



## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA Y DUCTILIDAD DE VIGAS  
DE CONCRETO ARMADO CON REFORZAMIENTO DE  
FIBRAS DE CARBONO”**

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

**AUTOR:**

GUEVARA FERNANDEZ, MARLON JOEL.

**ASESOR:**

MG.ING.BENITES CHERO, JULIO CESAR.

MG.ING. LOAYZA RIVAS, CARLOS ADOLFO

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

DISEÑO SÍSMICO Y ESTRUCTURAL.

CHICLAYO – PERÚ

2018

## PÁGINA DEL JURADO



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

### ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Chiclayo, siendo las 16:00 horas del día 04 de Diciembre del 2018, de acuerdo a lo dispuesto por la Resolución de Dirección de Investigación N° 2982-2018-UCV-CH, del 03 de Diciembre, se procedió a dar inicio al acto protocolar de sustentación de la tesis titulada: "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA Y DUCTILIDAD DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON REFORZAMIENTO DE FIBRAS DE CARBONO", presentada por el Bach. GUEVARA FERNÁNDEZ MARLON JOEL con la finalidad de obtener el Título de Ingeniero Civil, ante el jurado evaluador conformado por los profesionales siguientes:

- Presidente: Mg. Ramírez Muñoz Carlos Javier
- Secretario: Mg. Benites Chero Julio César
- Vocal: Dr. Loayza Rivas Carlos Adolfo
- 

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas efectuadas por los miembros del jurado se resuelve:

Aprobar por Mayoría.

Siendo las 17:00 horas del mismo día, se dio por concluido el acto de sustentación, procediendo a la firma de los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

Chiclayo, 04 de Diciembre del 2018

Mg. Ramírez Muñoz Carlos Javier  
Presidente

Mg. Benites Chero Julio César  
Secretario

Dr. Loayza Rivas Carlos Adolfo  
Vocal

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Gerardo Guevara Pérez y Esmeria Fernández Jara por su apoyo incondicional que me brindan sus consejos su preocupación y su dedicación.

A mi hermano Omar Guevara Fernández, un gran compañero, y a todos mis familiares que se preocupan por mí y me demuestran su apoyo incondicional.

**MARLON**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, a Dios, por las oportunidades del día a día.

A mis padres: Gerardo Guevara Pérez y Esmeria Fernández Jara, por el apoyo incondicional que me brindan para surgir profesionalmente.

A mi hermano Omar Guevara Fernández, y a mis familiares quienes en todo momento confían en mi persona, brindándome lo que a su disposición está.

**MARLON**

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

### DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo MARLON JOEL GUEVARA FERNANDEZ identificado con DNI N° 77280572, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Pimentel, 16 de Mayo del 2018



MARLON JOEL GUEVARA FERNANDEZ

v

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada "Análisis de la resistencia y ductilidad de vigas de concreto armado con reforzamiento de fibras de carbono", la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniero Civil.

**MARLON JOEL GUEVARA FERNANDEZ**

# ÌNDICE

PÁGINA DEL JURADO .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD .....	v
PRESENTACIÓN .....	vi
ÌNDICE .....	vii
RESÙMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. Realidad Problemática.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. Trabajos previos.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3. Teorías relacionadas al tema.....</b>	<b>21</b>
<b>1.4. Formulación del problema .....</b>	<b>25</b>
<b>1.5. Justificación del estudio.....</b>	<b>25</b>
<b>1.6. Hipótesis.....</b>	<b>26</b>
<b>1.7. Objetivos. ....</b>	<b>26</b>
<b>II. METODO .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1. Diseño de investigación. ....</b>	<b>27</b>
<b>2.2. Variables, Operacionalizacion.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3. Población y muestra.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, valides y     confiabilidad.....</b>	<b>31</b>
<b>2.5. Método de análisis de dato.....</b>	<b>31</b>
<b>2.6. Aspectos éticos.....</b>	<b>31</b>
<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
<b>IV. DISCUSION.....</b>	<b>37</b>

<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	39
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	40
<b>VII. REFERENCIAS</b> .....	41
<b>VIII. Anexos</b> .....	44
<b>AUTORIZACION DE PUBLICACION DE TESIS</b> .....	107
<b>ACTA DE APROBACION DE ORIGINALIDAD DE TESIS</b> .....	108

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Muestreo De Las Diferentes Vigas a Diseñar .....	30
Tabla 2: Resumen Comparativo Entre $MN'/MN - \Phi'/\Phi$ .....	32

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Grafica de Momento vs Curvatura del diseño A (<math>2\phi 3/4''</math>).....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 2: Grafica de Momento vs Curvatura del diseño B (<math>4\phi 3/4''</math>).....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 3: Grafica de Momento vs Curvatura del diseño C (<math>6\phi 3/4''</math>).....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 4: Influencia en la Resistencia de las Secciones Reforzadas. ....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 5: Influencia en la Ductilidad de las Secciones Reforzada. ....</b>	<b>35</b>
<b><i>Figura 6: DIFERENCIAS DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE FIBRAS DE CARBONO.....</i></b>	<b>36</b>

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1: Diagrama de Momento y Curvatura de las Diferentes Secciones: A (<math>2\phi 3/4''</math>), B (<math>4\phi 3/4''</math>) y C (<math>6\phi 3/4''</math>)</b> .....	
44	
<b>Anexo 2: Cuadros Comparativos de los 3 Diseños (a, b y c), con respecto a su Momento y Curvatura.</b> .....	57
<b>Anexo 3: Resumen del Momento Curvatura del Diseño A.</b> .....	59
<b>Anexo 4: Resumen del Momento Curvatura del Diseño B.</b> .....	62
<b>Anexo 5: Resumen del Momento Curvatura del Diseño C.</b> .....	65
<b>Anexo 6: Cuadros comparativos de los 3 diseños (a, b y c), con respecto a su cuantía de acero y area de fibra de carbono.</b> .....	68
<b>Anexo 7: Cuadros Comparativos de los 3 Diseños (a, b y c), con respecto a su Momento y Ductilidad.</b> .....	70
<b>Anexo 8: Grafico Comparativo del Diseño a (<math>2\phi 3/4''</math>), con respecto a su Momento y Curvatura.</b> .....	72
<b>Anexo 9: Grafico Comparativo del Diseño b (<math>4\phi 3/4''</math>), con respecto a su Momento y Curvatura.</b> .....	74
<b>Anexo 10: Grafico Comparativos del Diseño c (<math>6\phi 3/4''</math>), con respecto a su Momento y Curvatura.</b> .....	76
<b>Anexo 11: Grafico Comparativo con respecto a su Momento inicial y su Momento final de los diseños a, b y c vs su Area de Fibra de Carbono.</b> ..	78
<b>Anexo 12: Grafico comparativo con respecto a su Curvatura inicial y sus Curvatura final de los Diseños A, B y C vs su area de fibra de carbono.</b> .	80
<b>Anexo 13: Grafico comparativo de Momentos vs Ductilidad de los 3 Diseños (a, b y c).</b> .....	82
<b>Anexo 14: Grafico Comparativo de las Resistencias entre los Diferentes sistemas de fibra de carbono.</b> .....	84
<b>Anexo 15: Grafico Comparativo de las Ductilidades entre los Diferentes Sistemas de Fibra de Carbono.</b> .....	86
<b>Anexo 16: Grafico Comparativo de Resistencia vs Ductilidad de los Diferentes Sistemas de Fibras de Carbono.</b> .....	88
<b>Anexo 17: Diseño de las Vigas de Concreto Armado, de las series A, B y C.</b> .....	90

**Anexo 18: Ejemplo Aplicativo** ..... 97

## **INDICE DE CUADROS**

<b>CUADRO 1: CUADRO DE OPERACIONALIZACION DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.....</b>	<b>28</b>
<b>CUADRO 2: CUADRO DE APERACIONALIZACION DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE .....</b>	<b>29</b>

## RESUMEN

La presente investigación emplea información numérica específicamente diagrama de momento y curvatura para analizar el comportamiento a flexión de una viga de concreto armado reforzada externamente con fibras de carbono (CFRP), con la objetivo de determinar la resistencia y ductilidad de las vigas de concreto armado reforzadas con fibras de carbono.

