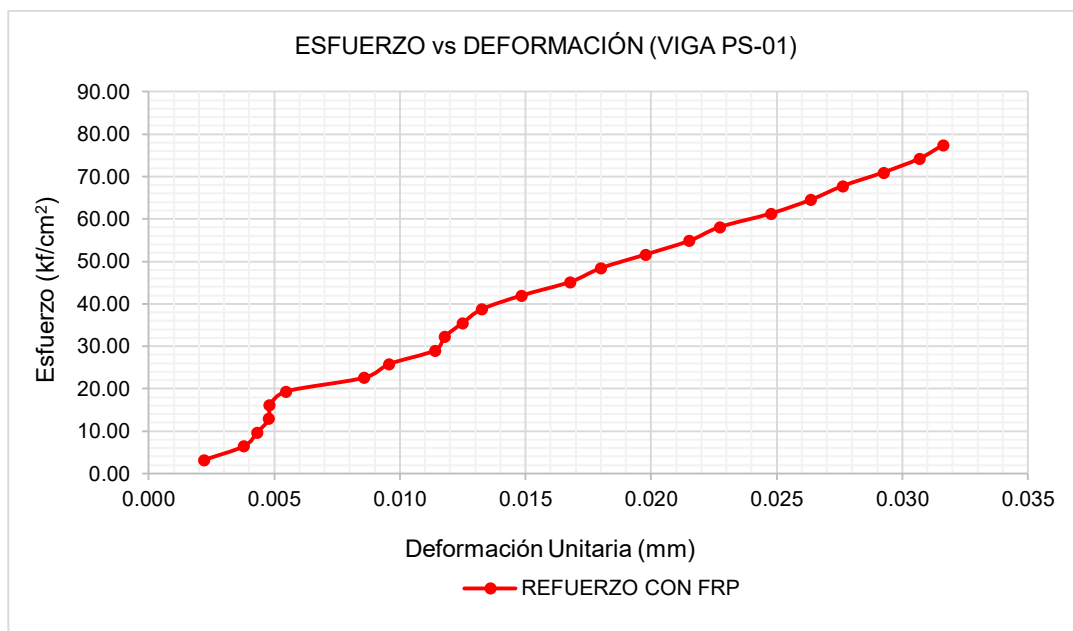
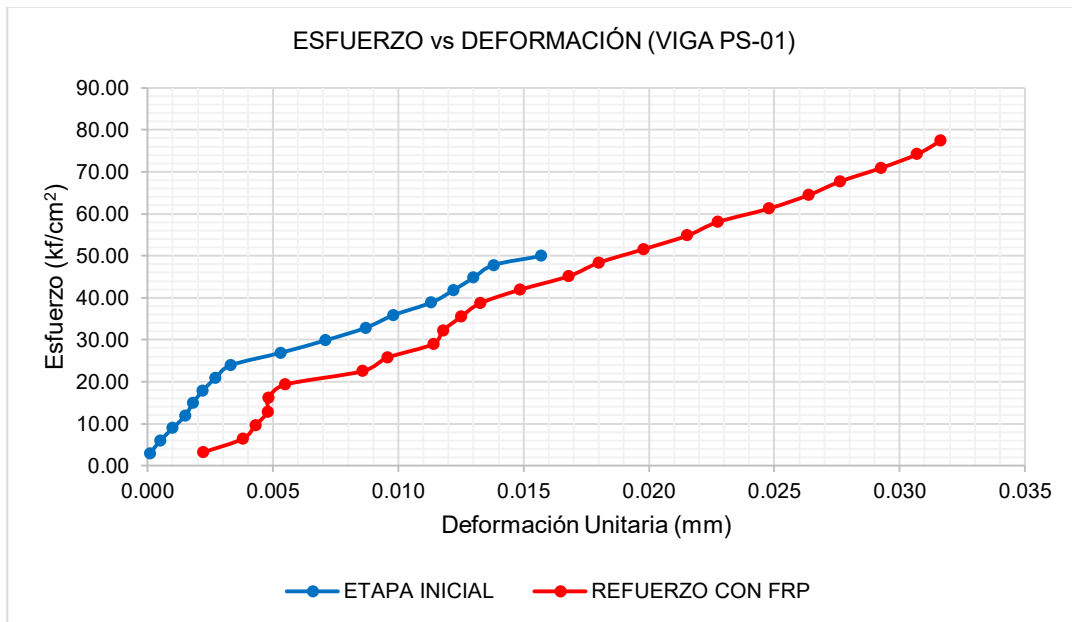


Figura 3.4. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-01, Etapa Inicial vs Refuerzo con FRP



✓ **Pórtico PS-02:**

Tabla 3.5. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PS-02

Viga PS - 02 (Etapa Inicial)				Viga PS - 02 (Reparado y Reforzado con FRP)			
Altura (cm)	20.01	Área (cm ²)	171.95	Altura (cm)	20.01	Área (cm ²)	165.10
Parámetros de Control Últimos							
Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria (ε)	Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria
5.20	2.53	30.24	0.0126	15.00	8.41	90.85	0.0420
Carga Rotura (Tn)	11.00	Grieta Máx. (mm)	0.91	Carga Rotura (Tn)	15.00	Grieta Máx. (mm)	1.5

Del procesamiento de datos (Tabla A.2), se calculó los esfuerzos y deformaciones unitarias, datos necesarios para las gráficas que se muestra a continuación.

Figura 3.5. *Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-02*

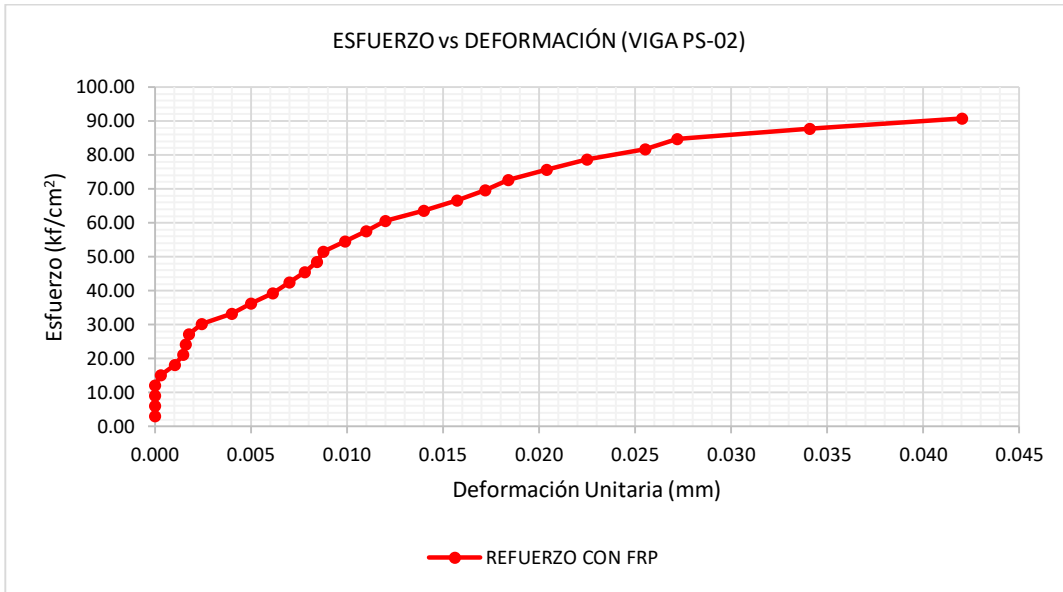
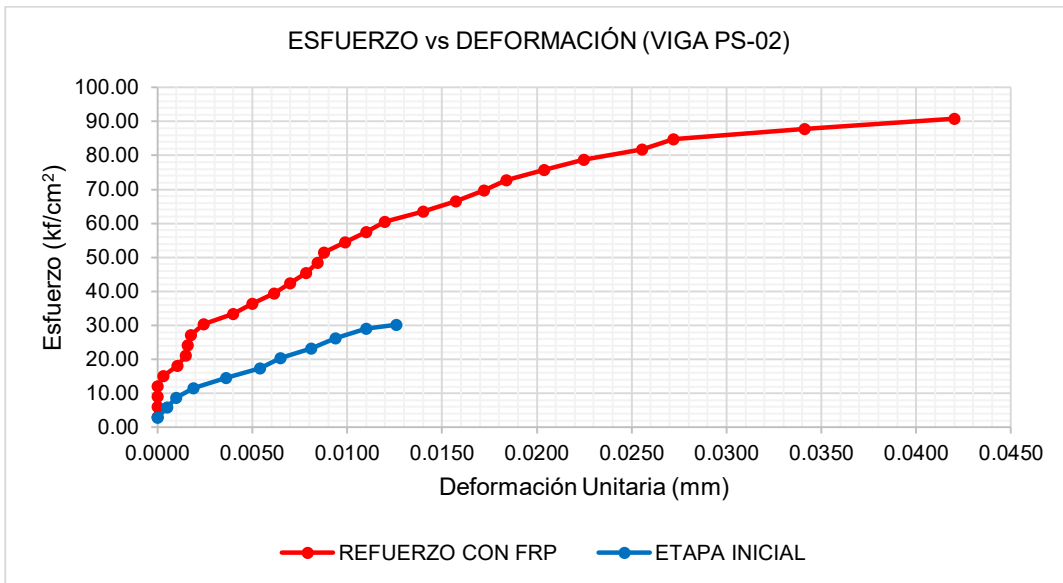


Figura 3.6. *Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-02, Etapa Inicial vs Refuerzo con FRP*



✓ **Pórtico PS-03:**

Tabla 3.6. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PS-03

Viga PS - 03 (Etapa Inicial)				Viga PS - 03 (Reparado y Reforzado con FRP)			
Altura (cm)	19.60	Área (cm²)	169.63	Altura (cm)	19.50	Área (cm²)	160.00
Parámetros de Control Últimos							
Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Def. Unitaria	Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Def. Unitaria
6.68	1.54	39.38	0.0079	15.00	5.45	93.75	0.0279
Carga Rotura (Tn)	9.50	Grieta Máx. (mm)	0.72	Carga Rotura (Tn)	15.00	Grieta Máx. (mm)	1

Del procesamiento de datos (Tabla A.3), se calculó los esfuerzos y deformaciones unitarias, datos necesarios para las gráficas que se muestra a continuación.

Figura 3.7. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-03

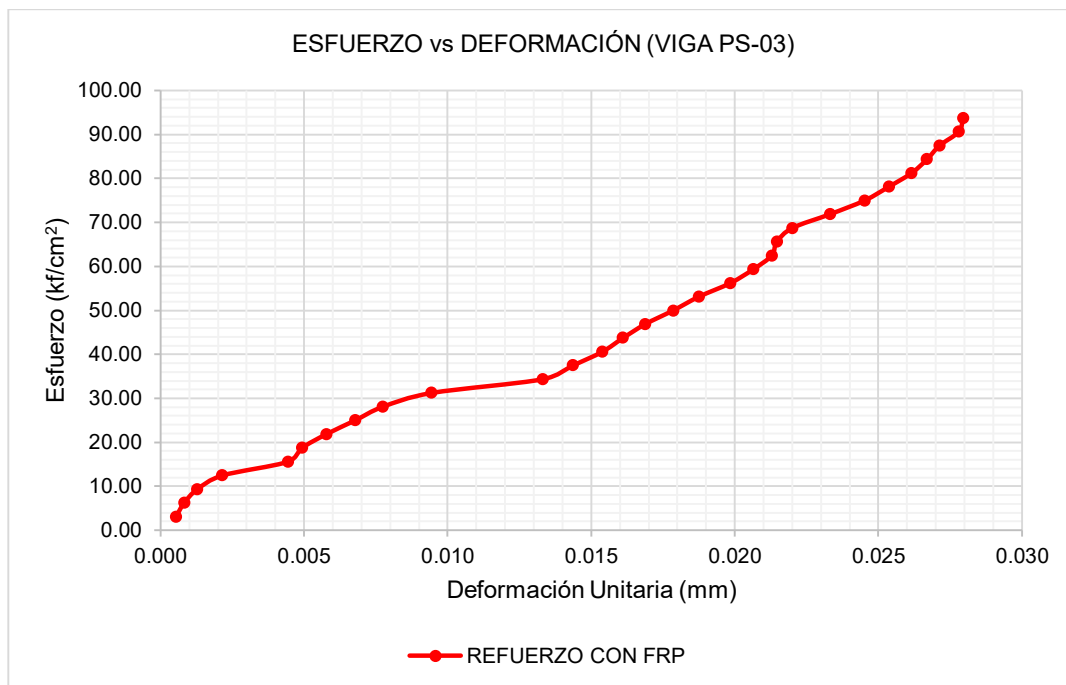
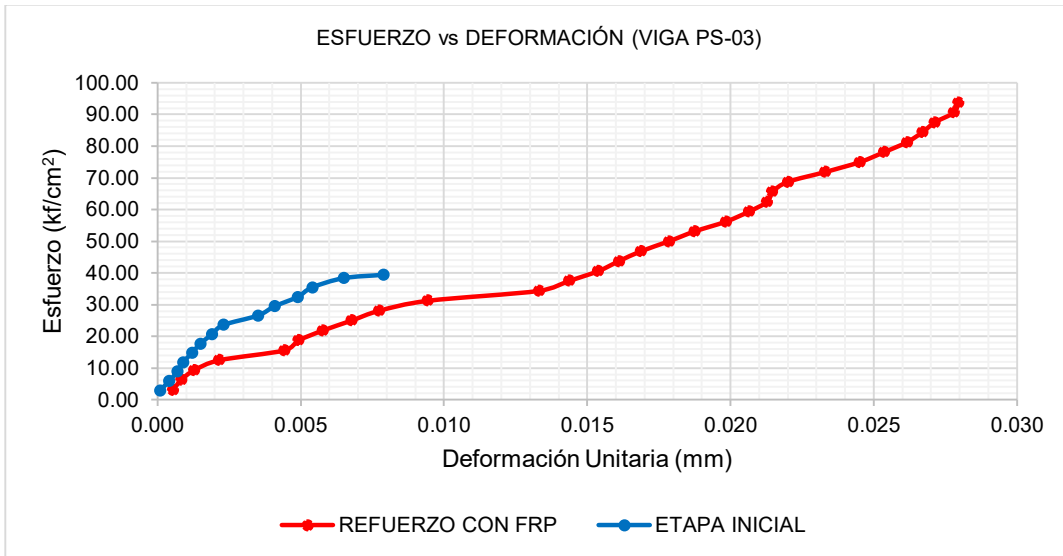
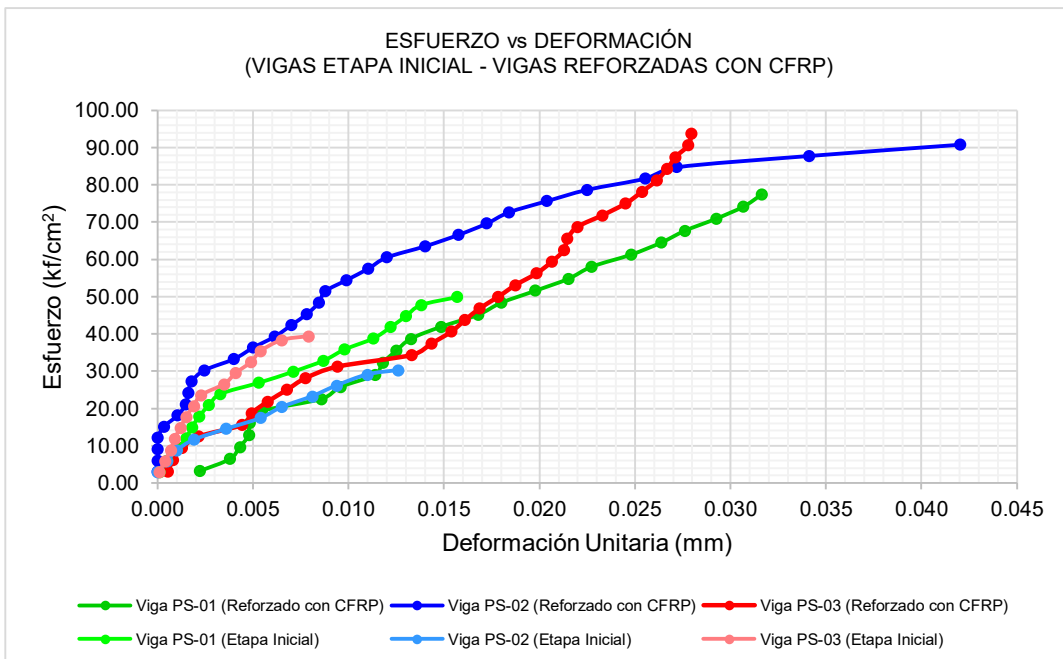


Figura 3.8. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-03, Etapa Inicial vs Refuerzo con FRP



3.6.2.1 Acumulado de Curvas de Esfuerzo a Corte de Vigas de Etapa Inicial vs Reforzado con Fibra de Carbono:

Figura 3.9. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-03, Etapa Inicial vs Refuerzo con FRP



3.6.3 Ensayo de Vigas de Concreto Armado con Adición de Fibra de Acero, Reparado y Reforzado con Fibra de Carbono

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los pórticos de concreto armado con adición de fibra de acero, reparados y reforzados con fibra de carbono, a través de tablas y gráficos.

✓ Pórtico PF-01:

Tabla 3.7. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PF-01

Viga PF - 01 (Etapa Inicial)				Viga PF - 01 (Reparado y Reforzado con FRP)			
Altura (cm)	19.80	Área (cm ²)	165.05	Altura (cm)	20.00	Área (cm ²)	165.00
Parámetros de Control Últimos							
Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria (ε)	Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria
8.50	3.54	51.50	0.0179	15.00	14.17	90.91	0.0709
Carga Rotura (Tn)	10.00	Grieta Máx. (mm)	1.3	Carga Rotura (Tn)	15.00	Grieta Máx. (mm)	1.5

Del procesamiento de datos (Tabla A.4), se calculó los esfuerzos y deformaciones unitarias, datos necesarios para las gráficas que se muestra a continuación.

Figura 3.10. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PF-01

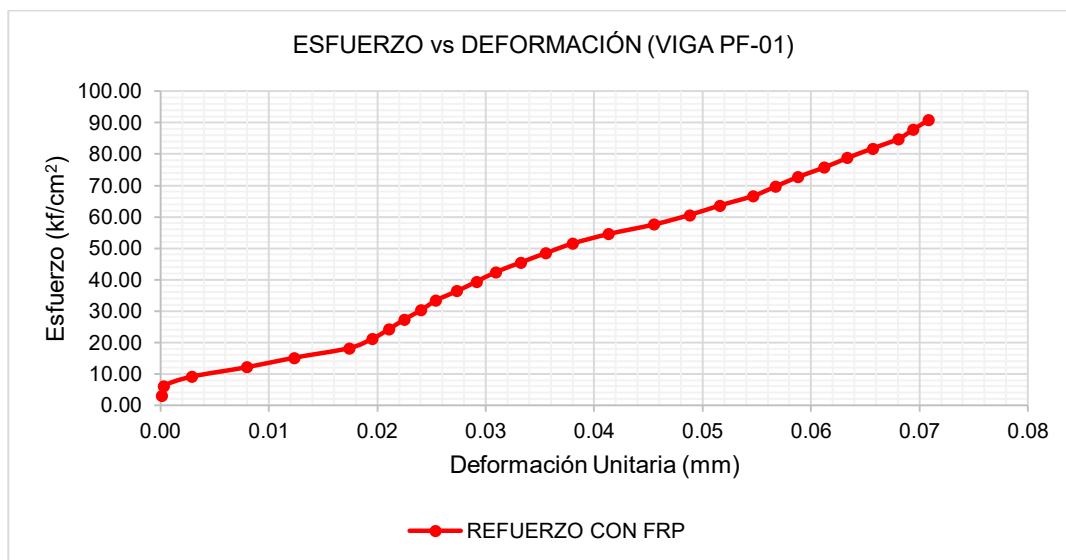
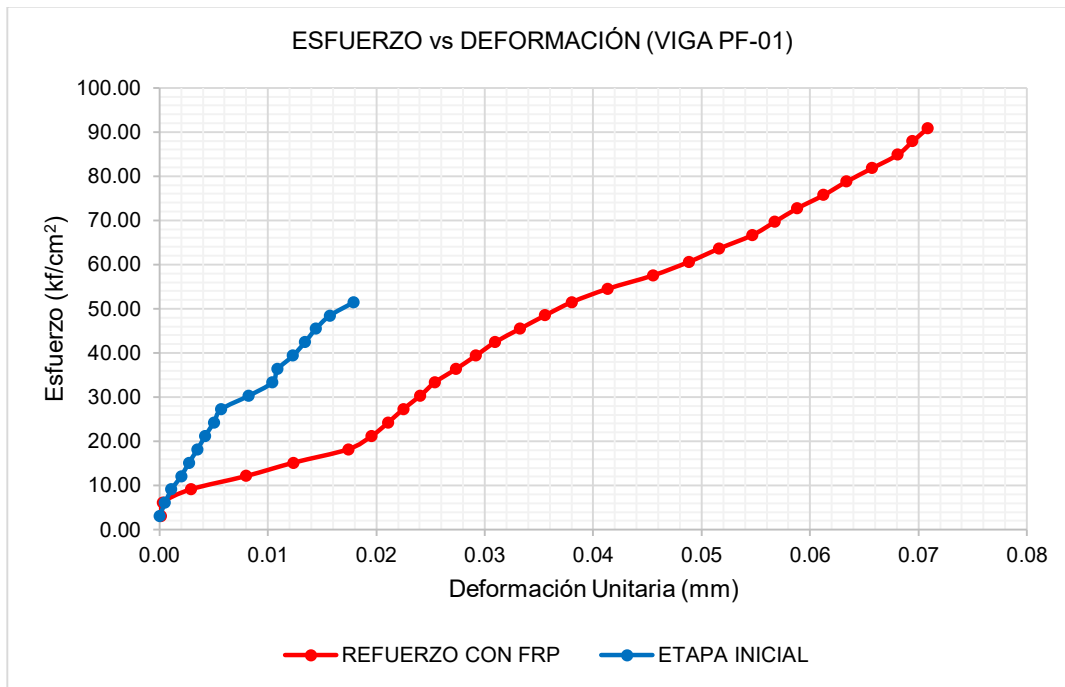


Figura 3.11. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-03, Etapa Inicial vs Refuerzo con FRP



✓ **Pórtico PF-02:**

Tabla 3.8. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PF-02

Viga PF - 02 (Etapa Inicial)				Viga PF - 02 (Reparado y Reforzado con FRP)			
Altura (cm)	20.10	Área (cm²)	171.95	Altura (cm)	20.00	Área (cm²)	165.00
Parámetros de Control Últimos							
Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Def. Unitaria	Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Def. Unitaria
7.36	2.140	42.80	0.0106	12.00	5.50	72.73	0.0275
Carga Rotura (Tn)	9.50	Grieta Máx. (mm)	1.2	Carga Rotura (Tn)	15.00	Grieta Máx. (mm)	4

Del procesamiento de datos (Tabla A.5), se calculó los esfuerzos y deformaciones unitarias, datos necesarios para las gráficas que se muestra a continuación.