Se tomó en cuenta la información disponible del ACI 440.2R-08 para las propiedades de la fibra de carbono (CFRP), investigaciones anteriores y de autores de renombre con publicaciones sobre el tema para estudiar los tipos de falla, así como la Normativa Peruana E.030 y la Normativa ACI- 318, para las propiedades de los materiales como el concreto y el acero.

Después de evaluar el comportamiento y la influencia de la fibra de carbono como reforzamiento estructural y el comportamiento elástico e inelástico de la viga de concreto armado, con diferentes cuantías de acero, se hizo una comparación para medir en que porcentaje influye el sistema de fibras de carbono (CFRP) y las cuantías de acero utilizado. La investigación demuestra que existe una relación inversamente proporcional entre el refuerzo de fibras de carbono (CFRP) y la cuantía de acero, y propone así un sistema más favorable para disipar energía de deformación, orientado a un óptimo diseño sismo- resistente.

**PALABRAS CLAVES:** Momento y Curvatura, Resistencia, Ductilidad, Rigidez, axial

## ABSTRACT

The present investigation uses numerical information specifically diagram of moment and curvature to analyze the behavior to flexion of a reinforced concrete beam reinforced externally with carbon fibers (CFRP), with the objective of determining the strength and ductility of reinforced reinforced concrete beams with carbon fibers.

The available information of the ACI 440.2R-08 for the properties of the carbon fiber (CFRP), previous investigations and of renowned authors with publications on the subject to study the types of failure, as well as the Peruvian Regulation E was taken into account. .030 and ACI-318, for the properties of materials such as concrete and steel.

After evaluating the behavior and influence of the carbon fiber as structural reinforcement and the elastic and inelastic behavior of the reinforced concrete beam, with different amounts of steel, a comparison was made to measure in what percentage the fiber system influences carbon (CFRP) and the amounts of steel used.

The research shows that there is an inversely proportional relationship between carbon fiber reinforcement (CFRP) and the amount of steel, and thus proposes a more favorable system to dissipate deformation energy, oriented to an optimal seismic-resistant design.

**KEY WORDS:** Moment and Curvature, Resistance, Ductility, Rigidity, axial

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática.**

Los elementos de concreto armado con el pasar del tiempo suelen presentar ciertas patologías estructurales por causa de déficit de diseño, fallas constructivas, calidad no óptima de los materiales, cambio de uso de la estructura, falta de mantenimiento, factores ambientales, entre otras, que pueden originar un aumento en la carga última de la estructura.

Es por ello que se refuerza y repara, uno de los métodos es el reforzamiento exterior mediante el uso de fibras de carbono dependiendo la condición de falla que se presenta, sea flexión o corte.

En la ciudad de Chiclayo es notorio la presencia de edificaciones esenciales como el hospital "LAS MERCEDES" el cual está en un estado casi inhabitable y dado que es una edificación monumental no se permite el derrumbe o la reconstrucción de dicha edificación, para estos casos podría plantearse un reforzamiento de sus estructuras con fibras de carbono.

En la línea 2 del metropolitano (Ciudad de Lima) muchas de sus estructuras de concreto armado fueron reforzadas con fibras de carbono ya que aparte de aumentar su resistencia y ductilidad, esta presenta una alta resistencia al calor, proporcionando así un mayor grado de seguridad contra incendios.

El parque industrial de la Ciudad de Bogotá (Colombia), en el año 2011 fue reforzada con fibra de carbonos todas sus vigas de concreto armado con el objetivo de aumentar su resistencia de la edificación.

Es por ello que el sistema de fibra de carbono como reforzamiento estructural, es un sistema que ha tenido acogida y permite mitigar todos los factores mencionados anteriormente, su facilidad en la instalación y su excelente resistencia a la flexión, se optó como finalidad de estudio del presente proyecto de investigación el uso de sistema de fibra de

carbono como reforzamiento estructural en vigas de concreto armado a sometidos a flexión.

Algunos proyectistas plantean también la necesidad de proteger con láminas de fibras de carbono monumentos históricos y culturales, que por normativa no pueden ser derrumbados o remodelados

En los últimos 10 años cada vez es más frecuente en el Perú el uso de sistemas de reforzamiento estructural basados por materiales compuestos de alta tecnología que presentan innumerables ventajas frente a los métodos convencionales.

Por esta razón el presente trabajo amplía el estudio y análisis de elementos de concreto armado deteriorados por el aumento de cargas de servicio en cuanto a flexión, permitiendo reforzar con tela de fibras de carbono, como una alternativa fácil y practica para este tipo de patología estructural.

## **1.2. Trabajos previos.**

### **1.2.1. A nivel Internacional**

(Beltran Riveros, 2011 pág. 24).En la tesis titulada: “ Uso de fibras de carbono como reforzamiento a flexión en vigas de concreto armado”, tesis que fue mostrada para optar el título de ingeniero civil en la Universidad de la Salle, Bogotá-Colombia, cuyo objetivo general fue: “ Determinar el comportamiento de una viga de concreto armado fisuradas por el efecto de la flexión, cuando se refuerza con una tela unidireccional fabricada en fibra de carbono (sikaWrap 103C), donde concluyo que:” la utilización de materiales elaborados con fibra de carbono, en este caso SikaWrap 103C adherido en una matriz de epóxico Sikadur - 301, como reforzamiento estructural a flexión en elementos de concreto armado es muy eficaz, sobre todo al presentarlo como una metodología estructurales de reforzamiento típico, para que garantice una adecuada adherencia”

Con este aporte el autor comprobó a través de pruebas en laboratorio que una viga con reforzamiento de fibra de carbono (sikawarp 103C), mostro un incremento significativo de 66.05% en la resistencia a la flexión con respecto a la viga sin reforzar. También pudo demostrar que

para desarrollar el reforzamiento a flexión con fibra de carbono es importante tener en cuenta que la aplicación de este procedimiento se debe realizar en húmedo, ya que este procedimiento de aplicación ofrece una mayor seguridad en la adherencia y previene el desprendimiento de la fibra de carbono del sustrato de concreto en los apoyos.

(Lopez Roman, 2015 pág. 15). En su tesis “Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: influencia del tipo y consumo de fibra adicionado” para optar el grado de Maestro en Ingeniería presentado a la Universidad Nacional Autónoma de México, tuvo como objetivo “estudiar el efecto de la adición de fibras, de acero y de polipropileno, sobre las propiedades del concreto”, mediante la fabricación de mezclas de concreto con agregado grueso de origen calizo de 3/8” en total se fabricaron ocho mezclas. Concluye respecto a las propiedades plásticas del concreto reforzado con macrofibras de polipropileno, que la elaboración del concreto se disminuye de forma con respecto al consumo de fibras, proporcionalmente, esto sucede en acero como en polipropileno, sin embargo, la trabajabilidad es menor cuando se adicionan varillas de menor dimensión de acero.

Con este aporte el autor demostró que la resistencia a flexión se aumenta distributivamente al uso de fibra; de igual manera, la proporción que simboliza la resistencia a flexión con respecto a la de compresión incrementa con el uso de la fibra de carbono. Para fibras de hasta 0.51% de porcentaje, existe un mejor desempeño de las macrofibras de polipropileno; para resultados mayores, el desempeño del concreto con varillas de acero suelen a ser más eficiente.

(Manzano Valbuena, 2014 pág. 4). En su tesis “Evaluación del Efecto en la Contracción del Concreto con Fibras Estructurales de Polipropileno” para optar el título profesional de Ingeniero Civil presentado a la Pontificia Universidad Javeriana, que tuvo como objetivo “Evaluar el efecto de las fibras de polipropileno en la contracción plástica en una mezcla de concreto”, estos pueden ser usados con objeto de evitar

fenómenos perjudiciales que disminuyen la durabilidad de los elementos construidos en concreto, da a entender cuáles son los fenómenos que vinculados a la retracción del concreto pueden ser mitigados mediante el uso de fibras adentro de la mezcla. Concluye que, mezclas con cuantías de fibras de polipropileno iguales y entre  $2.4\text{Kg/m}^3 - 2.8\text{Kg/m}^3$ , son muy eficaces en la moderar de las fisuras por contracción plástica, disminuyen al 80% el área perjudicada por fisuras producidas por la convulsión plástica y su producto final será mejor comparándolo con un concreto fabricado con refuerzo de malla electro soldada. El ancho intermedio de la fisura se disminuye en más del 95% cuando al incrementar la de fibras de polipropileno tiene una cuantía de  $3.2\text{Kg/m}^3$ , estas fisuras no se perciben con facilidad y pueden tomarse en el aspecto estético como admisible.

#### **1.2.2. A nivel Nacional:**

(Alegre Gago, 2017 pág. 8) En su tesis titulada: "Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamientos de vigas de concreto armado", cuyo objetivo general fue: "Demostrar el comportamiento elástico e inelástico de vigas de concreto armado sometidas a flexión y reforzadas con fibras de carbono", donde concluyo que: "El refuerzo de fibra de carbono (CFRP) incrementa la resistencia de las secciones de concreto armado trabajando a flexión. En las secciones con menor área acero, la fibra de carbono tiene una mayor dominio en el aumento de su resistencia, esto se debe a que la fibra de carbono y el acero poseen rigideces similares. El aumento de la resistencia a flexión logra un obtiene de 58.9% para la sección con menor área de acero, y en el caso de la sección de mayor área de acero, el aumento de la resistencia obtiene un valor de 18.4%. Deduciéndose así que el comportamiento de la fibra de carbono es prácticamente lineal hasta su falla, no incursiona en el rango no lineal, por lo que es considerado un material frágil".

También se concluyó que el refuerzo de fibra de carbono reduce la ductilidad de la sección de la viga de concreto armado. Verificándose así que la sección con menor cuantía de acero consigue un valor de 18.4% de su ductilidad inicial, y en el caso de la sección con mayor cuantía de

acero de refuerzo adquiere un valor de 60.3% de su ductilidad inicial. Por lo que se discute que en secciones de mayor área de acero de refuerzo, la reducción de la ductilidad inicial incrementa en la sección con menor cuantía de acero de refuerzo. Asimismo se confirmó que al reforzar las secciones de concreto armado con mayor área de fibra de carbono, la ductilidad es decreciente en relación a la ductilidad que se obtiene al no usar fibra de refuerzo.

(Calla Deza, 2015 pág. 37) En su tesis titulada: “Reforzamiento por flexión de vigas de concreto armado con fibras de carbono”, que tuvo como objetivo general: “Ver el grado de reforzamiento que ofrece la fibra de carbono como reforzamiento estructural” donde concluyo que:” En las vigas simplemente reforzadas, el momento resistente calculado bajo la normativa NTE E.060 presenta un 15% a 20% de porcentaje de seguridad, según las vigas rotas en laboratorio. También están presentes una gran cantidad de ductilidad de disposición de 2 – 3 antes de que esta colapse”, también se pudo presentar la calidad del reforzamiento con fibra de carbono trabajando a flexión, ya que en todas las vigas ensayadas se obtuvo momentos resistentes mayores, llegando así a un aumento cercano de 30% a 40% en comparación a las que no fueron reforzadas.

Su aporte fue de importancia porque también se pudo verificar en los ensayos en laboratorio que las vigas de concreto armado reforzadas con fibra de carbono aumentaban un 10% de la resistencia última, por lo que se concluye que es posible reforzar estructuras con menor calidad de concreto.

(Perez Loayza, 2015 pág. 36) Un su estudio que lleva por nombre “Diseño y Obtención de Concretos Fibroreforzados” a cargo del Master en Ing. Héctor Pérez Loayza, docente de la Facultad de Ingeniería, quien menciona que la tecnología que incluye el uso de fibra vegetal en el concreto se desarrolló con el propósito de mejorar las propiedades del mismo, para ser usado en cualquier elementos estructurales.

La ventaja de esta iniciativa es que se aprovecha recursos renovables, menos costosos y que requieren menor energía. Además, la investigación arrojó resultados positivos que indican el mejoramiento de las propiedades del concreto.

Al adicionar una fibra natural se potencia el desempeño del concreto ante una carga y una fisuración controlada, pues se genera una resistencia residual para que la estructura no colapse súbitamente, pues estos materiales la hacen más elástica y de mayor soporte al fracturamiento total.

### **1.2.3. A nivel Regional:**

(Armas Aguilar, 2016 pág. 26) En su tesis titulada: "Efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico", cuyo objetivo general fue: "Estudia los efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico, con la finalidad de reducir el potencial de fisuración en estructuras de concreto, por contracción, plástica, autógena, térmica, carbonatación", donde concluyo que: "Al realizar diseños de mezclas estándar  $f'c$  175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup>, que fueron patrón de comparación con las mezclas que tuvieron adición de fibra de polipropileno, permitieron determinar la influencia de la fibra sobre las propiedades plásticas y mecánicas del concreto. Los diseños patrones fueron adicionados con fibra de polipropileno en proporciones en peso de 200, 300, y 400 gr por m<sup>3</sup> de concreto"

Con este aporte el autor demostró que la adición de fibra de polipropileno reduce el contenido de aire, consecuentemente también lo hace con la permeabilidad, una dosis de 400 gr/m<sup>3</sup> en la Región Lambayeque garantiza una reducción del potencial de fisuración hasta en un 90% en condiciones ambientales reales.

(Vela Requejo, 2016 pág. 29) En su Tesis titulada: "Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto adicionado con fibra de estopa de coco" tesis que fue presentada para obtener el título profesional de ingeniero civil en la universidad Señor de Sipan, Lambayeque, cuyo objetivo general fue: "Evaluar las propiedades mecánicas del concreto

incorporando fibra de estopa de coco”, donde concluyo que:” Sobre las propiedades mecánicas del concreto en estado fresco del concreto convencional adicionado con fibra de estopa de coco, se debe decir que la Temperatura, el contenido de aire y el peso unitario son propiedades que casi y se mantienen constantes.