Figura 3.12. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PF-02

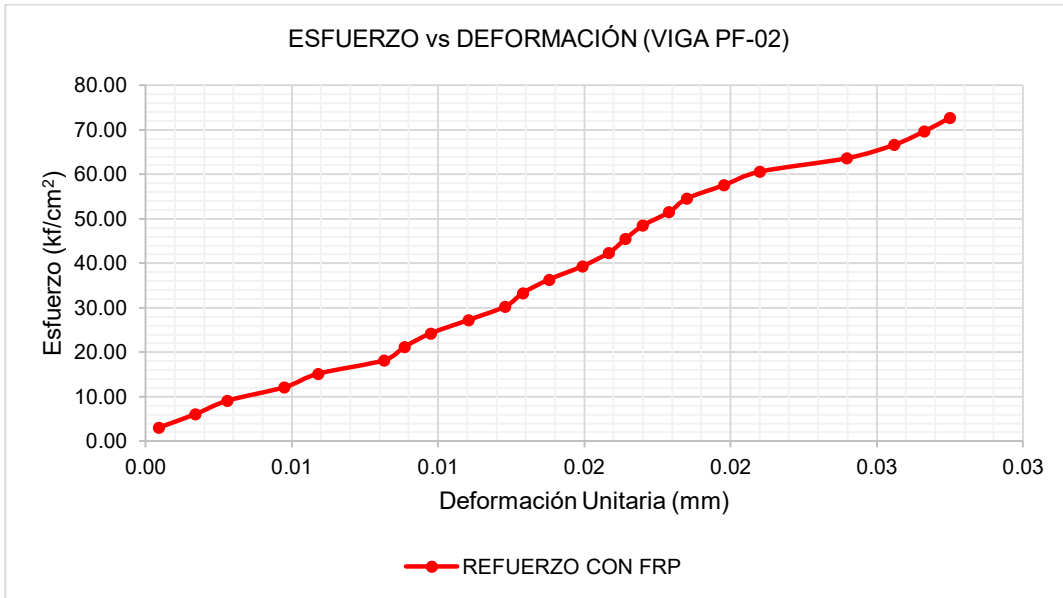
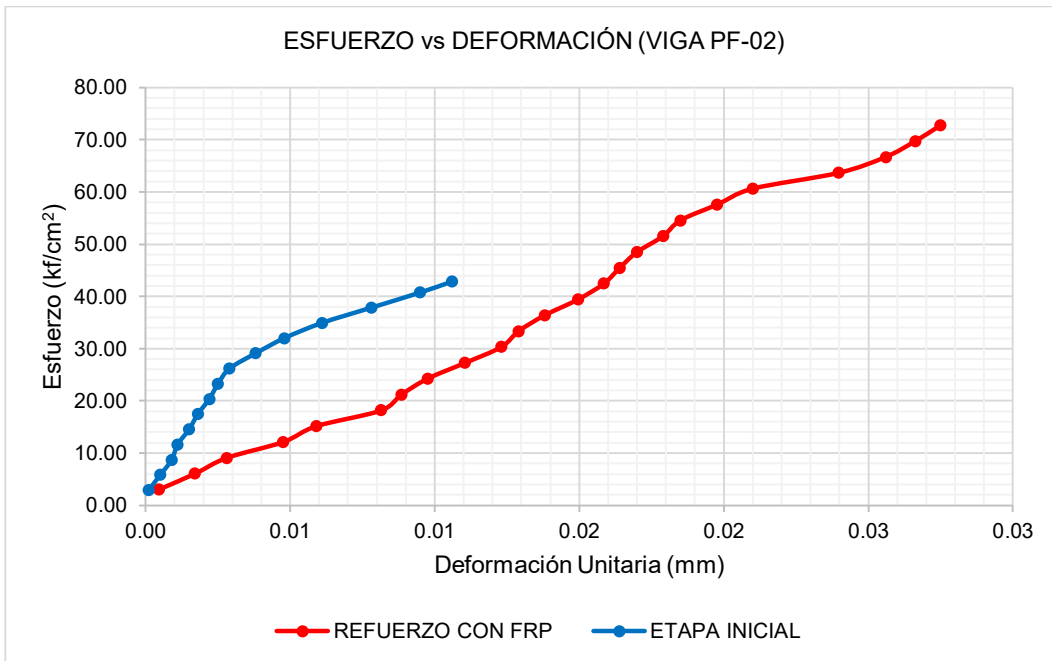


Figura 3.13. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PS-03, Etapa Inicial y Refuerzo con FRP



✓ **Pórtico PF-03:**

Tabla 3.9. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PF-03

Viga PF - 03 (Etapa Inicial)				Viga PF - 03 (Reparado y Reforzado con FRP)			
Altura (cm)	20.00	Área (cm ²)	171.95	Altura (cm)	19.60	Área (cm ²)	161.00
Parámetros de Control Últimos							
Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria (ε)	Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria
11.02	3.32	64.09	0.0166	15.00	8.09	93.17	0.0413
Carga Rotura (Tn)	12.70	Grieta Máx. (mm)	0.94	Carga Rotura (Tn)	16.00	Grieta Máx. (mm)	0.01

Del procesamiento de datos (Tabla A.6), se calculó los esfuerzos y deformaciones unitarias, datos necesarios para las gráficas que se muestra a continuación.

Figura 3.14. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PF-03

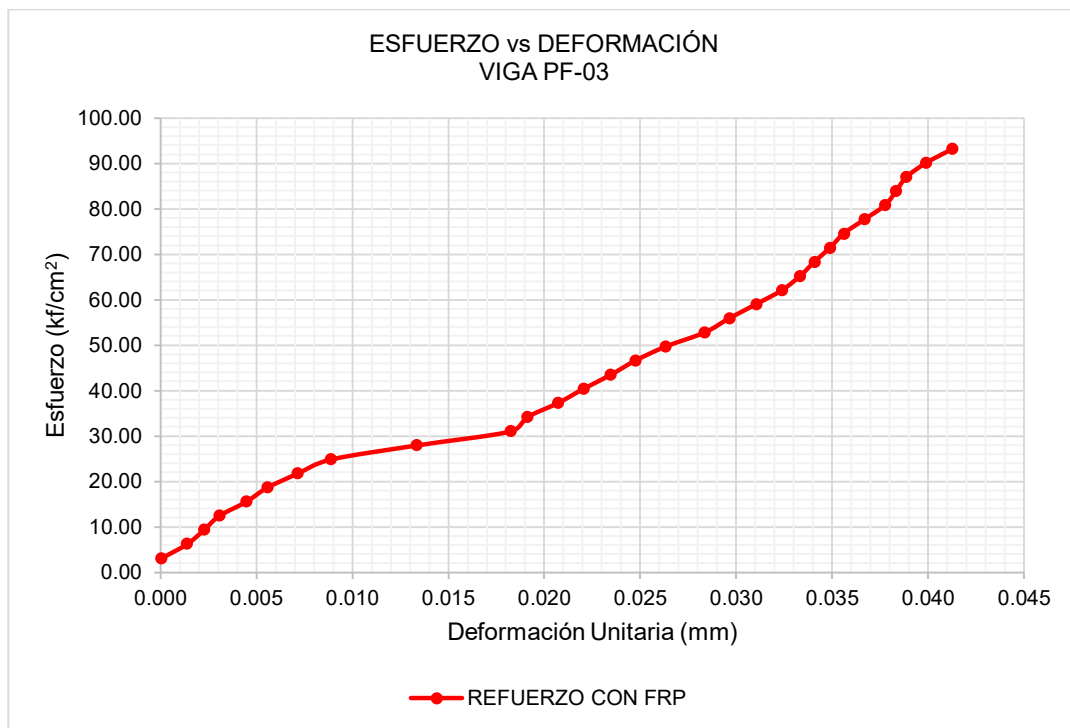
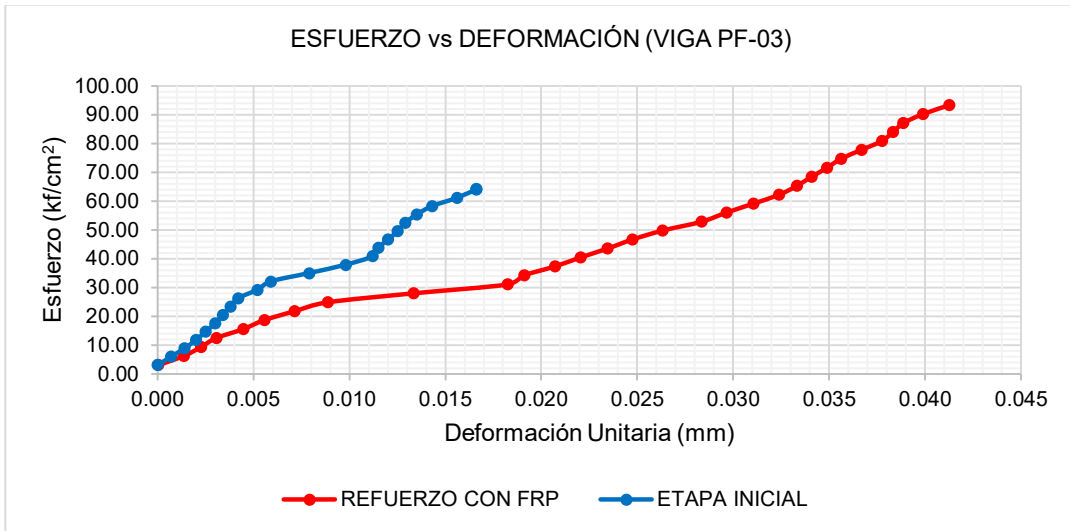
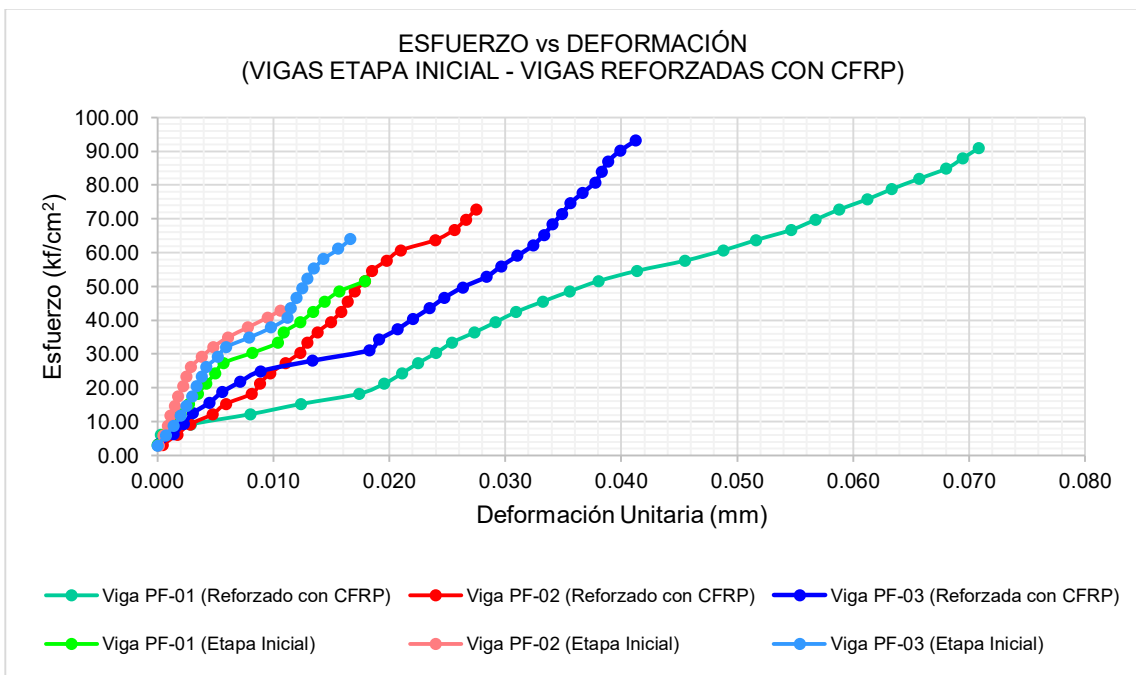


Figura 3.15. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PF-03, Tesis en Estudio y Tesis Reparación con FRP



3.6.3.1 Acumulado de Curvas de Esfuerzo a Corte de Vigas con Adición de Fibra de Acero de Etapa Inicial vs Reforzado con Fibra de Carbono:

Figura 3.16. Diagrama de Esfuerzo – Deformación de Viga PF-03, Tesis en Estudio y Tesis Reparación con FRP



3.6.4 Comparación de Resultados de Vigas Ensayadas a Corte

3.6.4.1 Esfuerzo Cortante de Vigas de Concreto Simplemente Reforzadas – Reforzado con Fibra de Carbono.

A continuación, se presenta un comparativo general de esfuerzos cortantes máximos entre las vigas de concreto armado simplemente reforzado de la tesis “Influencia de la Incorporación de Fibra de Acero en la Resistencia de Vigas de Concreto Armado Ante un Esfuerzo Cortante” y las vigas de concreto armado simplemente reforzadas, reparadas y reforzadas con fibra de carbono de la presente investigación.

Tabla 3.10. Cuadro comparativo de resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante de vigas

Vigas	Esfuerzos Vigas Etapa Inicial (kg/cm ²)	Esfuerzos Vigas Reforzada Con FRP (kg/cm ²)	Variación Porcentual
PS-01	49.96	77.42	154.96%
PS-02	30.24	90.83	300.36%
PS-03	39.38	93.75	238.07%
Promedio	39.86	87.33	231.13%

Figura 3.17. Comparación de Esfuerzos Cortantes de Vigas Ensayadas

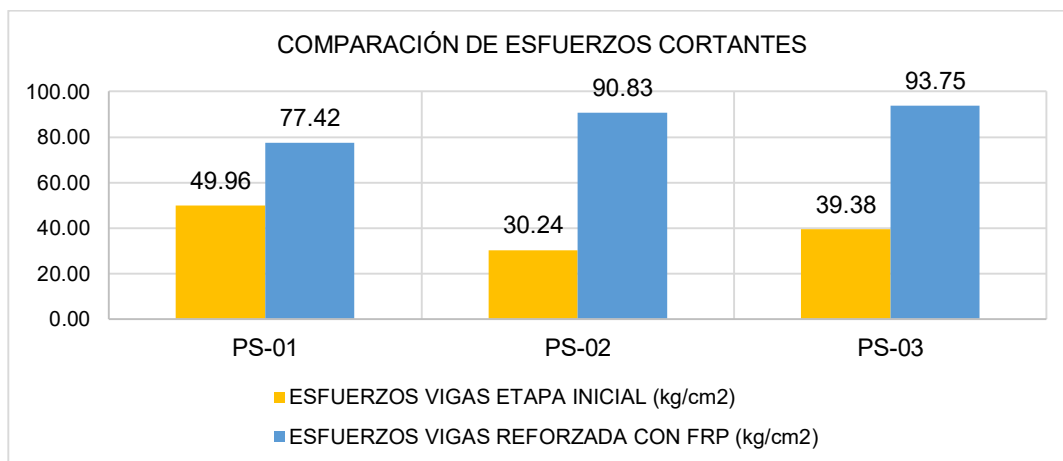
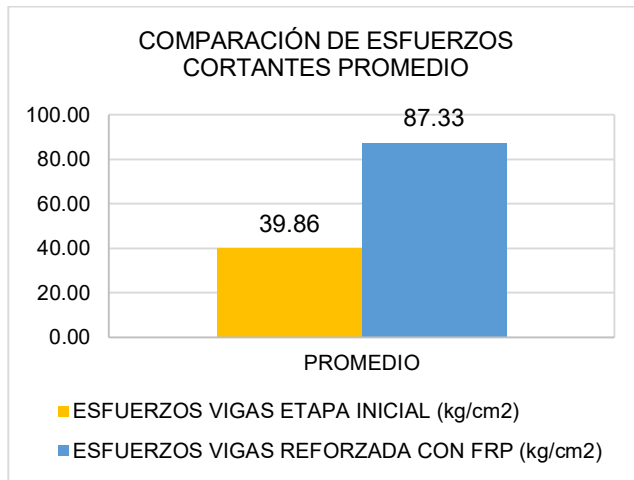


Figura 3.18. Comparación de Esfuerzos Cortantes Promedio de Vigas Ensayadas



3.6.4.2 Esfuerzo Cortante de Vigas de Concreto con Adición de Fibra de Acero – Reforzado con Fibra de Carbono.

A continuación, se presenta un comparativo general de esfuerzos cortantes máximos entre las vigas de concreto armado con adición de fibra de acero de la tesis “Influencia de la Incorporación de Fibra de Acero en la Resistencia de Vigas de Concreto Armado Ante un Esfuerzo Cortante” y las vigas de concreto armado con adición de fibra de acero, reparadas y reforzadas con fibra de carbono de la presente investigación.

Tabla 3.11. Cuadro comparativo de resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante de vigas

Vigas	Esfuerzos Vigas Etapa Inicial (kg/cm ²)	Esfuerzos Vigas Reforzada Con FRP (kg/cm ²)	Variación Porcentual
PF-01	51.50	90.91	176.52%
PF-02	42.80	90.91	212.41%
PF-03	64.09	99.38	155.06%
Promedio	52.80	93.73	181.33%

Figura 3.19. Comparación de Esfuerzos Cortantes de Vigas Ensayadas

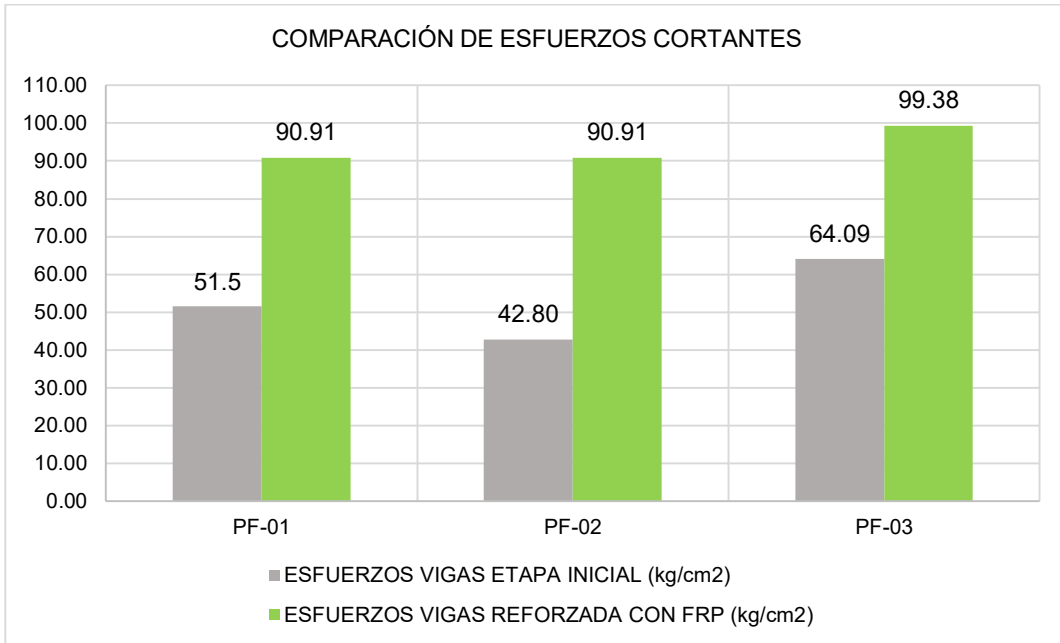
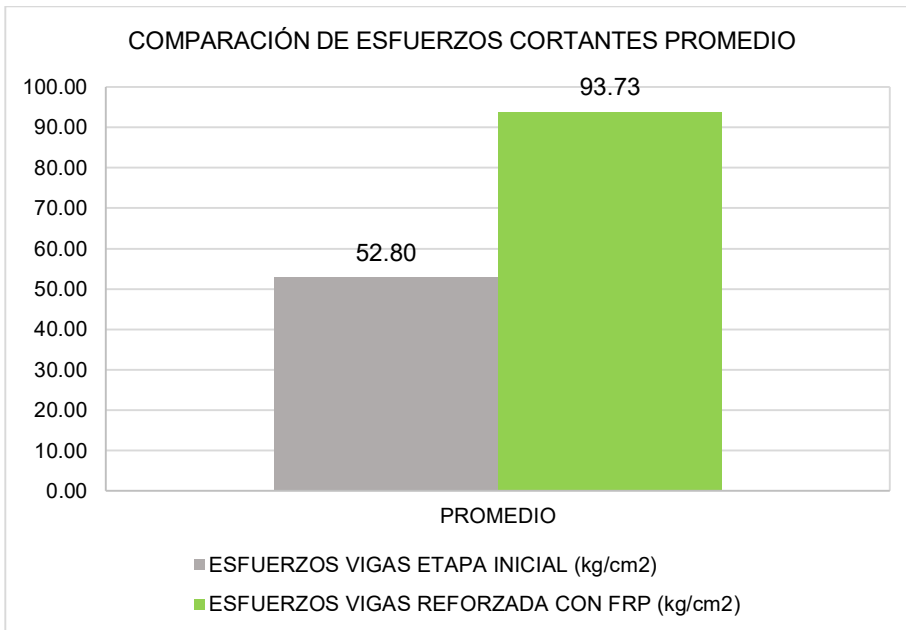


Figura 3.20. Comparación de Esfuerzos Cortantes Promedio de Vigas Ensayadas



3.6.4.3 Deformaciones de Vigas de Concreto Simplemente Reforzadas – Reforzado con Fibra de Carbono.

A continuación, se presenta un comparativo general de las deformaciones máximas entre las vigas de concreto armado simplemente reforzado de la tesis “Influencia de la Incorporación de Fibra de Acero en la Resistencia de Vigas de Concreto Armado Ante un Esfuerzo Cortante” y las vigas de concreto armado simplemente reforzadas, reparadas y reforzadas con fibra de carbono de la presente investigación.