Pero sobre el Slump tenemos que decir que a mayor volumen de fibra agregada la trabajabilidad baja”.

Con este aporte el autor demostró que al realizar el diseño del concreto adicionado con fibra de estopa de coco se recomienda diseñar con un SLUMP mayor, para así tener una mejor trabajabilidad del concreto y recomienda usar las fibras de estopa de coco para adición en concretos ya que incrementa la resistencia a la compresión a la tracción por compresión diametral y flexión.

(PATAZCA ROJAS, 2013 pág. 11) En su tesis titulada “Evaluación comparativa de la resistencia a compresión y a flexión del concreto convencional, concreto con fibra de acero sikafiber cho 80/60 nb, y concreto con fibra sintética sikafiber forcé pp/pe-700/552” tesis que fue presentada para optar el título de ingeniero civil ante la universidad Señor de Sipan, cuyo objetivo general fue:” Evaluar y comparar la resistencia a compresión y a flexión del concreto convencional, concreto con fibra de acero sikafiber cho 80/60 nb, y concreto con fibra sintética sikafiber forcé pp/pe-700/55” donde concluyo que “El uso de fibras de acero como sintéticas aumentan la resistencia a flexión del concreto, siendo la fibra de acero dosis 3 = 45 kg/cm<sup>2</sup> con la que se obtuvo mejores resultados”

Con este aporte el autor demostró que el uso de las fibras de acero como sintéticas, no influyen en el aumento de la resistencia a compresión, pero si influye notoriamente en la resistencia a flexión.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

(Alegre Gago, 2017 pág. 64) En su tesis titulada:” Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de fibras de carbono utilizadas como reforzamientos de vigas de concreto armado” el autor demuestra a través de diagramas de momento curvatura la resistencia y ductilidad que

aportan la fibra de carbono como reforzamiento en vigas de concreto armado, hace una comparación de vigas con y sin refuerzo de fibra de carbono y concluye que estas aportan una resistencia de 58.9% a las secciones de menor cuantía y de un 18.4% a secciones de mayor cuantía; por el contrario con su ductilidad a secciones de menor cuantía esta aumenta tan solo un 18.4% y en secciones de mayor cuantía aumenta un 60.3% de su valor inicial.

### **1.3.1. Parámetros para el diseño de estructuras de concreto armado.**

Para el diseño de estructuras de concreto armado se tiene que tener conceptos previos de los materiales de construcción, algunos de ellos ya conocidos y normados por el ACI 318-14 como son la resistencia especificada a la compresión del concreto ( $f'_c$ ), módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ), módulo de ruptura del concreto ( $F_r$ ), concreto liviano ( $\lambda$ ), deformación unitaria de fluencia de acero ( $f_y$ ), deformación unitaria del concreto ( $\xi_{cu}$ ).

#### **A. Resistencia Especificada a la compresión del concreto ( $f'_c$ ).**

Los requerimientos normados para mezclas de concreto se establecen en los parámetros de resistencia y durabilidad óptima. La norma ACI 318s-14 define un valor mínimo de  $f'_c$  para concreto estructural.

El valor de  $f'_c$  debe ser especificada en los documentos de construcción

#### **B. Módulo de Elasticidad del Concreto**

El módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ) s

Esta dado por la pendiente trazada desde un esfuerzo nulo hasta un esfuerzo de compresión de  $0.45 f'_c$ . Todos los módulos de elasticidad son independientes es decir el módulo de elasticidad del concreto es independiente a de los agregados y la dosificación y de la mezcla de concreto (“American Concrete Institute, 2015”). Para el cálculo del módulo de elasticidad se pueden emplear dos formas:

- Para concreto de Peso normal (aproximadamente  $2300 \text{ kg/cm}^2$ )

$$E_c = 15000 \sqrt{f'_c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}.$$

### C. Módulo de ruptura del concreto

El módulo de ruptura ( $f_r$ ), para concreto se calcula de la siguiente manera:

$$f_r = (2) \sqrt{f'_c} (kN/m^2)$$

### D. Deformación Unitaria de Fluencia del Acero:

La deformación unitaria se define como la diferencia

Entre la deformación total y la longitud del elemento, siendo  $\epsilon_s = \frac{\Delta L}{L_0}$

y siendo el valor de  $\epsilon_s = \frac{f_s}{E_s}$ , la fuerza que se desarrolla en el refuerzo

sometido a compresión se condiciona de las siguientes maneras:

Si  $\epsilon_s < \epsilon_y$  (deformación unitaria de fluencia)

$$f_s = E_s \epsilon_s$$

$$f_s = E_s \epsilon_s$$

Si  $\epsilon_s \geq$

$$f_s = f_y$$

$\epsilon_y$

### E. Deformación unitaria a Tracción del Concreto.

Muchos autores definen que la resistencia a tracción del concreto es el 10% de su  $f'_c$ , la a tracción del concreto está dado por la ecuación:

$$\epsilon'_c = \frac{1.7 * f'_c}{E_c}$$

## 1.3.2. RESISTENCIA EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO.

### A. RESISTENCIA REQUERIDA

La resistencia requerida es la resistencia que un elemento o sección transversal debe de tener para resistir los momentos, según lo estipulado en la norma peruana E.060 Concreto Armado y la norma ACI 318-14.

### B. RESISTENCIA NOMINAL

Es la resistencia meta del elemento, calculada frente a un modelo

matemático, el cual se elabora teniendo en cuenta una combinación de solicitudes.

### **C. RESISTENCIA DE DISEÑO**

Es dado por la resistencia nominal multiplicado por un factor de reducción según sea el caso (flexión o corte) normado en la E.060 concreto Armado y la ACI 318-14.

#### **1.3.3. DUCTILIDAD EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO.**

##### **A. DUCTILIDAD EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO.**

Cuando se refuerzan elementos estructurales con FRP adherido externamente, se reduce la ductilidad en secciones, muchas veces de manera no tan significativa sin embargo, cuando la ductilidad es muy baja debe de compensarse con una alta reserva de resistencia la cual se logra a través de un factor de reducción de resistencia a flexión  $\phi$ , el cual se determina según el nivel de deformación del acero en estado ultimo (ACI 440,2008).

##### **B. LIMITES DE ESFUERZO DE ROTURA POR FLUENCIA PLASTICA Y DE FATIGA.**

Para prever la rotura por fluencia del refuerzo de fibra de carbono bajo esfuerzos de falla debido a esfuerzos cíclicos, los niveles de esfuerzos de la fibra de carbono (FRP) bajo dichas condiciones de cargas deben ser comprobadas. Debido a que esos niveles de esfuerzo pueden ser calculados utilizando un análisis estático.