Tabla 3.12. Cuadro comparativo de resultados de deformación del ensayo de vigas

VIGAS	DEFORMACIÓN VIGAS ETAPA INICIAL (mm)	DEFORMACIÓN VIGAS REFORZADA CON FRP (mm)	VARIACION PORCENTUAL
PS-01	3.12	6.01	192.63%
PS-02	2.53	8.41	332.41%
PS-03	1.54	5.45	353.90%
PROMEDIO	2.40	6.62	292.98%

Figura 3.21. Comparación de Deformaciones de Vigas Ensayadas

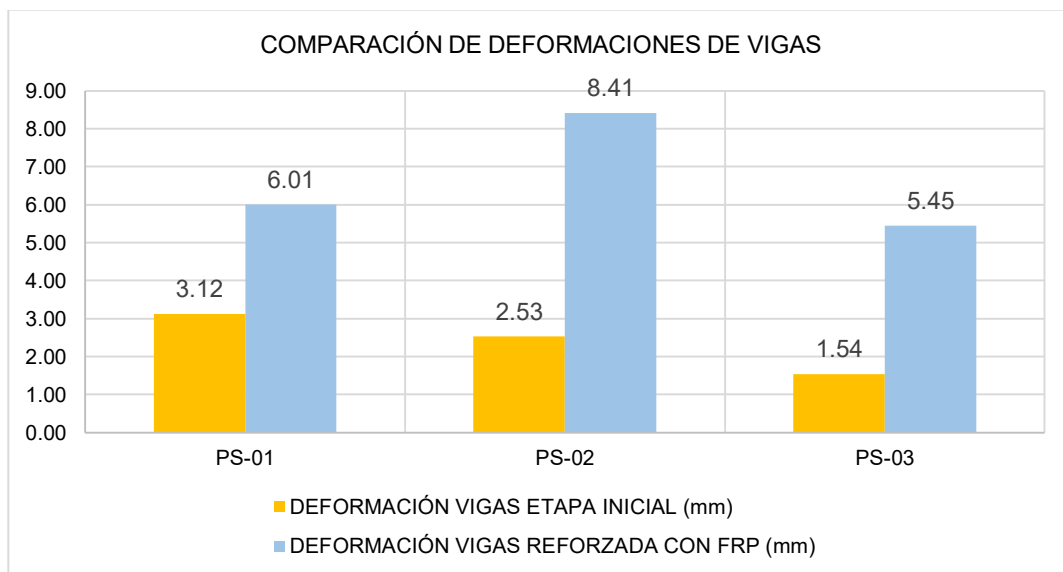
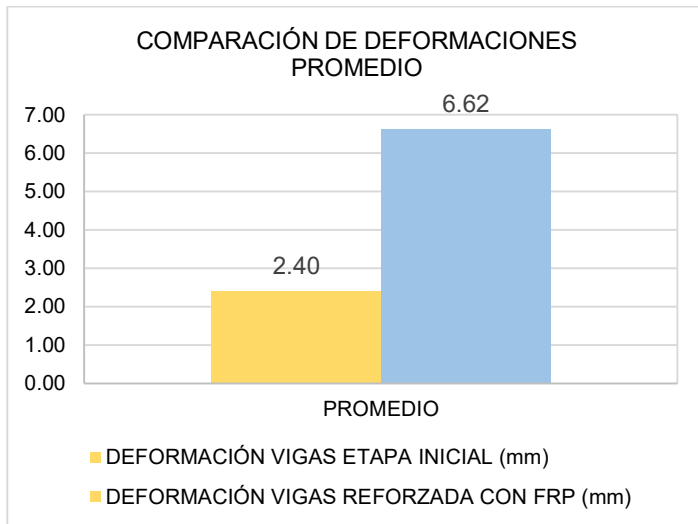


Figura 3.22. Comparación de Deformaciones Promedio de Vigas Ensayadas



3.6.4.4 Deformaciones de Vigas de Concreto con Adición de Fibra de Acero – Reforzado con Fibra de Carbono.

A continuación, se presenta un comparativo general de las deformaciones máximas entre las vigas de concreto armado con adición de fibra de acero de la tesis “Influencia de la Incorporación de Fibra de Acero en la Resistencia de Vigas de Concreto Armado Ante un Esfuerzo Cortante” y las vigas de concreto armado con adición de fibra de acero, reparadas y reforzadas con fibra de carbono de la presente investigación.

Tabla 3.13. Cuadro comparativo de resultados de deformación del ensayo de vigas

VIGAS	DEFORMACIÓN VIGAS ETAPA INICIAL (mm)	DEFORMACIÓN VIGAS REFORZADA CON FRP (mm)	VARIACION PORCENTUAL
PF-01	3.54	14.17	400.28%
PF-02	2.14	5.51	257.48%
PF-03	3.32	8.09	243.67%
PROMEDIO	3.00	9.26	300.48%

Figura 3.23. Comparación de Deformaciones de Vigas Ensayadas

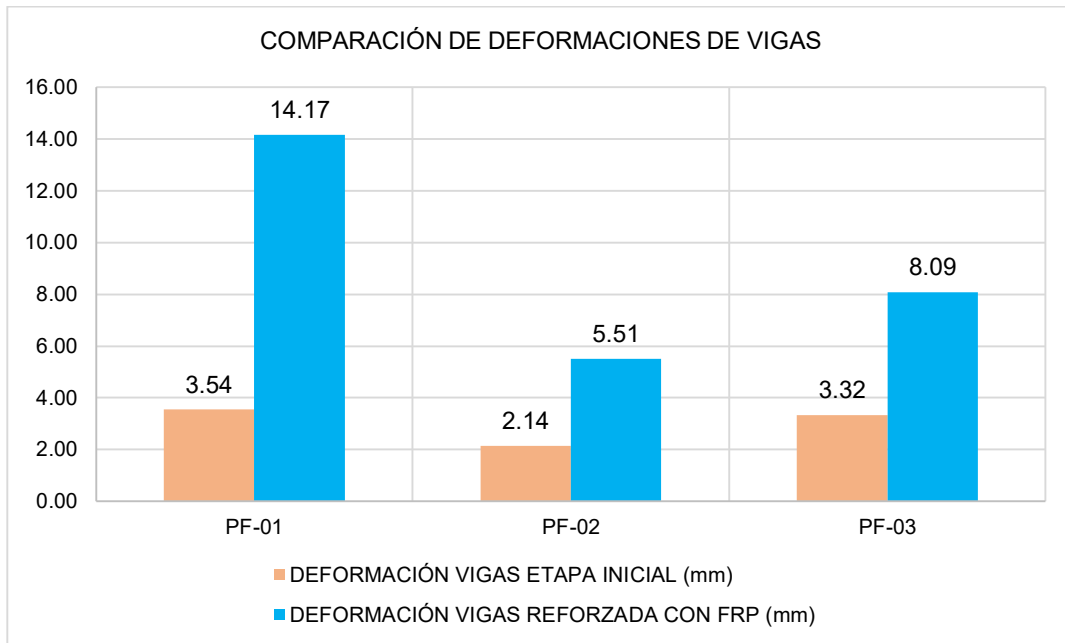
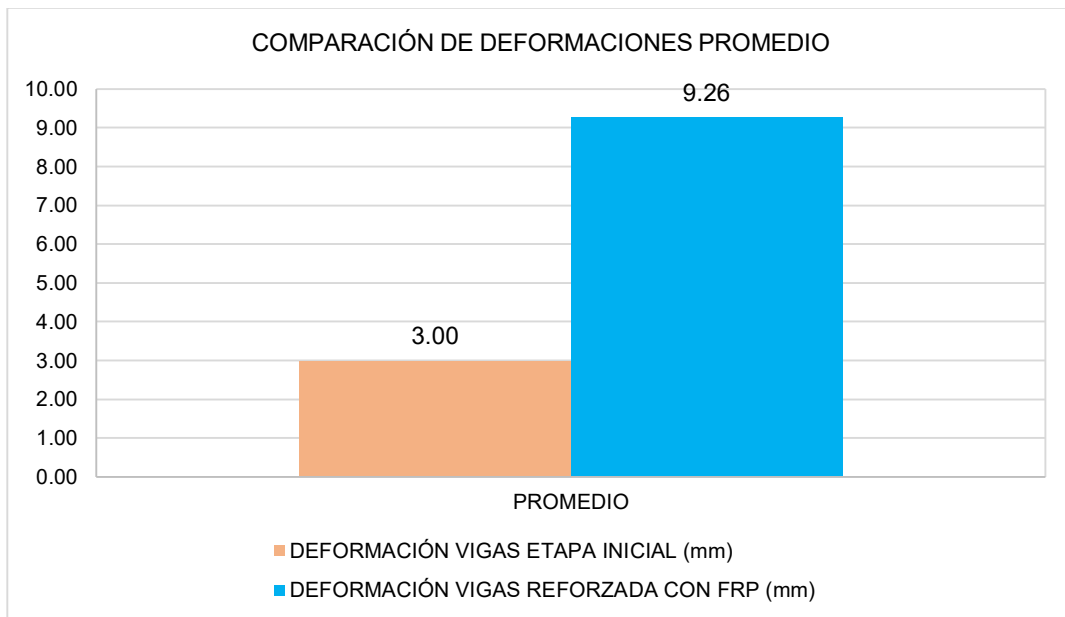


Figura 3.24. Comparación de Deformaciones Promedio de Vigas Ensayadas



CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis y Discusión de Resultados

Las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3 nos muestran los resultados de los ensayos a compresión del mortero empleado para la reparación de las vigas, los datos comparativos se muestran en la figura 3.2, donde se aprecia que no se logró alcanzar los resultados estipulados en la ficha técnica, debido a que empleamos un 15% de adición de agua para dar mayor trabajabilidad al mortero, llegando a una resistencia de 398.48 kg/cm^2 a los 14 días. Las vigas reparadas fueron diseñadas con concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

La Tabla 3.4 nos muestra los datos del experimento de corte de la viga PS-01. Esta viga logró soportar una fuerza de 12 tn antes de romperse, lo que significa un incremento de 0.70 tn respecto al primer experimento de la tesis inicial. La fisura más grande que se observó en la viga fue de 4.5 mm. El comportamiento de la viga sometida a corte se puede observar en el diagrama Esfuerzo vs Deformación de la Figura 3.3 y Figura 3.4. En la primera etapa, el concreto presenta un aumento progresivo de deformación. A continuación, se produce una falla en la columna al alcanzar una carga de 10.2 tn, se genera fisuras paralelas al acero transversal (estribos). Esto indica que la fibra de carbono trabajó adecuadamente, llegando al fin del ensayo.

La Tabla 3.5 nos muestra los datos del experimento de corte de la viga PS-02. Esta viga logró soportar una fuerza de 15 tn antes de romperse, lo que significa un incremento de 4 tn respecto al primer experimento de la tesis inicial. La fisura más grande que se observó en la viga fue de 1.5 mm. El comportamiento de la viga sometida a corte se puede observar en el diagrama Esfuerzo vs Deformación de la Figura 3.5 y Figura 3.6. En la primera etapa, el concreto presenta un aumento progresivo de carga sin presentar deformación. A continuación, se produce la

primera fisura a una carga de 11.20 tn, se genera fisuras paralelas al acero transversal (estribos). Esto indica que la fibra de carbono trabajó adecuadamente, llegando al fin del ensayo.

La Tabla 3.6 nos muestra los datos del experimento de corte de la viga PS-03. Esta viga logró soportar una fuerza de 15 tn antes de romperse, lo que significa un incremento de 5.5 tn respecto al primer experimento de la tesis inicial. La fisura más grande que se observó en la viga fue de 1.0 mm. El comportamiento de la viga sometida a corte se puede observar en el diagrama Esfuerzo vs Deformación de la Figura 3.7 y Figura 3.8. En la primera etapa, el concreto presenta un aumento progresivo de carga y deformación, apreciándose la trabajabilidad del concreto y acero. A continuación, se produce la primera fisura a una carga de 11.40 tn, se genera fisuras paralelas al acero transversal (estribos). Esto indica que la fibra de carbono trabajó adecuadamente, llegando al fin del ensayo.

El refuerzo de fibra de carbono aumenta significativamente la resistencia al corte de las vigas de concreto armado, según se observa en la Tabla 3.10 y Figura 3.9. Esta tabla muestra los esfuerzos máximos obtenidos en los ensayos realizados a las vigas de la tesis inicial y a las vigas de la tesis en estudio. El promedio de los esfuerzos máximos fue de 39.86 kg/cm² para las vigas simplemente reforzadas de tesis inicial y de 87.33 kg/cm² para las vigas reparadas y reforzadas con fibra de carbono, lo que representa un incremento de 1.19 veces más que la etapa inicial.

En la Tabla 3.12 se aprecia que el uso de fibra de carbono como refuerzo, aumenta significativamente las deformaciones máximas a corte. El promedio de las deformaciones máximas de las vigas reforzadas con fibra de carbono es de 6.62 mm, mientras que el de las vigas simplemente reforzadas es de 2.40 mm, lo que representa un incremento 1.76 veces más

que la deformación inicial. Esto indica que la fibra de carbono mejora la ductilidad de las vigas, pero también reduce su rigidez.

La Tabla 3.7 nos muestra los datos del experimento de corte de la viga PF-01. Esta viga logró soportar una fuerza de 15 tn antes de romperse, lo que significa un incremento de 5.0 tn respecto al primer experimento de la tesis inicial. La fisura más grande que se observó en la viga fue de 1.5 mm. El comportamiento de la viga sometida a corte se puede observar en el diagrama Esfuerzo vs Deformación de la Figura 3.10 y Figura 3.11. En la primera etapa, el concreto presenta un aumento progresivo de deformación. A continuación, se produce una falla en la zapata al alcanzar una carga de 10.60 tn, se genera fisuras paralelas al acero transversal (estribos). Esto indica que la fibra de carbono trabajó adecuadamente, llegando al fin del ensayo.

La Tabla 3.8 nos muestra los datos del experimento de corte de la viga PF-02. Esta viga logró soportar una fuerza de 15 tn antes de romperse, lo que significa un incremento de 5.5 tn respecto al primer experimento de la tesis inicial. La fisura más grande que se observó en la viga fue de 4.0 mm. El comportamiento de la viga sometida a corte se puede observar en el diagrama Esfuerzo vs Deformación de la Figura 3.12 y Figura 3.13. En la primera etapa, el concreto presenta un aumento progresivo de carga. A continuación, se produce la primera fisura a una carga de 7.0 tn, se genera fisuras paralelas al acero transversal (estribos). Esto indica que la fibra de carbono trabajó adecuadamente, llegando al fin del ensayo.

La Tabla 3.9 nos muestra los datos del experimento de corte de la viga PF-03. Esta viga logró soportar una fuerza de 16 tn antes de romperse, lo que significa un incremento de 3.3 tn respecto al primer experimento de la tesis inicial. La fisura más grande que se observó en la viga fue de 0.01 mm. El comportamiento de la viga sometida a corte se puede observar en el diagrama Esfuerzo vs Deformación de la Figura 3.14 y Figura 3.15. En la primera etapa, el concreto

presenta un aumento progresivo de carga y deformación, apreciándose la trabajabilidad del concreto y acero. A continuación, se produce la primera fisura a una carga de 10.60 tn, se genera fisuras paralelas al acero transversal (estribos). Esto indica que la fibra de carbono trabajó adecuadamente, llegando al fin del ensayo.

El refuerzo de fibra de carbono aumenta significativamente la resistencia al corte de las vigas de concreto armado, según se observa en la Tabla 3.11 y Figura 3.16. Esta tabla muestra los esfuerzos máximos obtenidos en los ensayos realizados a las vigas de la tesis inicial y a las vigas de la tesis en estudio. El promedio de los esfuerzos máximos fue de 52.80 kg/cm² para las vigas simplemente reforzadas con adición de fibra de acero de la tesis inicial y de 93.73 kg/cm² para las vigas reparadas y reforzadas con fibra de carbono, lo que representa un incremento de 0.77 veces más que la etapa inicial.

En la Tabla 3.13 se aprecia que el uso de fibra de carbono como refuerzo, aumenta significativamente las deformaciones máximas a corte. El promedio de las deformaciones máximas de las vigas reforzadas con fibra de carbono es de 9.26 mm, mientras que el de las vigas simplemente reforzadas con adición de fibra de acero es de 3.00 mm, lo que representa un incremento de 2.09 veces más que la deformación inicial. Esto indica que la fibra de carbono mejora la ductilidad de las vigas, pero también reduce su rigidez.

4.2 Contrastación de la Hipótesis

La hipótesis es aceptada, la resistencia promedio en vigas con refuerzo simple sin adición de fibra de acero, al ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono es de 87.33 kg/cm², esto representa un incremento de 1.19 veces más que la resistencia promedio de la etapa inicial (39.86 kg/cm²) y de las vigas con adición de fibra de acero es de 93.73 kg/cm², esto representa un incremento de 0.77 veces más que la resistencia promedio de la etapa inicial (52.80 kg/cm²).

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La resistencia promedio en vigas de concreto armado con refuerzo simple sin adición de fibra de acero, al ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono es de 87.33 kg/cm^2 , esto representa un incremento de 1.19 (119.09%) veces más que la resistencia promedio de la etapa inicial (39.86 kg/cm^2) luego de haber alcanzado su estado límite último (falla última). Esto indica que el método de reparación y refuerzo empleado es efectivo para mejorar el desempeño de las vigas de concreto armado ante una fuerza cortante.

El refuerzo con fibra de carbono aumentó la capacidad de corte y deformación de las vigas de concreto armado simplemente reforzadas sin adición de fibra de acero. Los valores de resistencia a corte con su respectiva deformación, obtenidos son: PS-01: $77.42 \text{ kg/cm}^2 - 6.01 \text{ mm}$, PS-02: $90.83 \text{ kg/cm}^2 - 8.41 \text{ mm}$ y PS-03: $93.75 \text{ kg/cm}^2 - 5.45 \text{ mm}$ respectivamente.

La resistencia promedio en vigas de concreto armado con adición de fibra de acero, al ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono es de 93.73 kg/cm^2 , esto representa un incremento de 0.77 (77.52%) veces más que la resistencia promedio de la etapa inicial (52.80 kg/cm^2) luego de haber alcanzado su estado límite último (falla última). Esto indica que el método de reparación y refuerzo empleado es efectivo para mejorar el desempeño de las vigas de concreto armado ante una fuerza cortante.

El refuerzo con fibra de carbono aumentó la capacidad de corte y deformación de las vigas de concreto armado con adición de fibra de acero. Los valores de resistencia a corte con su respectiva deformación, obtenidos son: PF-01: 90.91 kg/cm² – 14.17 mm, PF-02: 90.91 kg/cm² – 5.51 mm y PF-03: 99.38 kg/cm² – 8.09 mm respectivamente.

La deformación promedio en vigas con refuerzo simple sin fibra de acero, al ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono es de 6.62 mm, esto representa un incremento de 1.76 (175.83%) veces más que la deformación de la etapa inicial (2.40 mm), mientras que, en las vigas con adición de fibra de acero es de 9.26 mm, representando un incremento de 2.09 (208.67%) veces más que la deformación de la etapa inicial (3.00 mm).

Las vigas de concreto simplemente reforzado sin adición de fibra de acero, reparadas con sikaRep 500 y reforzadas con fibra de carbono, durante el ensayo a corte se llegó a una resistencia a corte promedio de 87.33 kg/cm², mientras que las vigas de concreto con adición de fibra de acero reparadas con SikaRep 500 y reforzadas con fibra de carbono a una resistencia a corte promedio de 93.73 kg/cm². Esto significa que las segundas vigas aumentaron su resistencia a corte en un 6.40 kg/cm² en comparación con las primeras.