#### **1.3.4. PARAMETROS DE DISEÑO CONSTRUCTIVO DE SISTEMA DE REFORZAMIENTO CON FIBRA DE CARBONO.**

##### **A. Resistencia a la tracción.**

Para el cálculo de resistencia a la tracción se utiliza la siguiente formula:

$$A_{FRP} = \Delta M / \phi * \epsilon_{FRP} * 0.9 * h (\epsilon_{FRP}^2).$$

##### **B. NIVEL DE DEFORMACION EN EL ESFUERZO FRP.**

Se define como deformación máxima o nivel de deformación efectiva en el refuerzo FRP en el estado límite último puede ser determinada a partir de la siguiente ecuación:

##### **C. AREA DE REFUERZO DE FIBRA DE CARBONO.**

Se define el área de reforzamiento de fibra de carbono con la siguiente formula:

$$A_s = \rho_s \cdot A_c$$

$$(1.3.2)$$

#### D. Deformación de la delaminación de la fibra de carbono

La delaminación de la cobertura o desprendimiento de la fibra de carbono (FRP) puede ocurrir si la fuerza en fibra no puede ser sostenida por el sustrato. (American Concrete Institute, 2008). La deformación de delaminación de la fibra CFRP se define por la siguiente ecuación:

$$\epsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'_c}{n_c \cdot E_f \cdot t_f}} \leq 0.9 \cdot \epsilon_{fu} \quad (\text{en unidades SI})$$

### 1.3.5. TIPOS DE FALLAS EN LA FIBRAS DE CARBONO (FRP)

#### A. Tipo de falla A.

Fluencia del acero de refuerzo seguido de la ruptura de la fibra de carbono.

#### B. Tipo de falla B.

Fluencia del acero de refuerzo seguido del despeje o delaminación de la fibra de carbono.

#### C. Tipo de falla C

Fluencia del acero de refuerzo seguido del aplastamiento del concreto.

#### D. Tipo de falla D.

Aplastamiento del concreto sin fluencia de acero.

### 1.4. Formulación del problema

¿En qué porcentaje aumenta la resistencia y ductilidad de vigas de concreto armado con reforzamiento de fibras de carbono?

### 1.5. Justificación del estudio.

El presente estudio utilizará como materia de investigación la metodología del reforzamiento de fibras de carbono utilizado como refuerzo estructural; el sistema de reforzamiento con fibras de carbono es muy usado en la actualidad en elementos con fallas estructurales,

debido a que es un sistema práctico, de fácil aplicación e instalación de los materiales que lo envuelven.

Por ello, se tendrá en cuenta investigaciones realizadas anteriormente por revistas de tipo ingenieril para guiar, de manera adecuada, el desarrollo de la presente investigación.

Lo podemos justificar de las siguientes formas:

- **TÉCNICAS:** Al ser un material de fácil instalación, ayuda a ahorrar tiempo en el proceso de instalación a comparación con otras técnicas de reforzamiento estructural como el encamisado.
- **SOCIAL:** Al ser un material de reforzamiento estructura, mejorara la ductilidad y resistencia de las estructuras, en un País con zonas sísmicas como el nuestro y con muchas edificaciones que han sido construidas por mano de obra no calificada, con muy poca experiencia profesional y sin respeto alguno de normas o reglamentos. Esto podría ser una buena opción para edificaciones que están consideradas como patrimonio cultural y por ende no se le permite el derrumbe ni restauraciones que atenten contra el diseño y pintura original.
- **ECONOMICO:** Al reducir tiempo en procesos constructivos, esta técnica se hace muy económica volviéndose así de fácil accesibilidad.
- **CIENTIFICA:** La fibra de carbono por sus propiedades de resistencia, propiedades anticorrosivas, resistencia y ductilidad, son trabajadas en diferentes campos como la industria aeroespacial, aeronáutica, aviación comercial, automovilismo y la ingeniería civil.

## 1.6. Hipótesis.

Si, se aplica tela de fibra de carbono como recubrimiento en las vigas; entonces; aumenta su resistencia y ductilidad a flexión.

## 1.7. Objetivos.

### 1.7.1. Objetivo General.

- Determinar la resistencia y ductilidad de vigas de concreto armado reforzadas con fibras de carbono sometidas a flexión.

### 1.7.2. Objetivos Específicos

- Describir los parámetros de diseño de una viga de concreto armado.
- Interpretar el comportamiento del diagrama momento curvatura de una viga de concreto armado.
- Constatar la resistencia en función de los momentos iniciales de las vigas de concreto armado reforzadas con fibras de carbono.
- Verificar la ductilidad en función de la cuantía de acero de refuerzo y de la cuantía de fibra de carbono de una viga de concreto armado.
- Evaluar el aporte de la fibra de carbono sobre la viga de concreto armado.

## II. METODO

### 2.1. Diseño de investigación.

Atiende al tipo de investigación seleccionada se utilizará el diseño descriptivo con propuesta.

**M** ← **Ox..... PD**

**M**= Muestra del Estudio.

**Ox**= Resultados de análisis y ductilidad que recopilamos del diagrama de momento curvatura.

**Pd**: Análisis de la resistencia y ductilidad de vigas de concreto armado con recubrimiento de fibras de carbono.

### 2.2. Variables, Operacionalización.

#### 2.2.1. Variables.

- a) Variable Independiente:** Análisis de la resistencia y ductilidad de vigas de concreto armado.
- b) Variable dependiente:** Reforzamiento de fibra de carbono.

**CUADRO 1: CUADRO DE OPERACIONALIZACION.**

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
<p align="center">VARIABLE DEPENDIENTE ANÁLISIS DE RESISTENCIA Y DUCTILIDAD DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO</p>	<p>RODRIGUEZ Morales. S. resistencia y Ductilidad en Estructuras de Concreto Armado. Madrid: Universidad politécnica de Madrid, 2015, 147pp. Define como ductilidad a las propiedades de los materiales de experimentar deformaciones sin llegar a romperse debida a la aplicación de una carga mantenida en el tiempo. Un elemento dúctil es aquel que ha sido diseñado para admitir deformaciones inelásticas, sin que esto implique una degradación significativa ni en su resistencia ni en su rigidez.</p>	<p>Los <b>parámetros de diseño</b> nos permiten diseñar una estructura de concreto armado, la <b>resistencia y ductilidad</b> es una de las propiedades que poseen los materiales para deformarse plásticamente, es decir, la relación entre la deformación última y la deformación en el punto de cadencia. También podemos decir que es la cantidad de energía que un material absorbe antes de fallar.</p>	<p><b>A) Parámetro de Diseño</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Resistencia Especificada a la compresión del concreto (<math>f'c</math>).</li> <li>- Modulo de elasticidad del concreto (<math>E_c</math>).</li> <li>- Modulo de ruptura del concreto (<math>F_r</math>).</li> <li>- Deformación unitaria de fluencia del acero (<math>f'y</math>).</li> <li>- Deformación unitaria a tracción del concreto.</li> </ul>	<p align="center">INTERVALO</p>
			<p><b>B) RESISTENCIA</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Resistencia requerida.</li> <li>-Resistencia nominal.</li> <li>-Resistencia de diseño.</li> </ul>	
			<p><b>C) DUCTILIDAD</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ductilidad en vigas.</li> <li>- Limites de esfuerzo de ruptura por fluencia plástica y de fatiga.</li> </ul>	

Fuente: Elaborado por el investigador.