Las vigas de concreto simplemente reforzado sin adición de fibra de acero, reparadas con sikaRep 500 y reforzadas con fibra de carbono alcanzaron una deformación promedio de 6.62 mm, mientras que las vigas de concreto con adición de fibra de acero reparadas con SikaRep 500 y reforzadas con fibra de carbono alcanzaron una deformación promedio de 9.26 mm, lo que representa un incremento del 2.64 mm con respecto al anterior.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda para futuros trabajos de investigación de realizar el reforzamiento con fibra de carbono para esfuerzos de flexión y torsión en vigas y realizar reforzamientos en columnas para analizar el esfuerzo a compresión.

Se recomienda para futuros trabajos de investigación de realizar un análisis y comparación de reforzamiento con fibra de carbono aplicando los 3 tipos de envoltura, así como, los ángulos de inclinación de la fibra, para determinar cuál de las envolturas es mas eficiente y a que ángulo de aplicación.

Se recomienda realizar estudios sobre un análisis detallado de relación costo-beneficio que considere los siguientes aspectos: el estado de la estructura original, el nivel de daño, el tipo y la cantidad de fibra de carbono necesaria, el método de instalación, el mantenimiento y la vida útil esperada, en comparación con reforzamientos tradicionales. Este análisis permitirá determinar si la inversión en fibra de carbono es rentable y eficiente, o si existen otras alternativas más adecuadas para el caso específico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Chama, K. P., & Cari Montoya, B. J. (2019). *Verificación de la efectividad del uso de la fibra de carbono en el reforzamiento de vigas de concreto armado sometidas a esfuerzos de flexión y corte* [Tesis para Optar El Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú]. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10565>
- Alegre Gago, G. (2017). *Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado* [Tesis para Optar el Título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/9254>
- Blanco Blasco, A. (2002). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado*.
- Chávez Alvarez, R., & Ortiz Hidalgo, J. D. (2019). *Análisis y reforzamiento de vigas de concreto armado mediante los métodos: láminas de fibra de carbono y encamisado en viviendas unifamiliares aporricadas hasta dos niveles para el incremento de carga en el distrito de Amarilis año 2019* [Tesis para Optar El Título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Hermilio Valdizande Huánuco, Perú]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.13080/6071>
- Chávez Merino, K. J. (2019). *Resistencia a flexión en vigas de concreto simple empleando fibras de carbono como reforzamiento con diferentes anchos* [Tesis para Optar El Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Privada del Norte, Cajamarca-Perú]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/22289>
- Contreras Landa, L. A. (2017). *Análisis del comportamiento de vigas de concreto reforzadas con fibra de carbono* [Tesis para Obtener el Grado Académico de Maestro en Ciencias en Ingeniería y Administración de la Construcción, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11285/629756>
- Di Ludovico, M., Balsamo, A., Prota, A., Manfredi, G., & Del Zappo, M. (2017). *Refuerzo de pilares a flexión y a cortante, reforzados con CFRP. Experimentación del Departamento de Estructuras para Ingeniería y la Arquitectura de la Universidad Federico II de Nápoles, Italia*.
- Di Ludovico, M., Balsamo, A., Prota, A., Manfredi, G., Dolce, M., Del Vecchio, C., & Verderame, G. M. (2014). *Refuerzo de nudos de hormigón armado reforzados con CFRP. Experimentación del Departamento de Estructuras para la Ingeniería y la Arquitectura de la Universidad Federico II de Nápoles, Italia*.
- Díaz Tafur, V. H. (2021). *Influencia de la incorporación de fibras de acero en la resistencia de vigas de concreto armado ante un esfuerzo cortante* [Tesis para Optar el Título

- Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú].
Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4629>
- Estrada Santos, M. A., & Yoplac Carhuatanta, J. (2019). *Evaluación técnica y económica de reforzamiento estructural en vigas de concreto armado con fibras de carbono en el edificio multifamiliar Huaraz Breña - Lima 2019* [Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma, Perú]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2645>
- Harmsen, T. E. (2017). *Diseño de estructuras de concreto armado*.
- Institute American Concrete (2001). *Control de fisuras en estructuras de concreto*. Obtenido de ACI 224R-01
- Institute American Concrete (2016). *Especificaciones para concreto estructural*. Obtenido de ACI 301S-16
- Institute American Concrete (2017). *Guía para el diseño y la construcción de sistemas FRP adheridos externamente para el refuerzo de estructuras de concreto*. Obtenido de ACI 440.2R-17
- Institute American Concrete (2019). *Requisitos del código de construcción para concreto estructural*. Obtenido de ACI 318-19
- Institute American Concrete (2019). *Requisitos del código para evaluación, reparación*. Obtenido de ACI 562-19
- Manzanarez Cirilo, C. (2013). *Revisión de estados límite en estructuras* [Tesis para Obtener el Título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de México].
- MAPEI (2019). *Refuerzo estructural. La seguridad estructural en la construcción*. Obtenido de https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider47/line-technical-documentation-documents/manual-refuerzo-estructural.pdf?sfvrsn=df98f675_18
- Mármol Salazar, P. C. (2010). *Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas* [Tesis para optar por el grado de Máster en Ingeniería de estructuras, cimentaciones y materiales, Universidad Politécnica de Madrid, España]. Obtenido de <https://oa.upm.es/4510/>
- Materials and Testing for Society American (2018). *Práctica estándar para la fabricación y curado de muestras de ensayo de concreto en el laboratorio*. Obtenido de ASTM C192/C192M
- Materials and Testing for Society American (2021). *Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (utilizando 2 pulg. 0 [50 mm] muestras cúbicas)*. Obtenido de ASTM C109/C109M
- Moncayo Theurer, M., Rodriguez, J., Alcívar, López, Soriano, & Villacis. (2016). Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras. Universidad

- Autónoma de Yucatán, Mérida, México. 20(1), pp. 57-62. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750927006>
- Morales, R. F. (2013). Deformaciones de las Estructuras. *Revista de la Universidad de Mendoza, Argentina*, 1(17). Obtenido de <https://www.um.edu.ar/ojs2019/index.php/RUM/article/view/107>
- Mujica, B. (2011). *Resistencia de Materiales I*.
- Muñoz Salinas, F., & Mendoza Escobedo, C. J. (2012). La durabilidad en las estructuras de concreto reforzado desde la perspectiva de la norma española para estructuras de concreto. *Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo*, 4(1), pp. 63-68. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=361233551004>
- Ottazzi Pasino, G. (2015). *Apuntes del curso de concreto armado I*.
- Pons Gabarrón, J. (2007). *Diseño y ejecución de refuerzos de estructuras de hormigón aplicando laminados compuestos* [Tesina de Especialidad en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Catalunya, España]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2099.1/4969>
- Quiroz Saldaña, J. R. (2017). *Reforzamiento estructural del puente Quebrada Negra aplicando polímeros reforzados con fibras de cabrono (CFRP), en el acceso a la Central Hidroeléctrica Potrero - Centro Poblado Aguas Calientes - Distrito Eduardo Villanueva - Provincia de San Marcos - Cajamarca* [Tesis para Optar El Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Alas Peruanas, Cajamarca - Perú]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12990/2778>
- Sika Colombia S.A.S (2015). *Software de diseño Sika CarboDur basado en ACI 440.2R-8*.
- Sika Colombia S.A.S (2017). *Concreto. Reforzamiento de estructuras de concreto. Técnica y materiales*.
- Silva Diaz, M. J., & Mendoza Rugel, G. E. (2023). *Propuesta de reforzamiento de estructuras con fibra de carbón en viviendas, por cambio de uso o ampliación de área construida - Lima* [Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/671869>

ANEXOS

▪ Diseño de Pórticos

a) PREDIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

• VIGAS:

Para realizar el predimensionamiento de la Viga según Blanco Blasco:

$$h = \frac{L}{10 \text{ o } 12} \quad b = 0.30h \text{ o } 0.50h$$

- Se tiene como Luz libre L=1m.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UND.
LUZ ENTRE APOYOS	1	m
PERALTE MINIMO	0.10	m
PERALTE MAXIMO	0.08	m
PERALTE DE VIGA ELEGIDO	0.2	m
BASE MINIMA	0.06	m
BASE MAXIMA	0.1	m
BASE DE VIGA ELEGIDA	0.15	m

- Se seleccionó “h” y “b” por la trabajabilidad del acero.
- Recubrimiento de Concreto para el Refuerzo según la Norma E 0.60 será de 0.025m

• COLUMNAS:

Para realizar el predimensionamiento de las columnas según el Ing. Roberto Morales:

$$b * D = \frac{k * P}{n * f'_c}$$

Donde:

- P es Wu, obtenido del metrado de cargas:

$$W_u = 1.4W_D + 1.7W_L$$

$W_D = \text{Peso de la viga} + \text{Peso de la Columna} = 250\text{kg/m}$

$W_L = \text{Sobrecarga} = 5000\text{kg/m}$, se asume como carga de diseño.

$$W_u = 8850\text{kg/m}$$

- Asumimos los valores de $k=1.5$ u $n=0.2$

$$b * D = \frac{1.5 * 8850}{0.5 * 210} = 316\text{cm}^2$$

- Según la norma ACI el área mínima de la columna debe ser 600cm^2 , para poder lograr una representación de Empotramiento, se recomienda que las columnas cuenten con una rigidez 1.2 veces respecto a la viga, por lo que se asume una sección de columna de $0.25\text{m} \times 0.25\text{m}$.

b) DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

• VIGAS

- Especificaciones de Diseño:

DESCRIPCIÓN	VALOR	UND.
LONGITUD	1	m
PERALTE	0.2	m
BASE	0.15	m
RECUBRIMIENTO	0.015	m
f_c	210	kg/cm ²
f_y	4200	kg/cm ²
CARGA DE DISEÑO (P)	5	Tn
PERALTE EFECTIVO	0.15	m
Mu Positivo	0.52	Tn · m
Mu Negativo	1.16	Tn · m
ϕ	0.9	

- Para el Momento Positivo:

1. Cálculo del Área de Acero cuando " $a=d/5$ ":

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y (d - \frac{a}{2})}$$

DESCRIPCION	VALOR	UNIDAD
ϕ	0.9	-
Mu	52000	Kg · cm
f_y	4200	kg/cm ²

d	15	cm
a	3	cm
As=	1.019	cm ²

2. Cálculo de "a":

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

$$a = 1.60 \text{ cm}$$

3. Verificando valores de "a" hasta una constante:

VALOR DE "a"	As (cm)	NO/OK
1.60	0.969	NO
1.52	0.966	NO
1.52	0.966	OK

4. Cuantía:

a. Cuantía Calculada:

$$\rho = \frac{A_s}{b * d}$$

$$\rho = 0.0043$$

b. Cuantía Balanceada:

$$\rho_b = \beta_1 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{6000}{6000 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = 0.0213$$

c. Cuantía Máxima:

$$\rho_{max} = 0.50 \rho_b$$

$$\rho_{max} = 0.0106$$

d. Cuantía Mínima:

$$\rho_{min} = 0.8 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} \text{ o } \rho_{min} = \frac{14}{f_y}$$

$$\rho_{min} = 0.0028 \text{ o } \rho_{min} = 0.0033$$

$$\rho_{min} = 0.0033 \dots \text{ ok}$$

e. Verificación:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0.0033 < 0.0043 < 0.0106 \dots ok$$

5. Selección de Diámetros:

$$A_s = 0.966 \text{ cm}^2$$

$$2\emptyset 8 \text{ mm}$$

- Para el Momento Negativo:

6. Cálculo del Área de Acero cuando "a=d/5":

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y (d - \frac{a}{2})}$$

DESCRIPCION	VALOR	UNIDAD
$\phi =$	0.9	-
Mu	116000	Kg · cm
fy	4200	kg/cm ²
d	15	cm
a	3	cm
As=	2.273	cm ²

7. Cálculo de "a":

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

$$a = 3.57 \text{ cm}$$

8. Verificando valores de "a" hasta una constante:

VALOR DE "a"	As (cm)	NO/OK
3.57	2.322	NO
3.64	2.329	NO
3.65	2.329	OK
3.65	2.330	NO
3.65	2.330	OK

9. Cuantía:

a. Cuantía Calculada:

$$\rho = \frac{A_s}{b * d}$$

$$\rho = 0.0104$$

b. Cuantía Balanceada:

$$\rho_b = \beta_1 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{6000}{6000 + f_y} \right)$$
$$\rho_b = 0.0213$$

c. Cuantía Máxima:

$$\rho_{max} = 0.50\rho_b$$
$$\rho_{max} = 0.0106$$

d. Cuantía Mínima:

$$\rho_{min} = 0.8 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} \text{ o } \rho_{min} = \frac{14}{f_y}$$
$$\rho_{min} = 0.0028 \text{ o } \rho_{min} = 0.0033$$
$$\rho_{min} = 0.0033 \dots \text{ok}$$

e. Verificación:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$
$$0.0033 < 0.0104 < 0.0106 \dots \text{ok}$$

10. Selección de Diámetros:

$$A_s = 2.33 \text{cm}^2$$
$$2\emptyset 1/2"$$

- La Distribución de estribos será:

$$1\emptyset 6 \text{mm}@5\text{cm} + 2\emptyset 6 \text{mm}@8\text{cm} + \text{Resto}@20\text{cm}$$

• COLUMNAS

Dado que la Columna debe de idealizar un empotramiento perfecto, siendo su luz de 0.7m y considerando una sobrecarga de 5tn, se asumió un refuerzo de acero convencional tal como se muestra a continuación:

- El Acero Longitudinal será de 1/2" y los Estribos de 3/8" distribuidos de la siguiente forma:

$$1\emptyset 3/8"@5\text{cm}, \text{Resto}\emptyset 3/8"@10\text{cm}$$

• ZAPATAS

Una zapada se diseña en función de la capacidad portante del suelo y el peso de la estructura, dado que en esta investigación no estuvo directamente apoyada en el suelo y el peso de la estructura es mínimo, la zapata asumirá valores mínimos de diseño:

- Se Asumió valores de $b=0.65\text{m}$ y $d=0.25\text{m}$ en X y de $b=0.25\text{m}$ y $d=0.25\text{m}$ en Y

- En Dirección X-X:

$$A_{s_{min}} = 0.0014 b d = 2.275 \text{cm}^2$$

$2\phi 1/2" @ 35\text{cm}$

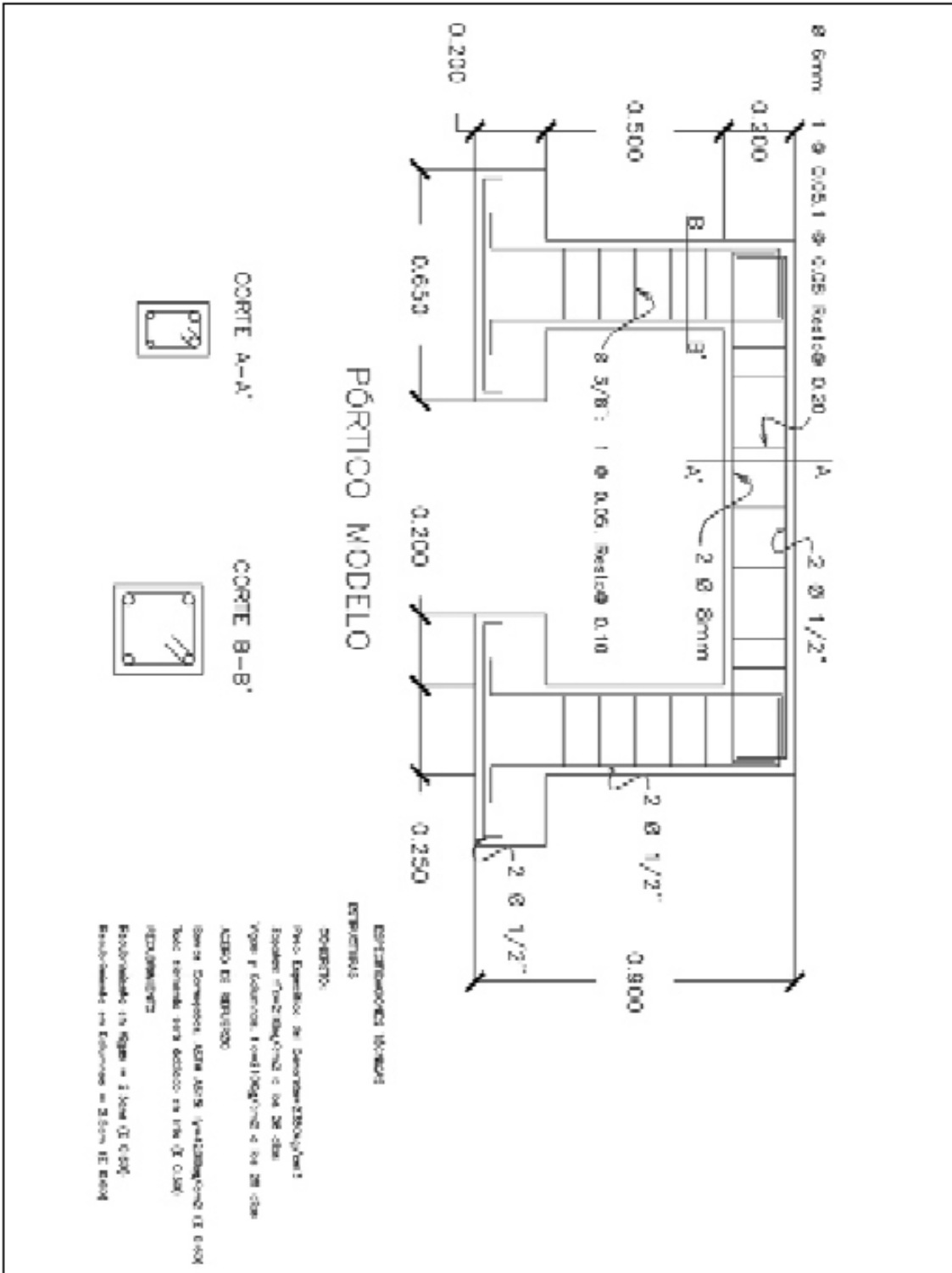
- En Dirección Y-Y:

$$A_{s_{min}} = 0.0014 b d = 0.875 \text{cm}^2$$

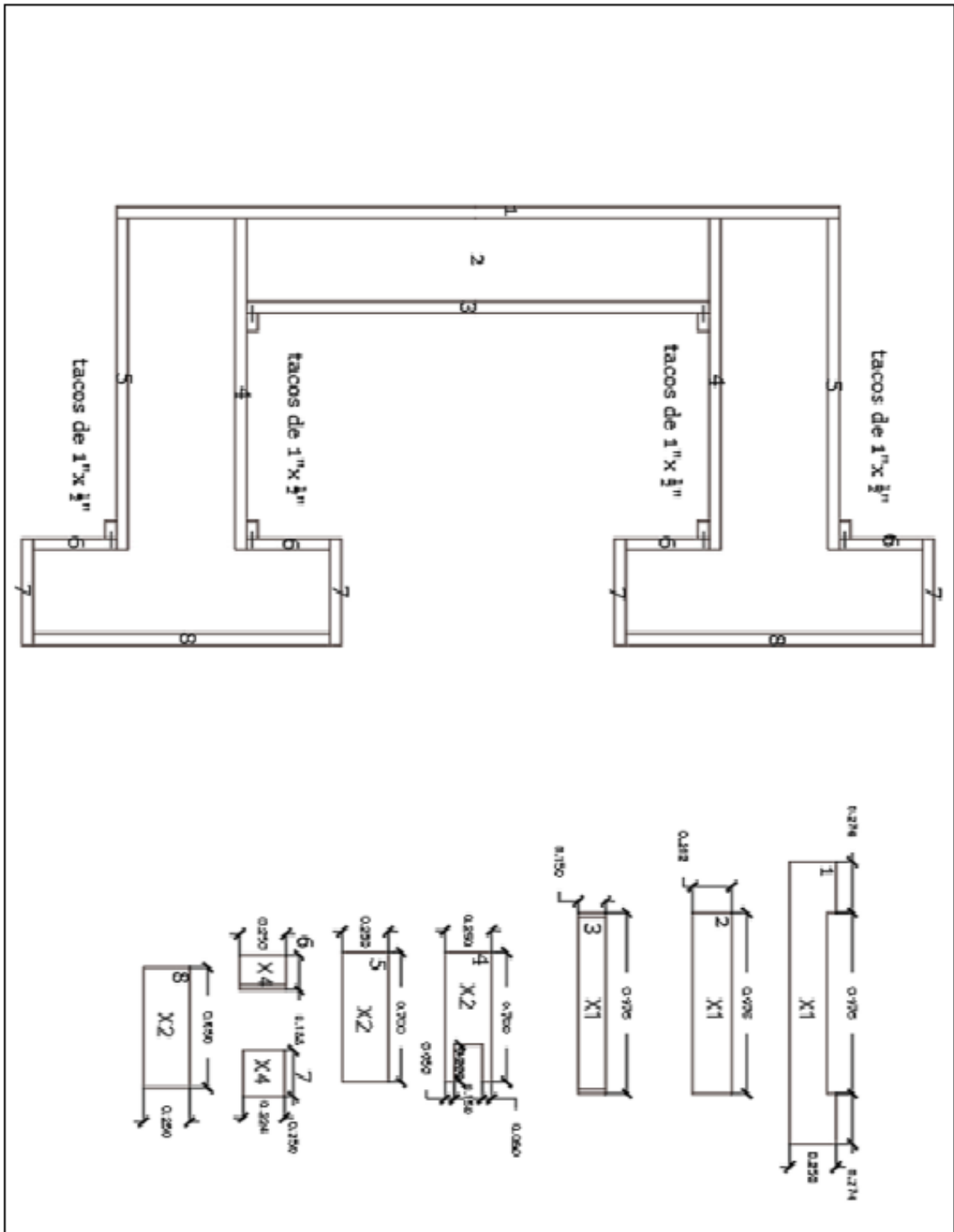
- $1\phi 1/2" @ 12.5\text{cm}$

- Planos

A.- Plano de Distribución de Acero



B.- Plano de Encofrado de Madera



▪ **Fichas Técnica**

A.- Ficha Técnica de Sikadur – 32 Gel



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sikadur®-32 Gel

PUENTE DE ADHERENCIA

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epóxicas seleccionadas, libre de solventes.

USOS

- Sikadur®-32 Gel debe ser utilizado sólo por profesionales expertos.
- Como adhesivo estructural de concreto fresco con concreto endurecido.
 - Como adhesivo entre elementos de concreto, piedra, mortero, acero, fierro, fibra cemento, madera.
 - Adhesivo entre concreto y mortero.
 - En anclajes de pernos en concreto o roca, donde se requiere una puesta en servicio rápida (24 horas).

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Fácil de aplicar
- Libre de solventes
- No es afectado por la humedad
- Altamente efectivo, aun en superficies húmedas
- Trabajable a bajas temperaturas
- Alta resistencia a tracción

CERTIFICADOS / NORMAS

Cumple la norma ASTM C-881 Standard Especificación for Epoxy-Resin-Base Bonding System for Concrete. Está certificado como producto no tóxico por el Instituto de Salud Pública de Chile.

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Empaques	Juego de 1 kg. Juego de 5 kg.
Color	Líquido denso color gris (Mezcla A+B)
Vida Útil	2 años
Condiciones de Almacenamiento	El producto puede ser almacenado en su envase original cerrado, sin deterioro en un lugar fresco, seco y bajo techo durante dos años a una temperatura entre 5°C y 30°C. Acondicione el material a 18°C a 30°C antes de usar.
Densidad	1,6 kg/dm ³

INFORMACIÓN TÉCNICA

Resistencia a la Compresión	<u>1 Día</u>	<u>75 MPa</u>	(ASTM D 695)
	<u>10 Días</u>	<u>90 MPa</u>	
Resistencia a Flexión	<u>10 Días</u>	<u>34 MPa</u>	(ASTM C580)

Hoja De Datos Del Producto
Sikadur®-32 Gel
Abril 2015, Versión 01.01
020204030010000133

Resistencia a la Tensión	14.050 kgf	
Resistencia a la Adherencia	> 13 MPa	(ASTM C 882)

INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

Proporción de la Mezcla	A : B = 2 : 1 (en peso)
Consumo	El consumo aproximado es de 0.3 a 0.5 kg/m ² , dependiendo de la rugosidad y temperatura de la superficie.
Duración de la Mezcla	25 minutos

INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

PREPARACIÓN DEL SUSTRATO

CONCRETO

Al momento de aplicar Sikadur®-32 Gel el concreto debe encontrarse limpio, libre de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa, pintura, entre otros. Debe estar firme y sano con respecto a sus resistencias mecánicas. La superficie de concreto debe limpiarse en forma cuidadosa hasta llegar al concreto sano, eliminando totalmente la lechada superficial. Esta operación se puede realizar con chorro de agua y arena, escobilla de acero, y otros métodos. La superficie a unir debe quedar rugosa.

Metales

Deben encontrarse limpios, sin óxido, grasa, aceite, pintura, entre otros. Se recomienda un tratamiento con chorro de arena a metal blanco o en su defecto utilizar métodos térmicos o físicos químicos.

MEZCLADO

Mezclar totalmente las partes A y B en un tercer recipiente limpio y seco, revolver en forma manual o mecánica con un taladro de bajas revoluciones (máx. 600 r.p.m.) durante 3-5 minutos aproximadamente, hasta obtener una mezcla homogénea. Evitar el aire atrapado. En caso que el volumen a utilizar sea inferior al entregado en los envases, se pueden subdividir los componentes respetando en forma rigurosa las proporciones indicadas en Datos Técnicos.

MÉTODO DE APLICACIÓN / HERRAMIENTAS

La colocación de Sikadur®-32 Gel se realiza con brocha, rodillo o pulverizado sobre una superficie preparada. En superficies húmedas asegurar la aplicación restregando con la brocha. El concreto fresco debe ser vaciado antes de 3 horas a 20°C o 1 hora a 30°C de aplicado el Sikadur®-32 Gel. En todo caso el producto debe encontrarse fresco al vaciar la mezcla sobre él.

NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.

ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de las Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe.

b. Ficha Técnica de SikaRep – 500

CONSTRUYENDO CONFIANZA



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

SikaRep®-500

MORTERO REFORZADO CON FIBRAS PARA REPARACIÓN

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika Rep®-500 es un mortero predosificado de alta calidad, de un componente listo para usar con solo agregar agua, tiene característica tixotrópicas que permite ser usado sobre cabeza sin escurrir, está basado en aglomerantes cementicios, fibras sintéticas, micro sílice, aditivos especiales y agregados inertes de granulometría controlada.

USOS

- Reparación estructural de elementos de concreto.
- Reconstrucción de concreto en aplicaciones verticales, horizontales y cielo raso.
- Reparación de vigas, losas, muros y pavimentos, estanques de agua potable, obras hidráulicas, túneles, puentes, canales y obras de concreto en general.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Fácil de aplicar con propiedades tixotrópicas y buena trabajabilidad incluso en aplicación sobre cabeza
- Buena adherencia a concreto, acero, piedra, albañilería
- Buena estabilidad dimensional
- Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Expansión térmica similar al concreto
- Alta resistencia a compresión, flexión y tracción
- Alta resistencia al desgaste
- Rápida puesta en servicio

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Empaques	Saco de 30 kg.
Apariencia / Color	Polvo color gris
Vida Útil	9 meses
Condiciones de Almacenamiento	Sika Rep® -500 debe mantenerse en sitio fresco, seco y bajo techo, en estas condiciones se puede almacenar en su envase cerrado original durante 9 meses.

INFORMACIÓN TÉCNICA

Resistencia a la Compresión	<ul style="list-style-type: none">• 1 día 250 kgf/cm²• 3 días 450 kgf/cm²• 7 días 500 kgf/cm²
------------------------------------	--

Hoja De Datos Del Producto
SikaRep®-500
Mayo 2019, Versión 01.01
020302040030000173

C. Ficha Técnica de MapeWrap C Uni-Ax 600

Versión: Mayo 6, 2016



MAPEI

MapeWrapTM C Uni-Ax 600

Tela de fibra de carbono, unidireccional, de alta resistencia

ICC ES

DESCRIPCIÓN

MapeWrap C Uni-Ax 600 es una tela de fibra de carbono, unidireccional, de alta resistencia que cuando se utiliza con la familia *MapeWrap* de adhesivos epoxi de dos componentes, forma un sistema de refuerzo de adherencia externa de polímero reforzado con fibra (FRP, por sus siglas en inglés). *MapeWrap C Uni-Ax 600* es parte de una solución de ingeniería que permite un aumento en la resistencia de los elementos estructurales sin aumentar la carga muerta soportada por la estructura. *MapeWrap C Uni-Ax 600* tiene el doble del peso con respecto a la superficie total y el doble de espesor de *MapeWrap C Uni-Ax 300*.

CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

- Utilice para el fortalecimiento del confinamiento, la cizalladura o la flexión.
- Alta resistencia y alto módulo de elasticidad
- Tela ligera para uso en áreas de acceso limitado
- Anticorrosiva
- Bajo impacto estético (fácil de ocultar, con cambio mínimo al perfil)
- Excelente resistencia a una amplia gama de condiciones ambientales
- Resistente a los álcalis
- Flexible; se adaptará a la forma de superficies complejas
- Se instala rápidamente sin maquinaria o equipo especial

DÓNDE USARLO

- Restaura la integridad estructural de las superficies de concreto dañadas o deterioradas causadas por el fuego, el impacto o el envejecimiento

- Mejora la resistencia sísmica de la mampostería u los muros de corte de concreto, las conexiones viga-columna y columnas de concreto
- Aumenta la ductilidad y capacidad de soporte de carga de vigas de concreto, losas, columnas y muros debido a defectos de diseño, cambio de uso y el aumento de las cargas de servicio en edificaciones
- Fortalecimiento sísmico y restauración de elementos abovedados y arcos en los edificios históricos, túneles y estructuras viales
- Confina las estructuras con cargas axiales como columnas, chimeneas, tanques y silos

LIMITACIONES

- La temperatura de aplicación del adhesivo epoxi que se utiliza debe ser de entre 5°C y 30°C (41°F y 86°F). Comuníquese con el departamento de Servicio Técnico de MAPEI para obtener recomendaciones cuando la temperatura ambiente esté por encima o por debajo de este rango de temperatura.
- Un ingeniero con licencia independiente con experiencia en diseño de polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP, por sus siglas en inglés) deberá realizar los cálculos de diseño y la revisión del proyecto que deben cumplir con todos los códigos de construcción de las autoridades estatales, provinciales y federales. Otros ejemplos/directrices de diseño están disponibles a pedido al departamento de Servicio Técnico de MAPEI.

SUSTRATOS APROPIADOS

- Úselo en aplicaciones en interiores y exteriores sobre concreto de 28 días de curado, mampostería, madera y acero.

Comuníquese con el departamento de Servicio Técnico de MAPEI para obtener las recomendaciones de instalación relacionadas con sustratos y condiciones no indicadas en el presente documento.

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

- Las superficies de concreto deben encontrarse completamente curadas, ser limpias, sólidas y secas, y sin cavidades ni proyecciones.
- Quite todas las aletas y salientes afilados, y el elemento de detalle como se indica en los documentos de ingeniería.
- Retire todos los materiales inhibidores de la adhesión, incluido polvo, lechada, aceites, impregnaciones, revestimientos, agentes para la liberación de encofrados o cualquier contaminante de la superficie, antes de la instalación.
- Los defectos en el sustrato de concreto se deben reparar y las fisuras superficiales mayores a 10 milésimas de pulgada deben sellarse con productos de inyección de epoxi de MAPEI, tales como *Planibond® AE* o *Planibond CR 50*.
- Limpie todos los refuerzos expuestos de acuerdo con las directrices de la Sociedad de Pintura de Estructuras de Acero (Steel Structures Painting Council – SSPC) y cubra con *Planibond 3C* o *Mapefer™ 1K*.
- Prepare mecánicamente el sustrato para proporcionar un perfil de superficie apropiado, tal como lo determine el ingeniero. El perfil de la superficie normalmente debe ser de un mínimo de perfil de la superficie de concreto (CSP, por sus siglas en inglés) de N.º 3 a N.º 5 del Instituto Internacional de Reparación de Concreto (International Concrete Repair Institute – ICRI). En todos los casos, es la responsabilidad del ingeniero evaluar y especificar el perfil de superficie adecuado necesario para garantizar el rendimiento del sistema.
- Pruebe la superficie preparada, como lo indique el ingeniero. La resistencia del adhesivo al concreto debe cumplir con una resistencia a la tracción mínima de 1,38 MPa (200 psi) y mostrar una falla dentro del sustrato de concreto. Se debe llevar a cabo una prueba aleatoria de arranque (conforme a la norma ACI 503R) después de cumplir con la preparación de la superficie correspondiente.

MEZCLA

Elija todo el equipo de seguridad apropiado antes de su uso. Consulte la Ficha de seguridad para obtener más información.

1. Consulte las Fichas técnicas (TDS, por sus siglas en inglés) individuales de MAPEI para las resinas epoxi adecuadas a ser utilizadas con *MapeWrap C Uni-Ax 600*.
2. No diluya ni modifique los epoxis.

APLICACIÓN DEL PRODUCTO

MapeWrap C Uni-Ax 600 se puede instalar el método de laminado "seco" o "húmedo".

Común al laminado tanto seco como húmedo

1. El instalador y el propietario deben leer y seguir todos los procedimientos de equipo de protección personal (EPP) recomendados, mientras realiza la preparación e instalación de *MapeWrap C Uni-Ax 600* y sus adhesivos.
2. Cuando se aplica el producto en un ambiente cerrado, proporcione buena ventilación. Para más información, lea detenidamente la Ficha de seguridad de los productos usados.
3. Corte *MapeWrap C Uni-Ax 600* a la longitud deseada.
4. Imprima la superficie a reforzar con una capa uniforme de *MapeWrap Primer 1* a una tasa de 3,67 a 4,65 m² por L (150 a 190 pies² por galón de EE.UU.). Los sustratos muy porosos pueden requerir una segunda capa después de que la primera capa se ha absorbido completamente.
5. Sobre superficies de concreto selladas con *MapeWrap Primer 1* pero que requieren alisado/nivelación, aplique una capa (espesor promedio de 1 mm [1/32 de pulgada] y un espesor máximo de 4 mm [1/6 de pulgada]) de *MapeWrap 11* o *MapeWrap 12*, con una llana dentada, mientras que el imprimador esté todavía húmedo o pegajoso. Use una llana plana para alisar la superficie y eliminar las imperfecciones. Para espesores mayores, utilice *Planitop® X* o *Planitop XS*.
6. Al envolver columnas, se debe solapar *MapeWrap C Uni-Ax 600* por 20 cm (8 pulgadas) con la misma tela.

Laminado en seco

1. Extienda una primera capa uniforme de *MapeWrap 31* con una brocha o rodillo de pelo corto a un espesor de 0,5 mm (20 milésimas de pulgada) y una tasa de 0,98 a 1,10 m² por L (40 a 45 pies² por galón de EE.UU.), mientras que *MapeWrap 11* o *MapeWrap 12* esté todavía húmedo o pegajoso.
2. Coloque inmediatamente *MapeWrap C Uni-Ax 600* sobre *MapeWrap 31* todavía pegajoso o húmedo, con una mano enguantada (consulte la Ficha de seguridad para determinar el EPP correcto) a fin de aplanar bien la tela y luego use un rodillo de plástico duro para suavizar las arrugas o bolsas de aire. El rodillo se debe pasar solamente en la dirección de las fibras primarias en la tela.
3. Use un rodillo de goma para empujar el epoxi a través de las fibras a ambos lados de la tela y, a continuación, aplique una segunda capa de *MapeWrap 31* sobre la superficie expuesta para encapsular totalmente la tela. Utilice un rodillo con tornillo sin fin de aluminio para eliminar completamente las burbujas de aire.
4. Esparza arena sobre la superficie húmeda de *MapeWrap 31* hasta que se cubra con arena seca y cubra con un recubrimiento protector – como *Mapelastic®*, *Elastocolor® Coat* o *Elastocolor Paint* –

Propiedades de rendimiento del producto

Pruebas de laboratorio	Resultados
Material de la fibra	Carbono de alta resistencia
Color	Negro
Dirección de la fibra primaria	0° (unidireccional)
Conservación	Ilimitada en condiciones adecuadas de almacenamiento; almacene en un lugar seco y sin exposición a la luz solar directa

Propiedades de la fibra seca

Propiedad	Valor de prueba típica
Base	Tela de fibra de carbono, unidireccional, de alta resistencia
Resistencia máxima a la tracción	≥ 4,90 GPa (710 000 psi)
Módulo de tracción	36,5 x 10 ⁶ psi +/- 2% (252 GPa +/- 2%)
Alargamiento a la rotura	>/- 2,0%
Peso	600 g por m ² (18 onzas de EE.UU. por yarda ²)
Espesor nominal (t _i)	0,331 mm por capa (0,0131 de pulgada por capa)

Propiedades de laminado curado con MapeWrap 21

Propiedad	Valor promedio	Valor de diseño**	Método de Ensayo ASTM
Resistencia a la tracción*	938 MPa (136 000 psi)	821 MPa (119 000 psi)	D3039
Módulo de tracción*	56 607 MPa (8 208 000 psi)	56 607 MPa (8 208 000 psi)	D3039
Alargamiento a la rotura*	1,7%	1,4%	D3039
Espesor de capas – mm (pulgadas)*	1 496 (0,0589)	1 496 (0,0589)	–

Propiedades de laminado curado con MapeWrap 31

Propiedad	Valor promedio	Valor de diseño**	Método de Ensayo ASTM
Resistencia a la tracción*	1 628 MPa (236 000 psi)	1 448 MPa (210 000 psi)	D3039
Módulo de tracción*	81 897 MPa (11 875 000 psi)	81 897 MPa (11 875 000 psi)	D3039
Alargamiento a la rotura*	2%	1,76%	D3039
Espesor de capa nominal*	1,01 mm (0,0397 de pulgada)	1,01 mm (0,0397 de pulgada)	–

* 24 cupones de muestra por serie de pruebas de acuerdo con ACI 440. La prueba es de acuerdo a ASTM D3039.

** Valor medio menos 3 desviaciones estándar, de acuerdo con ACI 440.2R (Sección 4.3.1)

Presentación

Tamaño
Rollo de 50,0 (164 pies) con un ancho de 10 cm (3,94 pulgadas)
Rollo de 50,0 (164 pies) con un ancho de 20 cm (7,87 pulgadas)
Rollo de 50,0 (164 pies) con un ancho de 40 cm (15,75 pulgadas)

MapeWrap® C Uni-Ax 600

para proporcionar una barrera eficaz contra los rayos ultravioleta, en particular bajo la luz solar directa.

Laminado en húmedo

1. *MapeWrap C Uni-Ax 600* debe impregnarse con *MapeWrap 21* utilizando un dispositivo de saturación automatizado, accionado mecánicamente. Esta es una máquina simple equipada con un cubo y una serie de rodillos que automáticamente satura la tela y permite que cualquier exceso de saturante gotee desde la tela de forma fácil y segura.
2. Como alternativa, *MapeWrap C Uni-Ax 600* se puede sumergir en un balde de plástico lleno con 1/3 del volumen total con *MapeWrap 21*. Retire la tela del balde, déjela gotear y presiónela entre las manos enguantadas hasta que el exceso de resina se elimine por completo. Tome precauciones para no retorcer la tela ni dañar las fibras de carbono.
3. Una vez saturada, aplique *MapeWrap C Uni-Ax 600* sobre *MapeWrap 11* o *MapeWrap 12* todavía húmedos que cubren *MapeWrap Primer 1* o sobre *MapeWrap Primer 1* solo si se utilizó un mortero de traguado rápido. Use una mano enguantada (consulte la Ficha de seguridad para determinar el EPP correcto) a fin de aplanar bien la tela y luego use un rodillo de plástico duro para suavizar las arrugas o bolsas de aire. El rodillo se debe pasar solamente en la dirección de las fibras primarias en la tela. 12 13f
4. Pase un rodillo con tornillo sin fin de aluminio sobre la tela impregnada para eliminar completamente cualquier burbuja de aire que se haya formado durante la aplicación de la tela.
5. Esparza arena sobre la superficie húmeda de *MapeWrap 21* hasta que se cubra con arena seca cubriendo *MapeWrap C Uni-Ax 600*. Luego, cubra con un recubrimiento protector – como *Mapelastic*, *Elastocolor Coat* o *Elastocolor Paint* – para proporcionar una barrera eficaz contra los rayos ultravioleta, en particular bajo la luz solar directa.

LIMPIEZA

Debido a la gran resistencia de la adherencia de *MapeWrap 11*, *MapeWrap 12*, *MapeWrap 21* y *MapeWrap 31* sobre metal, deberá limpiar las herramientas con solventes aprobados (alcohol etílico, tolueno, etc.) antes de que se seque el producto. El material curado sólo puede quitarse mecánicamente.

Consulte la Ficha de seguridad para obtener datos específicos relacionados con la salud y seguridad, así como la manipulación del producto.

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Antes de utilizar el producto, el usuario determinará su idoneidad para el uso deseado y éste asume todos los riesgos y las responsabilidades que se vinculen con dicho uso. **NO SE CONSIDERARÁ NINGÚN RECLAMO A MENOS QUE SE HAGA POR ESCRITO EN UN PLAZO DE QUINCE (15) DÍAS A CONTAR DE LA FECHA EN QUE SE DESCUBRIÓ O QUE DE MANERA RAZONABLE SE DEBIÓ HABER DESCUBIERTO.**

Tenemos el orgullo de apoyar a las siguientes organizaciones de la industria:



MAPEI Oficinas Centrales en América del Norte

1144 East Newport Center Drive
Deerfield Beach, Florida 33442
1-888-US-MAPEI (1-888-876-2734) /
(954) 246-8888

Servicio Técnico

1-800-992-6273 (EE.UU. y Puerto Rico)
1-800-361-9309 (Canadá)

Servicio al Cliente

1-800-42-MAPEI (1-800-426-2734)

Servicios en México

0-1-800-MX-MAPEI (0-1-800-696-2734)

Fecha de edición: 28 de abril de 2016

PR: 6718 MKT: 16-1460

Para los datos y la información de la garantía BEST-BACKED™ más actuales del producto, visite www.mapei.com.
Derechos Reservados. Impreso en EE.UU. © 2016 MAPEI Corporation.

D. Ficha Técnica de MapeWrap Primer 1



DESCRIPCIÓN

MapeWrap Primer 1 es una resina epoxi 100% sólida, de baja viscosidad, tolerante a la humedad, utilizada como recubrimiento de sellado para consolidar e imprimir sustratos de concreto. Como el primer componente del sistema compuesto *MapeWrap*, *MapeWrap Primer 1* penetra las estructuras porosas cementosas y provee una alta adherencia para los otros componentes del sistema.

CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

- Epoxi 100% sólido
- Libre de solventes y cumple con los requerimientos COV
- Tolerante a la humedad
- La baja viscosidad permite una excelente penetración de estructuras cementosas porosas

DÓNDE USARLA

- Úsela en superficies horizontales, verticales y elevadas, en espacios interiores o exteriores.
- Úsela sobre concreto, mampostería, madera y acero.
- Úsela como primer componente en la instalación del sistema compuesto *MapeWrap*.
- Úsela para lograr una excelente adhesión para el sistema compuesto *MapeWrap*.