**CUADRO 2: CUADRO DE APERACIONALIZACION**

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
<p align="center">VARIABLE INDEPENDIENTE <b>REFORZAMIENTO DE FIBRA DE CARBONO.</b></p>	<p>ALEGRE Gago. G. Fibras de Carbono utilizadas como Reforzamiento de Vigas de Concreto Armado. Lima: Pontificia universidad católica del Perú. Define que el refuerzo de fibra de carbono (CFRP) incrementa la resistencia de los elementos de concreto armado sometidas a flexión. En el caso de secciones con menor acero de refuerzo, la fibra de carbono tiene un porcentaje mayor de influencia en el incremento de su resistencia.</p>	<p>Los <b>sistemas de reforzamiento con fibras de carbono</b> como reforzamiento estructural de vigas ayuda a aumenta la resistencia a compresión y flexión, mitigando así los esfuerzos por cargas de diseño o uso, también es usado para elementos estructurales que han sido elaborado con materiales pobres y de baja resistencia.</p>	<p>A) REFORZAMIENTO CON FIBRA CON CARBONO (FRP)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistencia a la tracción.</li> <li>- Nivel de deformación en el esfuerzo FRP.</li> <li>- Área de refuerzo de fibra de carbono.</li> <li>- Deformación de la delaminación de la fibra de carbono.</li> <li>- Resistencia nominal de la viga reforzada con FRP.</li> <li>- Nivel de esfuerzo en el refuerzo de FRP.</li> <li>-Factor de reducción de las fuerzas.</li> </ul>	<p align="center">INTERVALO</p>
			<p>B) TIPOS DE FALLAS EN LA FIBRAS DE CARBONO (FRP)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tipo de Falla A</li> <li>-Tipo de Falla B</li> <li>-Tipo de Falla C</li> <li>-Tipo de Falla D</li> </ul>	

Fuente: Elaborado por el investigador.

## 2.3. Población y muestra.

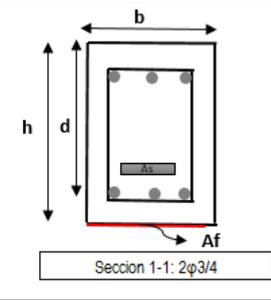
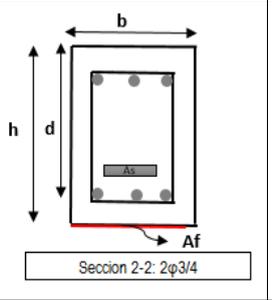
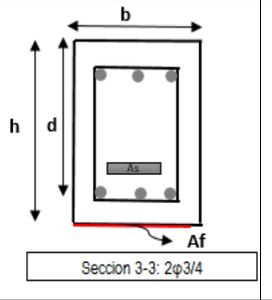
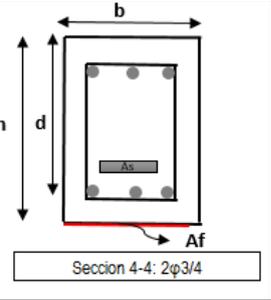
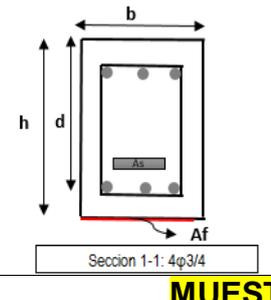
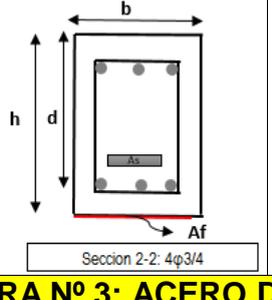
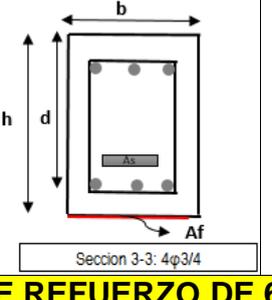
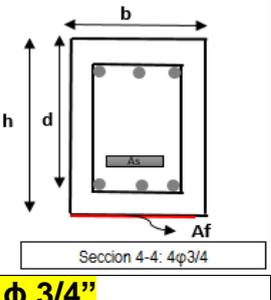
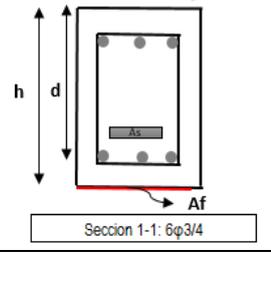
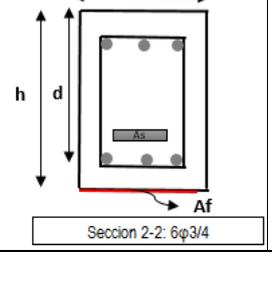
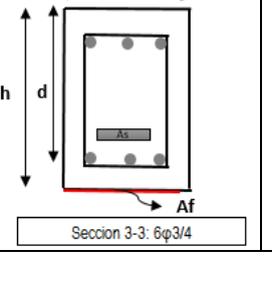
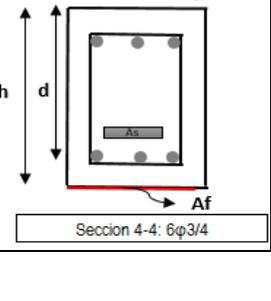
### 2.3.1. Población.

Vigas de concreto armado.

### 2.3.2. Muestra.

La conforman 12 diseños de vigas de concreto armado las cuales tendrán la misma sección pero diferente cuantía de acero, 4 diseños de vigas de concreto armado con cuantía de acero de  $2 \phi 3/4''$ , 4 diseños de vigas de concreto armado con cuantía de acero de  $4 \phi 3/4''$  y 4 diseños de vigas de  $6 \phi 3/4''$  todos los casos de diseño se harán con reforzamiento de fibras de carbono de 0, 1, 2, 3 capas, pudiendo así hacer un resumen comparativo comparando las diferentes muestras y teorías relacionadas a esta.

**Tabla 1: Muestreo de las diferentes vigas a diseñar**

<b>MUESTRA N° 1: ACERO DE REFUERZO DE <math>2 \phi 3/4''</math></b>			
 <p>Seccion 1-1: <math>2\phi 3/4</math></p>	 <p>Seccion 2-2: <math>2\phi 3/4</math></p>	 <p>Seccion 3-3: <math>2\phi 3/4</math></p>	 <p>Seccion 4-4: <math>2\phi 3/4</math></p>
<b>MUESTRA N° 2: ACERO DE REFUERZO DE <math>4 \phi 3/4''</math></b>			
 <p>Seccion 1-1: <math>4\phi 3/4</math></p>	 <p>Seccion 2-2: <math>4\phi 3/4</math></p>	 <p>Seccion 3-3: <math>4\phi 3/4</math></p>	 <p>Seccion 4-4: <math>4\phi 3/4</math></p>
<b>MUESTRA N° 3: ACERO DE REFUERZO DE <math>6 \phi 3/4''</math></b>			
 <p>Seccion 1-1: <math>6\phi 3/4</math></p>	 <p>Seccion 2-2: <math>6\phi 3/4</math></p>	 <p>Seccion 3-3: <math>6\phi 3/4</math></p>	 <p>Seccion 4-4: <math>6\phi 3/4</math></p>

Fuente: El Investigador.

En la presente investigación se realizara el muestreo no probabilístico discrecional, donde “A criterio del investigador los elementos son elegidos sobre lo que él cree que puedan aportar al estudio”.

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, valides y confiabilidad.**

### **2.4.1. TECNICA DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.**

- a) **TECNICA DE GABINETE:** Se utilizaran fichas bibliográficas, libros físicos y virtuales con respecto al tema, páginas web serias y reconocidas, que sirvan para estructurar el marco teórico de la investigación.
- b) **TECNICAS DE CAMPO:** Se utilizara diferentes materiales que permita la recolección de información vinculadas con el proyecto de investigación, como antecedente, registros y fotografías.