SUSTRATOS APROPIADOS

- Úsela en sustratos de concreto estructuralmente sólidos, completamente curados (con mínimo 28 días de instalación) y debidamente preparados, así como sobre mampostería, madera y acero.

Para conocer las recomendaciones de instalación en relación con sustratos y condiciones no listados, consulte al Departamento de servicios técnicos de MAPEI.

PREPARACIÓN DE SUPERFICIES

1. Antes de terminar la preparación de la superficie, asegúrese de que todas las reparaciones de concreto se hayan aplicado como es debido y hayan curado según los lineamientos ICRI.
2. Asegúrese de que todos los sustratos estén completamente curados, estructuralmente firmes, estables, limpios y libres de polvo, aceite, grasa, pintura, alquitrán, cera, selladores, compuestos de curado, agentes desmoldantes, imprimaciones, lechada, partículas sueltas y cualquier otra sustancia o material extraño que pueda reducir o impedir la adhesión.
3. Todos los bordes afilados que se puedan encontrar en vigas y columnas rectangulares deben ser suavizados y quedar al ras, con un radio de curvatura (redondeados) de no menos de 19 mm (3/4 de pulgada) en todas esquinas.
4. Para sustratos de concreto y mampostería, prepare el sustrato con medios mecánicos para proporcionar un perfil de superficie apropiado, según lo determine el ingeniero. La superficie usualmente debe tener un perfil mínimo de superficie de concreto (CSP, por su sigla en inglés) entre #3 y #5 CSP, de acuerdo con el Instituto Internacional de Reparación de Concreto (ICRI, por su sigla en inglés). En todos los casos, es responsabilidad del ingeniero evaluar y especificar el perfil de superficie requerido para asegurar el desempeño del sistema.

MapeWrap Primer 1

5. Para sustratos de acero, logre un perfil mínimo de 3 milésimas de pulgada mediante chorro abrasivo hasta tener un metal blanco según la Sociedad para Revestimiento de Protección (SSPC, por su sigla en inglés) Especificación SP-5.89 o NACE No. 1.
 6. Selle las grietas superficiales con productos epoxi de inyección fabricados por MAPEI, tales como *Planibond® AE* y/o *Epojet™* o *Epojet LV*.
- No diluya el *MapeWrap Primer 1* con disolventes.
 - No mezcle unidades parciales de *MapeWrap Primer 1*.

MEZCLA

Antes de usar el producto, tome las precauciones de seguridad adecuadas. Para más información, consulte la Ficha de seguridad.

1. Combine los dos componentes que conforman el *MapeWrap Primer 1* vertiendo la Parte B en la Parte A.
2. Mézclelas con una mezcladora de baja velocidad (entre 400 y 600 rpm) y usando una paleta Jiffy estándar de mezcla para pintura durante aproximadamente 3 minutos, hasta obtener una consistencia suave y homogénea. Los componentes de la Parte A y la Parte B han sido previamente divididos en porciones (proporción de mezcla: 3 partes por peso de la parte A y 1 parte por peso de la Parte B) y se deben mezclar como unidades completas. Es prohibido mezclar de porciones parciales de la Parte A y la Parte B.

APLICACIÓN DEL PRODUCTO

1. Sature la superficie que necesite ser reforzada usando una brocha o rodillo de felpa de 10 mm (3/8 de pulgada) y una capa uniforme de *MapeWrap Primer 1* a una velocidad de 3,67 a 4,65 m² por L (150 a 190 pies² por galón de EE.UU.). Los sustratos muy porosos pueden requerir una segunda capa después de que se haya absorbido por completo la primera capa.
2. Proporcione una buena ventilación cuando aplique los productos en un ambiente cerrado. Para más información, lea cuidadosamente la Ficha de seguridad de cada producto.

LIMPIEZA

- Debido a la alta fuerza de adherencia al metal de *MapeWrap Primer 1*, limpie las herramientas con disolventes aprobados (alcohol etílico, tolueno, etc.) antes de que el producto seque. El material curado sólo se puede eliminar con medios mecánicos. Elimine el material curado siguiendo las normas locales vigentes.

LIMITACIONES

- Aplique el *MapeWrap Primer 1* cuando las temperaturas de ambiente oscilen entre 10°C y 32°C (50°F y 90°F).
- Comuníquese con el Departamento de servicios técnicos de MAPEI para conocer más acerca de aplicaciones a temperaturas por debajo de 10°C (50°F) y por encima de 32°C (90°F).



**MapeWrap
Primer 1**

Propiedades de rendimiento del producto

Pruebas de laboratorio	Resultados
Gravedad específica (libra/in ³)	0,036
COV	< 50 g por L (< 0,42 libras por galón de EE.UU.)
Curado completo	7 días
Adherencia al concreto tras 7 días y a 23°C (73°F)	> 3 MPa (435 psi)
Resistencia a la tensión, tras 7 días – Norma ASTM D638	30,3 MPa (4 394 psi)
Tensión de elongación tras 7 días – Norma ASTM D638	2,28%
Resistencia a la compresión tras 7 días – Norma ASTM C579	82,9 MPa (12 015 psi)

Propiedades de conservación y aplicación

Conservación	2 años en su envase original sin abrir, en un área cubierta
Almacénese entre	10°C a 32°C (50°F a 90°F). Evite el congelamiento durante su transporte y almacenamiento.
Consistencia (mezclado)	Líquido
Color (mezclado)	Amarillo transparente
Proporción de mezcla (por peso)	Parte A : Parte B = 3 : 1
Tiempo de trabajo	
A 10°C (50°F)	120 minutos
A 23°C (73°F)	90 minutos
A 32°C (90°F)	60 minutos
Tiempos de fraguado	
A 10°C (50°F)	De 5 a 6 horas
A 23°C (73°F)	De 3 a 4 horas
A 32°C (90°F)	De 2 a 3 horas

Cobertura aproximada

Por 3,79 L (1 galón de EE.UU.)	De 3,67 a 4,65 m ² por L (150 a 190 pies ² por galón de EE.UU.)
--------------------------------	---

Presentación

Tamaño
Kit (Partes A y B), 3,79 L (1 galón de EE.UU.)



MapeWrap Primer 1



Consulte la Ficha de seguridad para obtener datos específicos relacionados con la salud y seguridad, así como la manipulación del producto.

Para información sobre el compromiso de MAPEI con la sostenibilidad y la transparencia, así como la forma en que MAPEI cumple con los requisitos de salud y bienestar de los programas de certificación de producto, contacte al Equipo de Sostenibilidad de MAPEI llamando al 1-800-992-6273.

AVISO LEGAL

El contenido de esta Ficha técnica puede copiarse en otro documento de un proyecto relacionado, pero el documento resultante no debe complementar o reemplazar los requerimientos de la Ficha técnica vigente en el momento de la instalación del producto de MAPEI. Para la información más actualizada sobre las Fichas técnicas y la garantía, visite nuestro sitio web

www.mapei.com. **CUALQUIER MODIFICACIÓN DE LA REDACCIÓN O LOS REQUERIMIENTOS CONTENIDOS O DERIVADOS DE ESTA Ficha TÉCNICA INVALIDARÁN TODAS LAS GARANTÍAS CONCERNIENTES DE MAPEI.**

Antes de utilizar el producto, el usuario determinará su idoneidad para el uso

deseado y éste asume todos los riesgos y las responsabilidades que se vinculen con dicho uso. **NO SE CONSIDERARÁ NINGÚN RECLAMO A MENOS QUE SE HAGA POR ESCRITO EN UN PLAZO DE QUINCE (15) DÍAS A CONTAR DE LA FECHA EN QUE SE DESCUBRIÓ O QUE DE MANERA RAZONABLE SE DEBIÓ HABER DESCUBIERTO.**

Tenemos el orgullo de apoyar a las siguientes organizaciones de la industria:



TTMAC ACTM

ICRI



aci
American Concrete Institute



ASC
American Surface Coatings Association



Oficina Central de MAPEI para Norteamérica

1144 East Newport Center Drive
Deerfield Beach, Florida 33442
1-888-US-MAPEI (1-888-876-2734) /
(954) 246-8888

Servicio técnico

1-888-365-0614 (EE.UU. y Puerto Rico)
1-800-361-9309 (Canadá)

Servicio al cliente

1-800-42-MAPEI (1-800-426-2734)

Servicios en México

0-1-800-MX-MAPEI (0-1-800-696-2734)

Fecha de edición: 25 de febrero de 2020
MK 3001005 (19-2568)

Para los datos y la información de la garantía BEST-BACKED™ más actuales del producto, visite www.mapei.com.
Derechos Reservados. © 2020 MAPEI Corporation.

E. Ficha Técnica de MapeWrap 31

MAPEWRAP 31

Adhesivo epoxídico de viscosidad media para la impregnación de tejidos MapeWrap, mediante el "sistema seco"



CAMPOS DE APLICACIÓN

MapeWrap 31 se utiliza para impregnar los tejidos MapeWrap, cuando la reparación o el refuerzo de los elementos de hormigón u hormigón armado o albañilería se efectúan en obra mediante el "sistema seco".

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

MapeWrap 31 es un adhesivo con feccionado a base de resinas epoxídicas, de consistencia gelatinosa, exento de disolventes, especialmente formulado en los laboratorios de I+D de MAPEI, para efectuar la impregnación en obra, mediante el "sistema seco", de los tejidos MapeWrap.

MapeWrap 31 está constituido por dos componentes predosificados (Componente A = resina y Componente B = endurecedor) que deben mezclarse entre sí antes de su uso. Después de la mezcla, MapeWrap 31 permanece trabajable aproximadamente 40 minutos, a +23°C.

Una vez endurecido, MapeWrap 31 adquiere óptimas propiedades dieléctricas y elevadas resistencias mecánicas.

MapeWrap 31 responde a los principios definidos en la EN 1504-9 ("Productos y sistemas para la protección y la reparación de las estructuras de hormigón: definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Principios generales para el uso de los productos y sistemas") según los requisitos mínimos requeridos por la EN 1504-4 ("Encolado estructural").

MapeWrap 31 pertenece al sistema compuesto FRP de fibra de carbono MapeWrap C UNI-AX 300 W+MapeWrap 31 y MapeWrap C UNI-AX W 600+MapeWrap 31, que ha sido certificado por el instituto americano ICC-ES (International Code Council Evaluation Service) que ha validado la prestación mecánica y la durabilidad bajo diversas condiciones medio ambientales y emitido la relación ESR - 3499.

AVISOS IMPORTANTES

- No utilizar MapeWrap 31 una vez iniciada la reacción de endurecimiento.
- Emplear MapeWrap 31 sobre MapeWrap 11 o MapeWrap 12 aún frescos.

FORMA DE APLICACIÓN

Preparación de MapeWrap 31

Los dos componentes de MapeWrap 31 deben ser mezclados entre sí. Verter el componente B en el componente A y mezclar, a bajo número de revoluciones, con un taladro provisto de agitador hasta la completa homogeneización del producto. Proporción de la mezcla: 4 partes en peso del componente A y 1 parte en peso del componente B. Para no incurrir en errores accidentales de dosificación es necesario emplear todo el envase; en el caso de que el contenido deba ser empleado parcialmente, efectuar la dosificación de los dos componentes utilizando una báscula electrónica de precisión.

Aplicación de MapeWrap 31 y puesta en obra de los tejidos MapeWrap

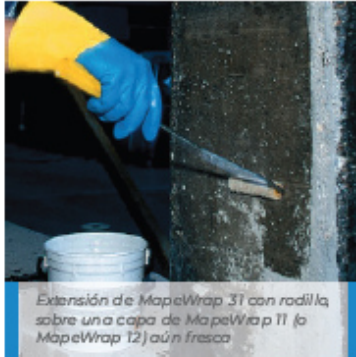
Aplicar en un espesor uniforme, sobre MapeWrap 11 o MapeWrap 12 aún frescos, una primera mano de MapeWrap 31 con brocha o rodillo de pelo corto;



colocar inmediatamente el tejido **MapeWrap** teniendo cuidado de no dejar ningún pliegue y presionándolo con **Rodillo para MapeWrap** para permitir que el adhesivo penetre completamente a través de las fibras del tejido.

A sobre el tejido **MapeWrap** una segunda mano de **MapeWrap 31**.

Para eliminar posibles burbujas de aire ocluido producidas durante los trabajos descritos volver a pasar, sobre el tejido impregnado, el **Rodillo para MapeWrap**, tipo sinfín.



Extensión de MapeWrap 31 con rodillo, sobre una capa de MapeWrap 11 (o MapeWrap 12) aún fresca



Presión efectuada sobre el tejido con el Rodillo para MapeWrap, para hacer penetrar MapeWrap 31 en el tejido

NORMAS A RESPETAR ANTES DE LA PUESTA EN OBRA

Con temperaturas comprendidas entre +5°C y +30°C no se deberá tomar ninguna precaución en especial.

En épocas de calor no exponer el material al sol y realizar la intervención de encolado durante las horas más frescas del día.

En periodos fríos, cuando se deban realizar intervenciones al exterior con temperaturas inferiores a +5°C se recomienda, antes de proceder a la reparación o al refuerzo con los tejidos **MapeWrap W**, calentar el soporte durante las 24 horas precedentes al encolado y colocar sistemas aislantes adecuados, con el fin de protegerlo de una posible helada. El aislamiento térmico debe mantenerse, como mínimo, durante las 24 horas posteriores a la intervención.

Almacenar el producto, antes de usarlo, en un ambiente climatizado.

LIMPIEZA

A causa de la elevada adherencia de **MapeWrap 31**, se aconseja lavar las herramientas de trabajo con disolventes (alcohol etílico, tolueno, etc.) antes del endurecimiento del producto.

CONSUMO

El consumo del producto varía en función del tipo de tejido (unidireccional, bidireccional o cuadriaxial) y de la anchura del mismo:

MapeWrap C (tejidos de CARBONO)			
Tipo de tejido	Consumo (g/m ²)	Anchura (cm)	Consumo (g/m)
UNI-AX 300 o UNI-AX HM 300	1000-1100	10	100-110
		20	200-220
		40	400-440
UNI-AX 600 o UNI-AX HM 600	1500-1550	10	150-155
		20	300-310
		40	600-620
BI-AX 230	1000-1100	20	200-220



		40	400-440
BI-AX 360	1250-1400	20	250-280
		40	500-560
QUADRI-AX 380	2000-2100	30	600-700
		48,5	970-1020
QUADRI-AX 760	3500-3700	30	1050-1100
		48,5	1700-1800

MapeWrap G (tejidos de VIDRIO)			
Tipo de tejido	Consumo (g/m ²)	Anchura (cm)	Consumo (g/m)
UNI-AX 900	900-1000	30	270-300
		60	540-600
QUADRI-AX 1140	1300-1400	30	390-420
		48,5	630-680

PRESENTACIÓN

Unidad de 5 kg (componente A = 4 kg, componente B = 1 kg).
Unidad de 2,5 kg (componente A = 2 kg, componente B = 0,5 kg).

ALMACENAMIENTO

El producto debe conservarse en los embalajes originales y en ambientes con temperaturas no inferiores a +5°C.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD PARA LA PREPARACIÓN Y PUESTA EN OBRA

MapeWrap 31 parte A es irritante en contacto directo con los ojos y la piel; tanto la parte A como la parte B pueden causar reacciones alérgicas en contacto con la piel, en sujetos propensos.

MapeWrap 31 parte B es corrosiva y puede causar quemaduras. Además es nocivo por ingestión e inhalación. El producto contiene resinas epoxídicas de bajo peso molecular que pueden causar sensibilización cruzada con otros compuestos epoxídicos. Durante la aplicación se recomienda utilizar guantes y gafas de protección y tomar las precauciones habituales para la manipulación de productos químicos. En caso de contacto con los ojos o la piel lavar inmediata y abundantemente con agua y consultar a un médico.

Se recomienda trabajar en ambiente bien aireados. En caso de ventilación insuficiente, se recomienda usar mascarilla con filtros. Cuando el material reacciona desarrolla un elevado calor: después de la mezcla entre el componente A y el componente B se recomienda aplicar el producto tan pronto como sea posible y no dejar el recipiente sin vigilancia hasta el completo vaciado del mismo.

MapeWrap 31 parte A y parte B son peligrosos para el medio acuático, no dispersar el producto en el ambiente. Para una ulterior y más completa información en referencia al uso seguro del producto se recomienda consultar la última versión de la Ficha de Seguridad."



DATOS TÉCNICOS (valores característicos)		
DATOS IDENTIFICATIVOS DEL PRODUCTO		
	componente A	componente B
Consistencia:	pasta	líquido
Color:	amarillo	amarillo transparente
Densidad (g/cm ³):	1,05	1,12
Viscosidad Brookfield (mPa·s):	17,000 {rotor 5 - giros 10}	110 {rotor 2 - giros 100}
DATOS DE APLICACIÓN (después de 7 días a +23°C - 50% H.R.)		
Proporción de la mezcla:	componente A : componente B = 4 : 1	
Consistencia de la mezcla:	pasta gelatinosa	
Color de la mezcla:	amarillo	
Densidad de la mezcla (kg/m ³):	1,06	
Viscosidad Brookfield (mPa·s):	6.500 {rotor 3 - giros 10}	
Tiempo de fraguado:		
- a +10°C:	60'	
- a +23°C:	40'	
- a +30°C:	20'	
Tiempo de fraguado:		
- a +10°C:	90'	
- a +23°C:	50'	
- a +30°C:	30'	
Temperatura de aplicación:	de +5°C a +30°C	
Adherencia al hormigón (N/mm ²):	> 3 (después de 7 días a +23°C - rotura del hormigón)	
Resistencia a tracción (ASTM D 638) (N/mm ²):	≥ 40	
Alargamiento a tracción (ASTM D 638) (%): - después de 28 días	≥ 1,6	
Resistencia a compresión (ASTM D 695) (N/mm ²):	≥ 70	
Resistencia a flexión (ISO 178) (N/mm ²):	≥ 70	
Módulo elástico a compresión (ASTM D 695) (N/mm ²):	≥ 3.000	
Módulo elástico a flexión (ISO 178) (N/mm ²):	≥ 2.500	
Temperatura de transición vítrea Tg (°C) (ASTMA E 1640-09)	≥ 70 (después de 3 días a +23°C y 4 días a 60°C)	



PRESTACIONES FINALES			
Características prestacionales	Método de ensayo	Requisito conforme a la EN 1504-4	Prestación del producto
MORTERO O HORMIGÓN ENCOLADO			
Resistencia a compresión (N/mm ²):	EN 12190	≥ 30	> 70
Resistencia a cortante (N/mm ²):	EN 12615	≥ 6	> 10
Módulo elástico a compresión (N/mm ²):	EN 13412	≥ 2.000	> 3.000
ACERO ENCOLADO			
Resistencia a cortante (N/mm ²):	EN 12188	≥ 12	50° > 40 60° > 35 70° > 30
Adherencia: - pull - out (N/mm ²):	EN 12188	≥ 14	> 20
Adherencia: - Resistencia al corte inclinado (N/mm ²):	EN 12188	50° ≥ 50 60° ≥ 60 70° ≥ 70	50° > 90 60° > 85 70° > 100

* Valores obtenidos de pruebas realizadas en 5 muestras (+ 23°C (+ 73°F) - 50% H.R.)

ADVERTENCIA

Las indicaciones y las prescripciones descritas, aun correspondiendo a nuestra mejor experiencia, deben considerarse, en cualquier caso, como puramente indicativas y deberán confirmarse mediante aplicaciones prácticas concluyentes; por tanto, antes de emplear el producto, quien pretenda utilizarlo deberá establecer si es el más o menos apropiado para el trabajo previsto y asume toda la responsabilidad que pueda derivarse de su uso.

Las referencias relativas a este producto están disponibles bajo solicitud y en las páginas web de Mapei www.mapei.es y www.mapei.com

INFORMACIÓN LEGAL

El contenido de esta Ficha Técnica puede ser reproducido en otros documentos de proyecto, pero el documento resultante no podrá, de ninguna manera, reemplazar o complementar a la Ficha Técnica vigente en el momento de la aplicación del producto MAPEI.

La Ficha Técnica más actualizada está disponible en nuestro sitio web www.mapei.com.

CUALQUIER ALTERACIÓN DEL TEXTO O DE LAS CONDICIONES ACTUALES CONTENIDAS EN ESTA FICHA TÉCNICA O DE ELLA DERIVADAS, EXCLUYE LA RESPONSABILIDAD DE MAPEI.

MEMORIA DESCRIPTIVA

Aplicación, en un espesor uniforme, sobre **MapeWrap 11** o **MapeWrap 12** aún frescos, con brocha o rodillo de pelo corto, de adhesivo epoxídico de viscosidad media (tipo **MapeWrap 31** de MAPEI), para la impregnación en obra de los tejidos **MapeWrap**. La colocación de los tejidos **MapeWrap W** debe realizarse inmediatamente después de haber aplicado **MapeWrap 31**, teniendo cuidado de extenderlos sin dejar ningún pliegue. Después de haber alisado el tejido, aplicar una segunda mano de **MapeWrap 31**. El producto ser conforme a los requisitos mínimos de la norma europea EN 1504-4. El producto impregnante deberá tener las siguientes características:

Proporción de la mezcla:	componente A : componente B = 4 : 1
Densidad de la mezcla (kg/m ³):	1060



Proporción de la mezcla:	6500 (rotor3 - giros 10)
Densidad de la mezcla (kg/m ³):	40' (a +23°C)
Viscosidad Brookfield (mPas):	50' (a +23°C)
Tiempo de trabajabilidad:	> 3 (después de 7 días, a + 23°C – rotura del hormigón)
Tiempo de fraguado:	≥ 40 (ASTM D 638)
Adherencia al hormigón (N/mm ²):	≥ 1,6 (ASTM D 638)
Resistencia a tracción (N/mm ²):	≥ 70 (ASTM D 695)
Alargamiento a tracción:	≥ 70 (ISO 178)
Resistencia a compresión (N/mm ²):	≥ 3.000 (ASTM D 695)
Resistencia a flexión (N/mm ²):	≥ 2.500 (ISO 178)
Módulo elástico a tracción (N/mm ²):	≥ 2.600 (ASTM D 638)
Temperatura de transición vítrea Tg (°C):	≥ 70 (ASTM E1640-09)
Consumo:	en función del tipo de tejido

1008-11-2021-es

La reproducción de textos, fotografías e ilustraciones de esta publicación está totalmente prohibida y será perseguida por la ley



APÉNDICE

▪ Determinación de Fuerzas Cortantes

A. Fuerza Cortante por Concreto, Acero y Fibra de Carbon

A.1. Fuerza Cortante Aportada por Concreto y Acero

Considerando los datos de la tesis inicial, procedemos a calcular la carga ultima:

✓ **Carga última (Wu):** $W_u = 1.4 * W_D + 1.7 * W_L$

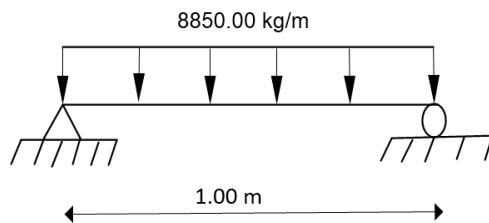
Donde:

$$W_D(\text{Carga Muerta}) = 250 \text{ kg/m}$$

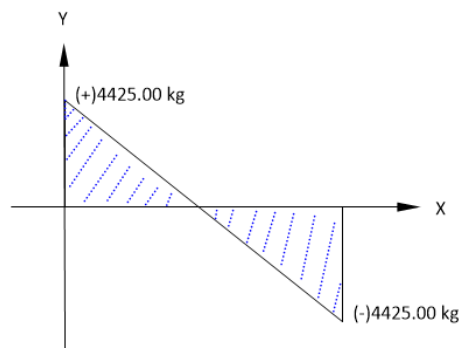
$$W_L(\text{Carga Viva}) = 5000 \text{ kg/m}$$

$$W_u = 8850.0 \text{ kg/m}$$

✓ **Diagrama de Cortante:**



Nota: *Diagrama de carga ultima en viga.*



Nota: *Diagrama de Cortante.*

Donde:

$$\text{Cortante \u00cdltima o Solicitante (Vu)} = 4425.00 \text{ kg}$$

$$W_L(\text{Carga Viva}) = 5000 \text{ kg/m}$$

✓ **Cortante M\u00e1ximo Soportado por la Secci\u00f3n (Vmax.)**

Donde:

$$V_{max} = \phi \left(\frac{1}{6} * \sqrt{f_c} * b * d + \frac{2}{3} * \sqrt{f_c} * b * d \right)$$

$$b = \text{Ancho} = 0.15 \text{ m}$$

$$d = \text{Peralte Efectivo} = 0.165 \text{ m}$$

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2 = 20.594 \text{ Mpa}$$

Reemplazando

$$V_{max} = 0.75 * \left(\frac{1}{6} * \sqrt{20.594} * 0.15 * 0.165 + \frac{2}{3} * \sqrt{20.594} * 0.15 * 0.165 \right)$$

$$V_{max} = 0.0702 \text{ MN} = 70.20 \text{ KN} = 7158.294 \text{ kg}$$

Verificaci\u00f3n: $V_{max} \geq V_u$

$$7158.294 \text{ kg} \geq 4425.00 \text{ kg} \text{ok}$$

✓ **Cortante L\u00edmite que no Requiere Refuerzo Transversal ($\frac{1}{2} \phi V_c$)**

Donde:

$$V_c = \lambda * \frac{\sqrt{f'_c}}{6} * b * d$$

$$\lambda = 1 \text{ Para concreto normal}$$

$$\lambda = 0.75 \text{ Para concreto liviano}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} * 1 * 0.75 * \sqrt{20.594} * 0.15 * 0.165$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = 0.00702 \text{ MN} = 7.02 \text{ KN} = 715.83 \text{ Kg}$$

Con apoyo de la ecuación de la recta, determinamos la distancia con respecto al eje X.

$$y = m * x + b \text{ (Ecuación de la recta)}$$

$$m \text{ (pendiente)} = -\frac{4425}{0.50} = -8850$$

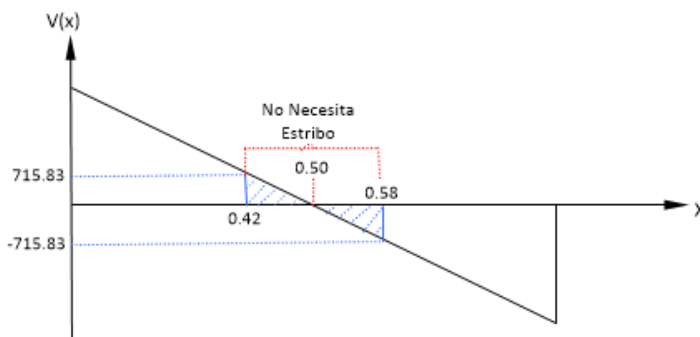
$$b = 4425$$

Reemplazando encontramos la ecuación de la cortante:

$$V_{(x)} = -8850 * X + 4425$$

$$\text{Para } V = 715.83, X = 0.42 \text{ m}$$

$$V = -715.83, X = 0.58 \text{ m}$$



Nota: *Diagrama de Cortante donde no necesita estribo.*

✓ **Determinación de Estribo Mínimo:**

Para determinar el rango de estribo mínimo, se debe cumplir la siguiente condición:

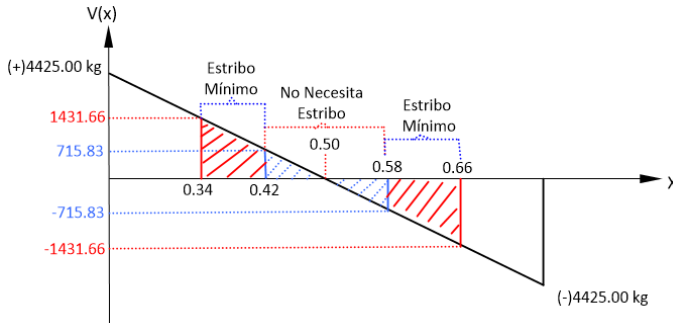
$$\frac{1}{2} \phi V_c < V_u < \phi V_c, \text{ donde } V_u = 4425.00 \text{ kg}$$

$$715.83 \text{ kg} < V_u < 1431.66 \text{ kg} \dots \text{ ok}$$

Determinamos las distancias en el eje X.

$$\text{Para } V = 1431.66, X = 0.34 \text{ m}$$

$$V = -1431.66, X = 0.66 \text{ m}$$



Nota: *Diagrama de Cortante de Estribo Mínimo.*

Cantidad de Estribo Mínimo (A_{vmin}):

Se determina con el mayor de:

$$0.062 * \sqrt{f'c} * \frac{b*s}{f_y}$$

$$\frac{0.35*b*s}{f_y}$$

$$s = S_{max} = \frac{d}{2}$$

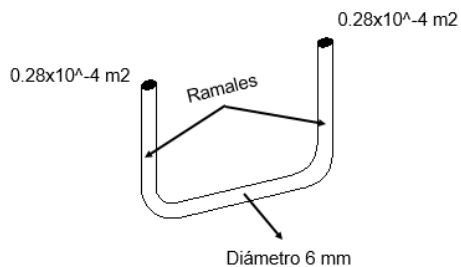
Reemplazando valores se tiene:

$$s = S_{max} = \frac{0.165}{2} = 0.0825 \text{ m}$$

$$Ec. 15 = 0.062 * \sqrt{20.594} * \frac{0.15*0.0825}{420} = 8.290 \times 10^{-6} m^2$$

$$Ec. 16 = \frac{0.35*0.15*0.0825}{420} = 1.031 \times 10^{-5} m^2$$

$$A_{Vmin} = 1.031 \times 10^{-5} m^2 \text{ con espaciamiento de 8 cm.}$$



Nota: *Área de estribo con acero de diámetro 6 mm.*

Entonces se tiene:

$$\text{Usando: } \Phi 6\text{mm @ } 8 \text{ cm} - A_{V\min} = 0.56 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Comprobando tenemos:

$$0.56 \times 10^{-4} \text{ m}^2 > 1.031 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \dots \text{ok}$$

✓ **Cortante Aportado por el Concreto y el Acero.**

Sabemos que V_u es el cortante a una distancia d (peralte efectivo) desde el apoyo, tenemos:

$$\text{Para } V(0.165) = 2964.75 \text{ kg}$$

$$V(0.835) = -2964.75 \text{ kg}$$

Se calcula la resistencia de $V_c + V_s$, donde se tiene que cumplir la siguiente condición:

$$V_u \leq \phi V_C + \phi V_S$$

$$V_C = \text{Cortante por Concreto}$$

$$V_S = \text{Cortante por Acero}$$

Calculando se tiene:

$$\phi V_C = \frac{0.75 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{6} = \frac{0.75 \cdot \sqrt{20.594} \cdot 0.15 \cdot 0.165}{6}$$

$$\phi V_C = 0.01404 \text{ MN} = 14.039 \text{ KN} = 1431.66 \text{ kg}$$

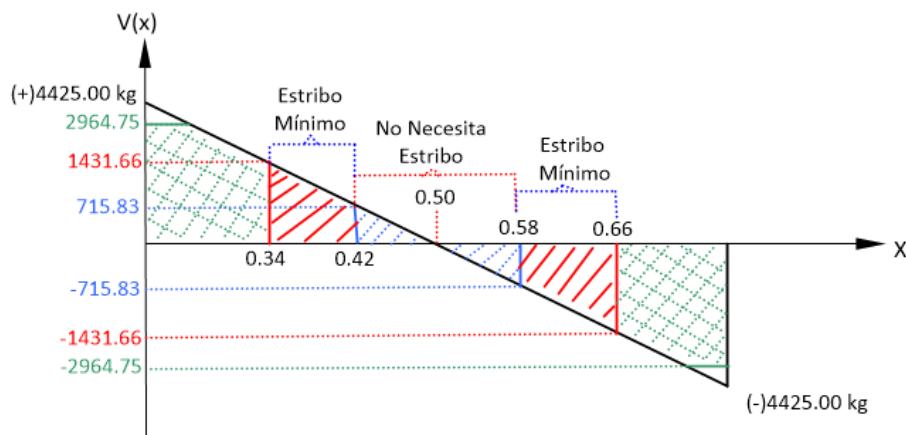
$$\phi V_S = \frac{0.75 \cdot A_{V\min} \cdot f_{yt} \cdot d}{s} = \frac{0.75 \cdot 0.56 \cdot 10^{-4} \cdot 420 \cdot 0.165}{0.08}$$

$$\phi V_C = 0.0364 \text{ MN} = 36.382 \text{ KN} = 3709.87 \text{ kg}$$

Comprobando:

$$V_u \leq \phi V_C + \phi V_S$$

$$2964.75 \text{ kg} \leq 5141.53 \text{ kg} \dots \text{ok}$$



Nota: Gráfica de cortante por concreto y acero.

A.2. Fuerza Cortante Aportada por Fibra de Carbono

✓ Deformación Efectiva para Miembros Completamente Envueltos:

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

Donde:

ε_{fe} = Deformación efectiva

ε_{fu} = Deformación de rotura de diseño de refuerzo

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

C_E = Factor de reducción por exposición

ε_{fu}^* = Deformación unitaria máxima nominal

Reemplazando valores de ficha técnica de producto y tabla, tenemos:

$$\varepsilon_{fu} = 0.95 * 0.0176 = 0.0167$$

$$\varepsilon_{fe} = 0.004 \leq 0.75 * 0.0167$$

$$\varepsilon_{fe} = 0.004 \leq 0.0125 \dots \text{ok}$$

✓ **Tensión Efectiva:**

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

Donde:

$$f_{fe} = \text{Tensión efectiva}$$

$$E_f = \text{Módulo de elasticidad de la tracción de FRP}$$

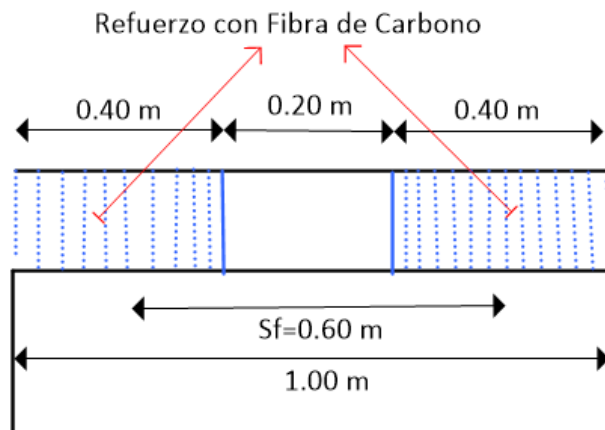
Reemplazando:

$$E_f = 838948.30 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{fe} = 838948.30 * 0.004 = 3355.79 \text{ kg/cm}^2$$

✓ **Cálculo de Cortante (Vf):**

Gráficamente se tiene:



Nota: *Forma de refuerzo de viga con fibra de carbono.*

Aplicando las ecuaciones 2.10 y 2.11, determinamos la cortante aportada por la fibra de carbono, ángulo de 90°:

$$A_{fy} = 2 * 1 * 0.0331 * 40 = 2.648 \text{ cm}^2$$

$$V_f = \frac{2.648 * 3355.79 * 1 * 16.5}{60} = 2443.686 \text{ kg}$$

$$\phi * \psi * V_f = 1654.07 \text{ kg}$$

✓ Resumen de análisis por cortante de concreto, acero y fibra de carbono:

VIGAS REFORZADAS CON FRP (POLÍMERO REFORZADO CON FIBRA)			
TESIS: RESISTENCIA A FUERZA CORTANTE DE VIGAS CON Y SIN FIBRA DE ACERO AL SER REFORZADAS CON FIBRA DE CARBONO DESPUÉS DE HABER ALCANZADO SU FALLA ÚLTIMA			
AUTOR: MOROCHO SÁNCHEZ NORMAN SAMUEL		FECHA: 31/03/2023	
DATOS GENERALES			
GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN			
VARIABLE	VALOR	UND	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE
bw =	15	cm	Ancho efectivo de la sección
H =	20	cm	Peralte bruto de la sección
B =	15	cm	Ancho en compresión
t =	0	cm	Espesor en compresión (t=0 en sección rectangular)
REFUERZO POR CORTANTE EXISTENTE DE LA SECCIÓN			
VARIABLE	VALOR	UND	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE
Av =	0.56	cm ²	Área de las ramas de estribos (Aestr x N*Ramas)
d =	16.50	cm	Peralte efectivo de la sección
s =	8.00	cm	Espaciamiento entre los estribos eje a eje
REFUERZO DE FRP DE LA SECCIÓN (DATOS DE PRODUCTO MAPEI - MAPEWRAP C UNI-AX 600)			
VARIABLE	VALOR	UND	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE
Tipo =	1		Tipo de Refuerzo (1Cerrado)
Wf =	40.0	cm	Ancho de Refuerzo por Contante
Sf =	60.0	cm	Espaciamiento a ejes del refuerzo por corte
df =	20.0	cm	Longitud de una rama de refuerzo FRP
tf =	0.0331	cm	Espesor de una capa de FRP
N lam. =	1		Número de capas de refuerzo
Afv =	2.648	cm ²	Área de refuerzo de FRP: (Afv=N*Wf*tf)
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES			
VARIABLE	VALOR	UND	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE
CONCRETO			
f'c =	210	kg/cm ²	Resistencia a la compresión del concreto
Ec =	217370.6512	kg/cm ²	Modulo de elasticidad
ecu =	0.003		Deformación unitaria máxima permisible - compresión
eo =	0.001652017		Deformación máxima según (Todeschini)
fc" =	189		Esfuerzo máximo para eo (Todeschini)
ACERO			
fy =	4200	kg/cm ²	Límite de fluencia del acero
Es =	2000000	kg/cm ²	Modulo de elasticidad
ey =	0.0021		Deformación de fluencia del acero
SISTEMA DE REFUERZO FRP (Fibra de Carbono)			
CE =	0.95		Factor de reducción p/exposición al medio ambiente
Ef =	838948.30	kg/cm ²	Módulo de Elasticidad (Ffu/efu)
Ffu* =	14765.49	kg/cm ²	Resistencia de rotura del sistema FRP nominal
Ffu =	14027.22	kg/cm ²	Resistencia última de diseño (Ffu=CE*Ffu*)
efu* =	0.0176		Deformación unitaria máxima nominal FRP
efu =	0.0167		Deformación unitaria máxima de diseño: efu=CE*efu*
Ψfrp =	0.85		Factor de reducción FRP (0.95 envoltura O) - (0.85 en U ó I)
RESULTADO DEL ANÁLISIS POR CORTANTE			
CARGAS ACTUANTES DE DISEÑO			
VARIABLE	VALOR	UND	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE
1.1Vcm + 0.75 Vcv =	650.00	kg	$\emptyset(Vc+Vs) > (1.1Vcm + 0.75Vcv)$
Vu (Actuante) =	4425.00	kg	Cortante Ultimo de Diseño
CAPACIDAD RESISTENTE DE LA SECCIÓN SIN FRP			
Aporte del Concreto Vc =	1908.828	kg	
Aporte de los Estribos Vs =	4946.565	kg	
Vu = $\emptyset(Vc+Vs)$ =	5141.53	kg	Capacidad Resistente Sin FRP
CAPACIDAD RESISTENTE DE LA SECCIÓN CON REFUERZO DE FRP			
efe =	0.004		
ffe =	3355.79	kg/cm ²	
Vf =	2321.50	kg	Resistencia Nominal al Cortante por FRP
Vu = $\emptyset(Vc+Vs+\Psi Vf)$ =	10505.47	kg	Cortante Resistente de la Sección con FRP
			Ok Carga Resistente Mayor que Carga Actuante
REVISIÓN DE LÍMITES MÁXIMOS DE REFUERZO			
Vs+Vf =	7390.251	kg	
$2 * \sqrt{f'c} * bw * d$ =	22905.93	kg	$OK - (Vs + Vf) < 2 * \sqrt{f'c} * bw * d$

Nota: Cuadro de análisis de fuerzas cortantes.