### **2.4.2. VALIDACION DEL INSTRUMENTO.**

La aprobación y confiabilidad del instrumento se realizó vía juicio de expertos, tomando en cuenta que sean ingenieros civiles con conocimientos amplios en el tema investigado los cuales tendrán que presentar las siguientes características: Ingenieros Civiles colegiados, con un mínimo de dos años de experiencia. Además, se consideró el aporte de metodólogos de la Universidad Cesar Vallejo – Chiclayo.

## **2.5. Método de análisis de dato.**

Se efectuará un análisis cuantitativo, utilizando para el proceso de diseño de la viga de concreto armado y el diagrama de momento curvatura el programa Excel 2013.

Así mismo para comprobar el acero en vigas se modelara en el programa SAP 2000 V18.

## **2.6. Aspectos éticos.**

Se considerará la autenticidad de los resultados, el compromiso social, el proteger la identidad de las personas que participarán en el estudio, el respeto por la propiedad intelectual y por el medio ambiente.

### III. RESULTADOS.

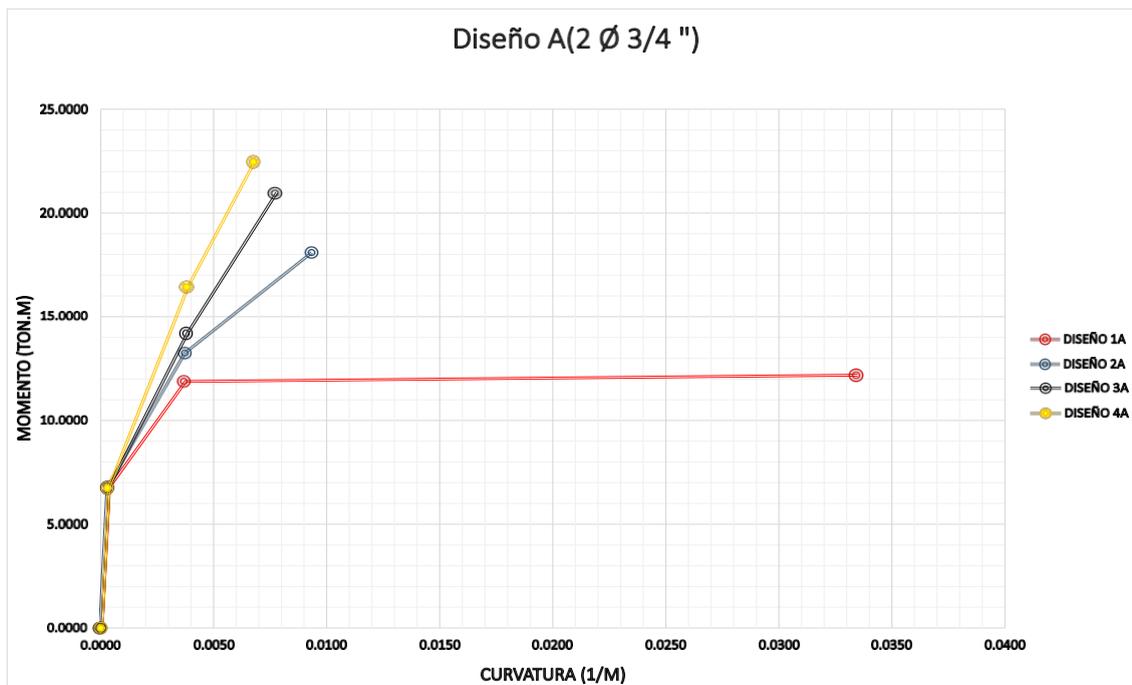
#### 3.1. CONTRIBUCION A LA RESISTENCIA DE LA SECCION POR PARTE DEL REFORZAMIENTO CON CFRP.

Se realizaron 3 diseños con cuantías de acero diferentes, tal como se aprecia en la tabla N°01.

**Tabla 2: RESUMEN COMPARATIVO ENTRE  $M_n'/M_n - \phi'/\phi$**

RESUMEN COMPARATIVO					
CUANTIA	Af (cm <sup>2</sup> )	Mn (ton-m)	$\phi$ (1/m)	Mn'/Mn	$\phi'/\phi$
2 $\phi$ 3/4"	0.00	12.18538602	9.0364	1.000	1.000
	3.00	18.08924161	2.4912	1.485	0.276
	6.00	20.9722187	2.0445	1.721	0.226
	9.00	22.4704328	1.7694	1.8440	0.196
CUANTIA	Af (cm <sup>2</sup> )	Mn (ton-m)	$\phi$ (1/m)	Mn'/Mn	$\phi'/\phi$
4 $\phi$ 3/4"	0.00	23.20020658	5.1210	1.000	1.000
	3.00	32.70392833	3.0021	1.410	0.586
	6.00	36.38025881	2.3629	1.568	0.461
	9.00	38.36653763	1.9671	1.654	0.384
CUANTIA	Af (cm <sup>2</sup> )	Mn (ton-m)	$\phi$ (1/m)	Mn'/Mn	$\phi'/\phi$
6 $\phi$ 3/4"	0.00	33.90436727	3.5726	1.000	1.000
	3.00	43.97794717	2.6271	1.297	0.735
	6.00	48.20384204	2.0941	1.422	0.586
	9.00	51.82388998	1.7767	1.529	0.497

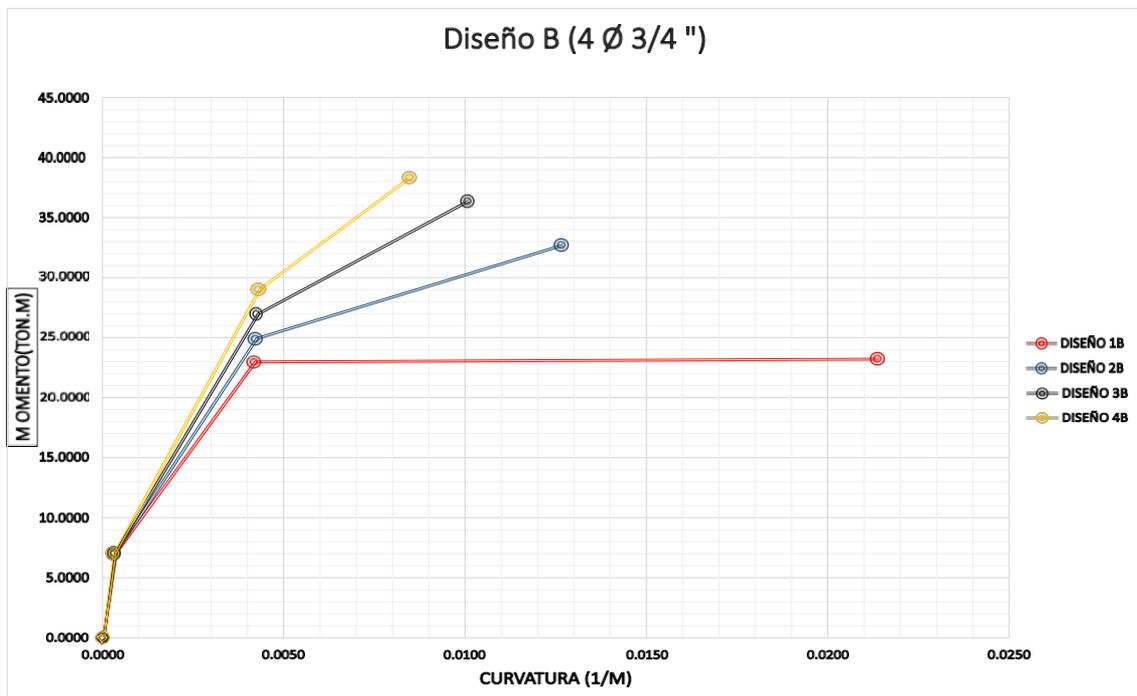
Fuente: El Investigador.