- **Procesamiento de Datos de Ensayos a Corte de Vigas**

a. Vigas de Concreto Armado Reparado y Reforzado con Fibra de Carbono

✓ **Pórtico PS-01:**

Tabla A.1. Procesamiento de datos del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PS-01

Viga PS - 01 (Etapa Inicial)				Viga PS - 01 (Reforzado con FRP)			
Radio (cm)	7.30	Área (cm²)	167.33	Radio (cm)	7.30	Área (cm²)	155.00
Altura (cm)	19.90	D. Lat. (mm)	4.02	Altura (cm)	19.00	D. Lat. (mm)	15
Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Def. Unitaria	Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Def. Unitaria
0.50	0.00	2.99	0.0001	0.50	0.42	3.23	0.0022
1.00	0.00	5.98	0.0005	1.00	0.72	6.45	0.0038
1.50	0.00	8.96	0.0010	1.50	0.82	9.68	0.0043
2.00	0.07	11.95	0.0015	2.00	0.91	12.90	0.0048
2.50	0.25	14.94	0.0018	2.50	0.92	16.13	0.0048
3.00	0.48	17.93	0.0022	3.00	1.04	19.35	0.0055
3.50	0.53	20.92	0.0027	3.50	1.63	22.58	0.0086
4.00	0.65	23.90	0.0033	4.00	1.82	25.81	0.0096
4.50	1.06	26.89	0.0053	4.50	2.17	29.03	0.0114
5.00	1.41	29.88	0.0071	5.00	2.24	32.26	0.0118
5.50	1.73	32.87	0.0087	5.50	2.38	35.48	0.0125
6.00	1.95	35.86	0.0098	6.00	2.52	38.71	0.0133
6.50	2.25	38.85	0.0113	6.50	2.82	41.94	0.0148
7.00	2.42	41.83	0.0122	7.00	3.19	45.16	0.0168
7.50	2.58	44.82	0.0130	7.50	3.42	48.39	0.0180
8.00	2.75	47.81	0.0138	8.00	3.76	51.61	0.0198
8.36	3.12	49.96	0.0157	8.50	4.09	54.84	0.0215
-	-	-	-	9.00	4.32	58.06	0.0227
-	-	-	-	9.50	4.71	61.29	0.0248
-	-	-	-	10.00	5.01	64.52	0.0264
-	-	-	-	10.50	5.25	67.74	0.0276
-	-	-	-	11.00	5.56	70.97	0.0293
-	-	-	-	11.50	5.83	74.19	0.0307
-	-	-	-	12.00	6.01	77.42	0.0316
Carga Rotura (Tn)	11.30	Grieta Máx. (mm)	1.2	Carga Rotura (Tn)	12.00	Grieta Máx. (mm)	4.5

✓ **Pórtico PS-02:**

Tabla A.2. Procesamiento de datos del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PS-02

Viga PS - 02 (Etapa Inicial)				Viga PS - 02 (Reforzado con CFRP)			
Radio (cm)	7.40	Área (cm ²)	171.95	Radio (cm)	7.40	Área (cm ²)	165.10
Altura (cm)	20.01	D. Lat. (mm)	4.5	Altura (cm)	20.01	D. Lat. (mm)	7
Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria	Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria
0.50	0.00	2.91	0.0000	0.50	0.00	3.03	0.0000
1.00	0.00	5.82	0.0005	1.00	0.00	6.06	0.0000
1.50	0.01	8.72	0.0010	1.50	0.00	9.09	0.0000
2.00	0.39	11.63	0.0019	2.00	0.00	12.11	0.0000
2.50	0.72	14.54	0.0036	2.50	0.07	15.14	0.0003
3.00	1.09	17.45	0.0054	3.00	0.21	18.17	0.0010
3.50	1.30	20.35	0.0065	3.50	0.30	21.20	0.0015
4.00	1.62	23.26	0.0081	4.00	0.32	24.23	0.0016
4.50	1.89	26.17	0.0094	4.50	0.36	27.26	0.0018
5.00	2.20	29.08	0.0110	5.00	0.49	30.28	0.0024
5.20	2.53	30.24	0.0126	5.50	0.80	33.31	0.0040
-	-	-	-	6.00	1.00	36.34	0.0050
-	-	-	-	6.50	1.23	39.37	0.0061
-	-	-	-	7.00	1.40	42.40	0.0070
-	-	-	-	7.50	1.57	45.43	0.0078
-	-	-	-	8.00	1.69	48.46	0.0084
-	-	-	-	8.50	1.76	51.48	0.0088
-	-	-	-	9.00	1.98	54.51	0.0099
-	-	-	-	9.50	2.21	57.54	0.0110
-	-	-	-	10.00	2.40	60.57	0.0120
-	-	-	-	10.50	2.81	63.60	0.0140
-	-	-	-	11.00	3.15	66.63	0.0157
-	-	-	-	11.50	3.45	69.65	0.0172
-	-	-	-	12.00	3.68	72.68	0.0184
-	-	-	-	12.50	4.08	75.71	0.0204
-	-	-	-	13.00	4.50	78.74	0.0225
-	-	-	-	13.50	5.11	81.77	0.0255
-	-	-	-	14.00	5.44	84.80	0.0272
-	-	-	-	14.50	6.83	87.83	0.0341
-	-	-	-	15.00	8.41	90.85	0.0420
Carga Rotura (Tn)	11.00	Grieta Máx. (mm)	0.91	Carga Rotura (Tn)	15.00	Grieta Máx. (mm)	1.5

✓ **Pórtico PS-03:**

Tabla A.3. Procesamiento de datos del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PS-03

Viga PS - 03 (Etapa Inicial)				Viga PS - 03 (Reforzado con CFRP)			
Radio (cm)	7.35	Área (cm ²)	169.63	Radio (cm)	7.40	Área (cm ²)	160.00
Altura (cm)	19.60	D. Lat. (mm)	2.05	Altura (cm)	19.50	D. Lat. (mm)	6
Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria	Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria
0.50	0.00	2.95	0.0001	0.50	0.11	3.13	0.0005
1.00	0.00	5.90	0.0004	1.00	0.16	6.25	0.0008
1.50	0.01	8.84	0.0007	1.50	0.25	9.38	0.0013
2.00	0.13	11.79	0.0009	2.00	0.42	12.50	0.0022
2.50	0.29	14.74	0.0012	2.50	0.87	15.63	0.0044
3.00	0.35	17.69	0.0015	3.00	0.96	18.75	0.0049
3.50	0.38	20.63	0.0019	3.50	1.13	21.88	0.0058
4.00	0.42	23.58	0.0023	4.00	1.32	25.00	0.0068
4.50	0.68	26.53	0.0035	4.50	1.51	28.13	0.0077
5.00	0.80	29.48	0.0041	5.00	1.84	31.25	0.0094
5.50	0.96	32.42	0.0049	5.50	2.60	34.38	0.0133
6.00	1.06	35.37	0.0054	6.00	2.80	37.50	0.0144
6.50	1.27	38.32	0.0065	6.50	3.00	40.63	0.0154
6.68	1.54	39.38	0.0079	7.00	3.14	43.75	0.0161
-	-	-	-	7.50	3.29	46.88	0.0169
-	-	-	-	8.00	3.48	50.00	0.0178
-	-	-	-	8.50	3.66	53.13	0.0187
-	-	-	-	9.00	3.87	56.25	0.0198
-	-	-	-	9.50	4.03	59.38	0.0206
-	-	-	-	10.00	4.15	62.50	0.0213
-	-	-	-	10.50	4.19	65.63	0.0215
-	-	-	-	11.00	4.29	68.75	0.0220
-	-	-	-	11.50	4.55	71.88	0.0233
-	-	-	-	12.00	4.78	75.00	0.0245
-	-	-	-	12.50	4.95	78.13	0.0254
-	-	-	-	13.00	5.10	81.25	0.0262
-	-	-	-	13.50	5.21	84.38	0.0267
-	-	-	-	14.00	5.29	87.50	0.0271
-	-	-	-	14.50	5.42	90.63	0.0278
-	-	-	-	15.00	5.45	93.75	0.0279
Carga Rotura (Tn)	9.50	Grieta Máx. (mm)	0.72	Carga Rotura (Tn)	15.00	Grieta Máx. (mm)	1

b. Vigas de Concreto Armado con Adición de Fibra de Acero, Reparado y Reforzado con Fibra de Carbono

✓ Pórtico PF-01:

Tabla A.4. Procesamiento de datos del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PF-01

Viga PF - 01 (Etapa Inicial)				Viga PF - 01 (Reforzado con CFRP)			
Radio (cm)	7.25	Área (cm²)	165.05	Radio (cm)	7.25	Área (cm²)	165.00
Altura (cm)	19.80	D. Lat. (mm)	4.05	Altura (cm)	20.00	D. Lat. (mm)	9
Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Def. Unitaria	Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Def. Unitaria
0.50	0.00	3.03	0.0000	0.50	0.02	3.03	0.0001
1.00	0.01	6.06	0.0005	1.00	0.06	6.06	0.0003
1.50	0.04	9.09	0.0011	1.50	0.58	9.09	0.0029
2.00	0.29	12.12	0.0020	2.00	1.60	12.12	0.0080
2.50	0.47	15.15	0.0027	2.50	2.48	15.15	0.0124
3.00	0.70	18.18	0.0035	3.00	3.48	18.18	0.0174
3.50	0.89	21.21	0.0042	3.50	3.92	21.21	0.0196
4.00	0.99	24.24	0.0050	4.00	4.22	24.24	0.0211
4.50	1.12	27.26	0.0057	4.50	4.50	27.27	0.0225
5.00	1.62	30.29	0.0082	5.00	4.81	30.30	0.0241
5.50	2.06	33.32	0.0104	5.50	5.08	33.33	0.0254
6.00	2.15	36.35	0.0109	6.00	5.47	36.36	0.0274
6.50	2.44	39.38	0.0123	6.50	5.84	39.39	0.0292
7.00	2.65	42.41	0.0134	7.00	6.19	42.42	0.0310
7.50	2.85	45.44	0.0144	7.50	6.65	45.45	0.0332
8.00	3.10	48.47	0.0157	8.00	7.11	48.48	0.0356
8.50	3.54	51.50	0.0179	8.50	7.61	51.52	0.0380
-	-	-	-	9.00	8.27	54.55	0.0414
-	-	-	-	9.50	9.11	57.58	0.0455
-	-	-	-	10.00	9.76	60.61	0.0488
-	-	-	-	10.50	10.32	63.64	0.0516
-	-	-	-	11.00	10.93	66.67	0.0547
-	-	-	-	11.50	11.35	69.70	0.0568
-	-	-	-	12.00	11.76	72.73	0.0588
-	-	-	-	12.50	12.25	75.76	0.0613
-	-	-	-	13.00	12.67	78.79	0.0634
-	-	-	-	13.50	13.14	81.82	0.0657
-	-	-	-	14.00	13.61	84.85	0.0681
-	-	-	-	14.50	13.89	87.88	0.0695
-	-	-	-	15.00	14.17	90.91	0.0709
Carga Rotura (Tn)	10.00	Grieta Máx. (mm)	1.3	Carga Rotura (Tn)	15.00	Grieta Máx. (mm)	1.5

✓ **Pórtico PF-02:**

Tabla A.5. Procesamiento de datos del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PF-02

Viga PF - 02 (Etapa Inicial)				Viga PF - 02 (Reforzado con CFRP)			
Radio (cm)	7.40	Área (cm ²)	171.95	Radio (cm)	7.40	Área (cm ²)	165.00
Altura (cm)	20.10	D. Lat. (mm)	3.57	Altura (cm)	20.00	D. Lat. (mm)	7
Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria	Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria
0.50	0.000	2.91	0.0001	0.50	0.09	3.03	0.0005
1.00	0.000	5.82	0.0005	1.00	0.34	6.06	0.0017
1.50	0.001	8.72	0.0009	1.50	0.56	9.09	0.0028
2.00	0.003	11.63	0.0011	2.00	0.95	12.12	0.0048
2.50	0.005	14.54	0.0015	2.50	1.18	15.15	0.0059
3.00	0.010	17.45	0.0018	3.00	1.63	18.18	0.0082
3.50	0.100	20.35	0.0022	3.50	1.77	21.21	0.0089
4.00	0.240	23.26	0.0025	4.00	1.95	24.24	0.0098
4.50	0.580	26.17	0.0029	4.50	2.21	27.27	0.0111
5.00	0.770	29.08	0.0038	5.00	2.46	30.30	0.0123
5.50	0.970	31.99	0.0048	5.50	2.58	33.33	0.0129
6.00	1.230	34.89	0.0061	6.00	2.76	36.36	0.0138
6.50	1.570	37.80	0.0078	6.50	2.99	39.39	0.0150
7.00	1.910	40.71	0.0095	7.00	3.17	42.42	0.0159
7.36	2.140	42.80	0.0106	7.50	3.28	45.45	0.0164
-	-	-	-	8.00	3.40	48.48	0.0170
-	-	-	-	8.50	3.58	51.52	0.0179
-	-	-	-	9.00	3.70	54.55	0.0185
-	-	-	-	9.50	3.96	57.58	0.0198
-	-	-	-	10.00	4.20	60.61	0.0210
-	-	-	-	10.50	4.80	63.64	0.0240
-	-	-	-	11.00	5.12	66.67	0.0256
-	-	-	-	11.50	5.33	69.70	0.0266
-	-	-	-	12.00	5.50	72.73	0.0275
-	-	-	-	12.50	5.50	75.76	0.0275
-	-	-	-	13.00	5.51	78.79	0.0276
-	-	-	-	13.50	5.51	81.82	0.0276
-	-	-	-	14.00	5.51	84.85	0.0276
-	-	-	-	14.50	5.51	87.88	0.0276
-	-	-	-	15.00	5.51	90.91	0.0276
Carga Rotura (Tn)	9.50	Grieta Máx. (mm)	1.2	Carga Rotura (Tn)	15.00	Grieta Máx. (mm)	4

✓ **Pórtico PF-03:**

Tabla A.6. Procesamiento de datos del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en viga PF-03

Viga PF - 03 (Etapa Inicial)				Viga PF - 03 (Reforzado con CFRP)			
Radio (cm)	7.40	Área (cm ²)	171.95	Radio (cm)	7.40	Área (cm ²)	161.00
Altura (cm)	20.00	D. Lat. (mm)	2.19	Altura (cm)	19.60	D. Lat. (mm)	6
Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria	Carga (Tn)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Def. Unitaria
0.50	0.00	2.91	0.0000	0.50	0.01	3.11	0.0001
1.00	0.01	5.82	0.0007	1.00	0.27	6.21	0.0014
1.50	0.03	8.72	0.0014	1.50	0.45	9.32	0.0023
2.00	0.07	11.63	0.0020	2.00	0.60	12.42	0.0031
2.50	0.21	14.54	0.0025	2.50	0.88	15.53	0.0045
3.00	0.41	17.45	0.0030	3.00	1.09	18.63	0.0056
3.50	0.59	20.35	0.0034	3.50	1.40	21.74	0.0071
4.00	0.76	23.26	0.0038	4.00	1.74	24.84	0.0089
4.50	0.83	26.17	0.0042	4.50	2.62	27.95	0.0133
5.00	1.04	29.08	0.0052	5.00	3.58	31.06	0.0183
5.50	1.17	31.99	0.0059	5.50	3.75	34.16	0.0191
6.00	1.58	34.89	0.0079	6.00	4.06	37.27	0.0207
6.50	1.95	37.80	0.0098	6.50	4.32	40.37	0.0220
7.00	2.24	40.71	0.0112	7.00	4.60	43.48	0.0235
7.50	2.29	43.62	0.0115	7.50	4.85	46.58	0.0247
8.00	2.40	46.53	0.0120	8.00	5.16	49.69	0.0263
8.50	2.50	49.43	0.0125	8.50	5.56	52.80	0.0284
9.00	2.58	52.34	0.0129	9.00	5.81	55.90	0.0296
9.50	2.70	55.25	0.0135	9.50	6.09	59.01	0.0310
10.00	2.86	58.16	0.0143	10.00	6.35	62.11	0.0324
10.50	3.11	61.06	0.0156	10.50	6.54	65.22	0.0333
11.00	3.31	63.97	0.0166	11.00	6.68	68.32	0.0341
11.02	3.32	64.09	0.0166	11.50	6.84	71.43	0.0349
-	-	-	-	12.00	6.98	74.53	0.0356
-	-	-	-	12.50	7.19	77.64	0.0367
-	-	-	-	13.00	7.40	80.75	0.0378
-	-	-	-	13.50	7.52	83.85	0.0383
-	-	-	-	14.00	7.62	86.96	0.0389
-	-	-	-	14.50	7.82	90.06	0.0399
-	-	-	-	15.00	8.09	93.17	0.0413
-	-	-	-	15.50	8.09	96.27	0.0413
-	-	-	-	16.00	8.09	99.38	0.0413
Carga Rotura (Tn)	12.70	Grieta Máx. (mm)	0.94	Carga Rotura (Tn)	16.00	Grieta Máx. (mm)	0.01

- **Panel Fotográfico**

- a. Retiro de Pintura y Escarificado de Fisuras y Grietas**



Fotografía N°01. *Identificación de fisuras y grietas de pórticos*



Fotografía N°02. *Picado de fisuras, para su posterior reparación*



Fotografía N°03. *Remoción de daños severos de concreto*



Fotografía N°04. *Retiro de pintura y limpieza de concreto*

b. Reparación de Vigas con SikaRep 500



Fotografía N°05. *Aplicación de puente adherente (Sikadur 32), considerando el tiempo de trabajabilidad según su hoja técnica.*



Fotografía N°06. *Encofrado de vigas para colocación de SikaRep 500*



Fotografía N°07. Control de agua para la preparación del mortero



Fotografía N°08. Muestreo de mortero de reparación – ASTM C 109/109M



Fotografía N°09. Colocación del mortero en la reparación de vigas

c. Ensayo de Resistencia a Compresión de Muestras de Mortero



Fotografía N°10. Identificación y curado de muestras de mortero



Fotografía N°11. Ensayo a compresión a las 24 horas



Fotografía N°12. Ensayo a compresión a los 7 días



Fotografía N°13. *Ensayo a compresión a los 14 días*

d. Curado de Pórticos de Concreto Armado



Fotografía N°14. *Proceso de curado de pórticos*

e. Reforzamiento de Vigas con Fibra de Carbono



Fotografía N°15. *Retirado el encofrado, se eliminó los vértices y salientes con ayuda de una amoladora*



Fotografía N°16. *Reparación de pequeñas cavidades (solaqueo) con cemento portland tipo 1*

f. Aplicación de Fibra de Carbono



Fotografía N°17. Verificación de tela de fibra de carbono e imprimantes



Fotografía N°18. Verificación de medidas y traslape de fibra de carbono



Fotografía N°19. Preparación del producto MapeWrap Primer 1



Fotografía N°20. Preparación del producto MapeWrap 31



Fotografía N°21. *Aplicación de la capa inicial – MapeWrap Primer 1*



Fotografía N°22. *Aplicación de MapeWrap 31 sobre la capa de MapeWrap Primer 1*



Fotografía N°23. *Colocación de la fibra de carbono y aplicación de MapeWrap 31 en traslape de 20 cm*



Fotografía N°24. *Aplicación de la segunda capa de MapeWrap 31 sobre la fibra de carbono*



Fotografía N°25. *Con ayuda de una espátula, se aplana bien la tela eliminando arrugas o bolsas de aire*



Fotografía N°26. *Con un rodillo con tornillo sin fin de aluminio, eliminamos completamente las burbujas de aire, el rodillo se pasa solamente en la dirección de las fibras primarias de la tela*



Fotografía N°27. *Culminados los trabajos de reforzamiento, se dejó protegido las estructuras por 14 días hasta su ensayo a corte*

f. Ensayo de Vigas de Concreto Armado Reparado y Reforzado con Fibra de Carbono



Fotografía N°28. *Ensayo de pórtico PS-01*



Fotografía N°29. Ensayo de pórtico PS-02



Fotografía N°30. Ensayo de pórtico PS-03

g. Ensayo de Vigas de Concreto Armado con Adición de Fibra de Acero, Reparado y Reforzado con Fibra de Carbono



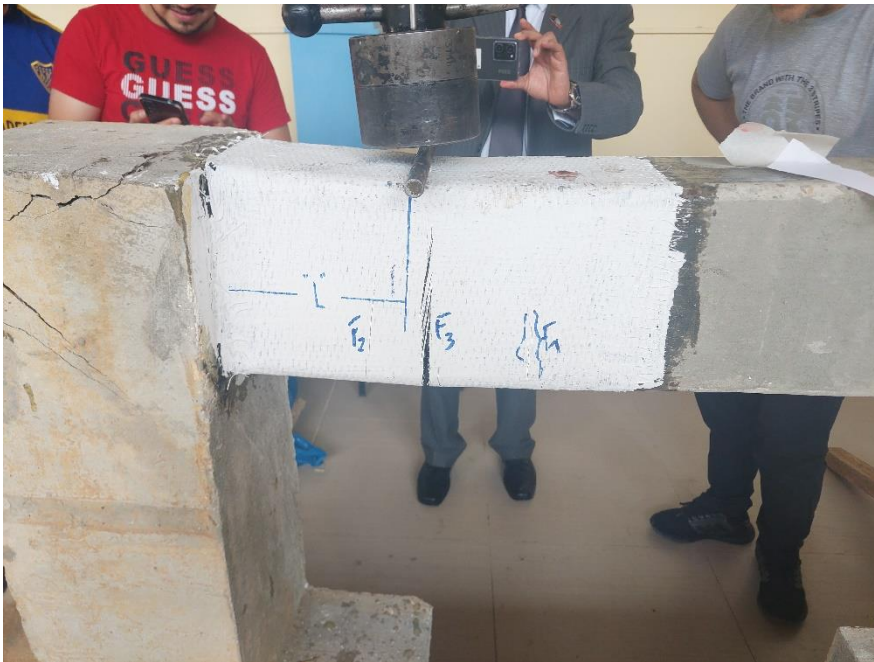
Fotografía N°31. Ensayo de pórtico PF-01



Fotografía N°32. Ensayo de pórtico PF-02



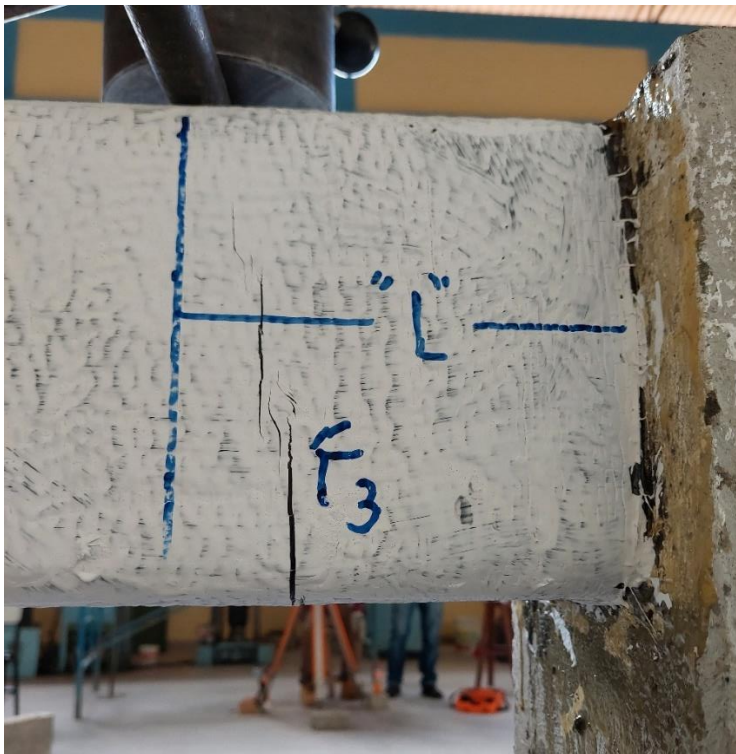
Fotografía N°33. *Ensayo de pórtico PF-03*



Fotografía N°34. *Verificación del comportamiento de la Falla al corte de Viga (Pórtico PS-01)*



Fotografía N°35. Verificación del comportamiento de la Falla al corte de Viga (Pórtico PS-02)



Fotografía N°36. Verificación del comportamiento de la Falla al corte de Viga (Pórtico PS-03)



Fotografía N°37. Verificación del comportamiento de la Falla al corte de Viga (Pórtico PF-01)



Fotografía N°38. Verificación del comportamiento de la Falla al corte de Viga (Pórtico PF-02)



Fotografía N°39. Verificación del comportamiento de la Falla al corte de Viga (Pórtico PF-03)