**Figura 1: Grafica de Momento vs Curvatura del diseño A (2 $\phi$ 3/4").**

Fuente: El Investigador.

Como se puede observar la figura N°01, el grafico corresponde al Momento vs Curvatura del diseño A el cual tiene como diseño acero de refuerzo de  $2\phi 3/4''$ , podemos apreciar que el diseño sin reforzamiento de fibra de carbono (CFRP) alcanzara un porcentaje mayor de curvatura que los diseños reforzados con fibra de carbono. Sucediendo lo contrario con la resistencia obtenida en el transcurso espacio- tiempo, ya que el diseño reforzado con mayor espesor de fibra de carbono alcanza un porcentaje mayor de resistencia en su estado de rotura, a diferencia con los diseños reforzados con un porcentaje menor espesor de fibra de carbono.

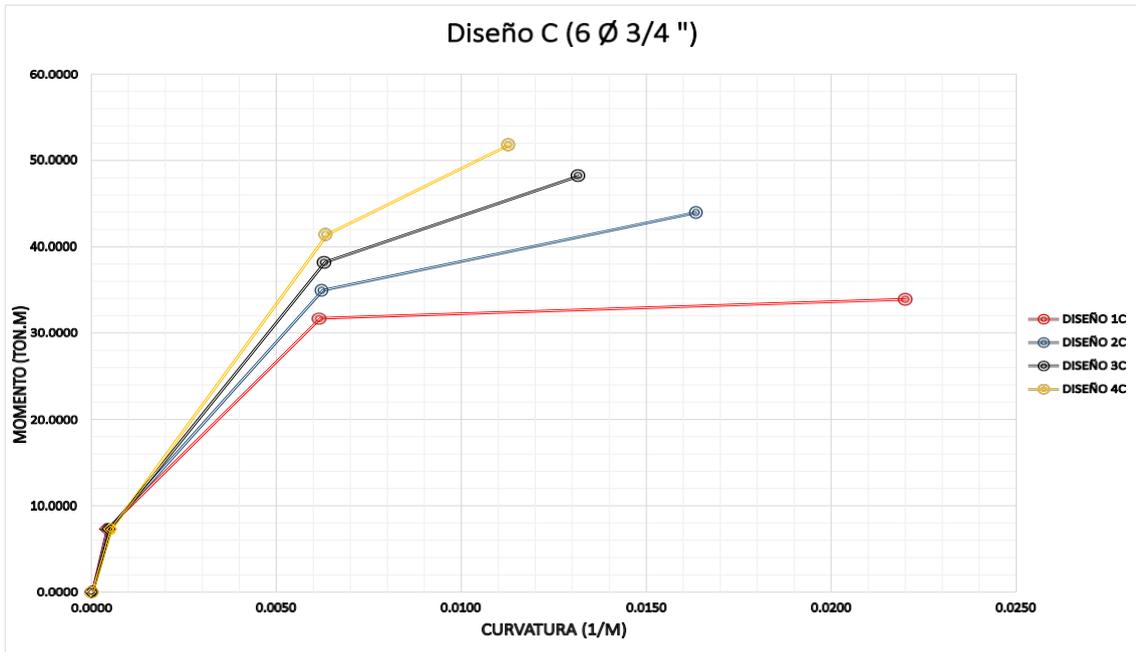


**Figura 2: Grafica de Momento vs Curvatura del diseño B (4 $\phi$ 3/4'').**

Fuente: El Investigador

Así mismo se puede observar en la figura N°02, corresponde a la gráfica de Momento Curvatura del diseño B (4 $\phi$ 3/4''), al igual que la gráfica anteriormente mostrada del diseño A, podemos observar que los diseños sin reforzamiento de fibras de carbono alcanzan una mayor curvatura que los diseños reforzados con fibra de carbono (CFRP). Por lo contrario, los diseños reforzados con mayor espesor de fibra de carbono alcanzan mayor porcentaje de resistencia a lo largo del espacio-tiempo, en comparación de los diseños no reforzados o con poco espesor de refuerzo. Comparando ambos gráficos anteriores, el aumento de la cuantía de refuerzo estructural en la sección, aumenta la resistencia de la sección reforzada y no reforzada. De la misma manera el diseño sin reforzar del

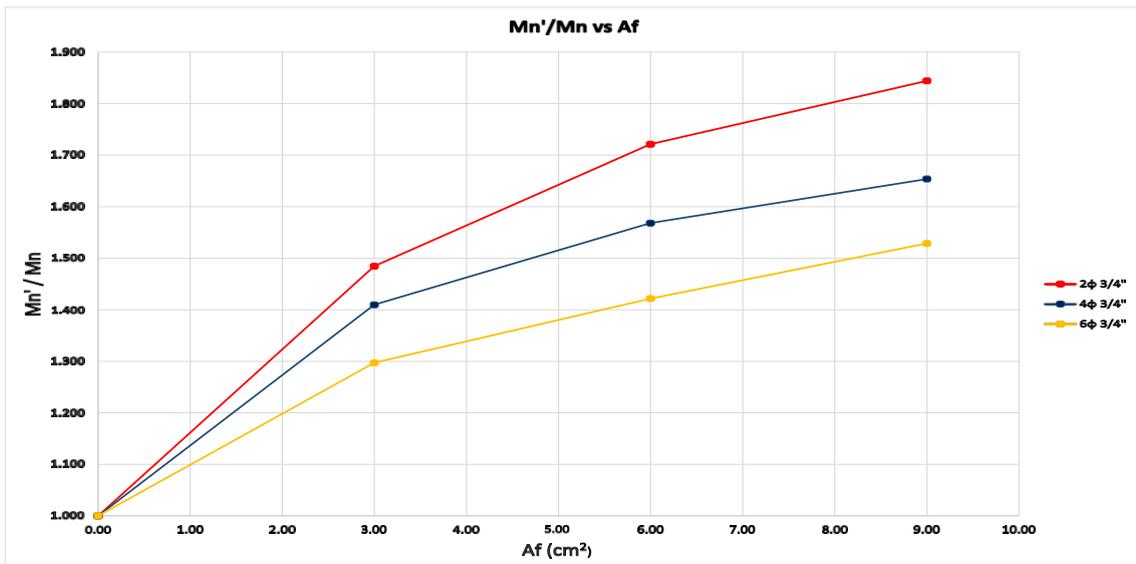
diseño B ( $4\phi 3/4''$ ) alcanza menor curvatura que el diseño sin reforzar del diseño A ( $2\phi 3/4''$ ), en el caso de las secciones reforzadas con fibras de carbono de ambos diseños A y B alcanzan valores similares.



**Figura 3: Grafica de Momento vs Curvatura del diseño C ( $6\phi 3/4''$ ).**

Fuente: El Investigador.

Finalmente la gráfica N°03, la última grafica de Momento Curvatura corresponde al diseño C ( $6\phi 3/4''$ ), comparando los dos gráficos anteriores, el aumento de la cuantía de refuerzo aumenta la resistencia de las secciones reforzadas y no reforzadas con fibras de carbono (CFRP).



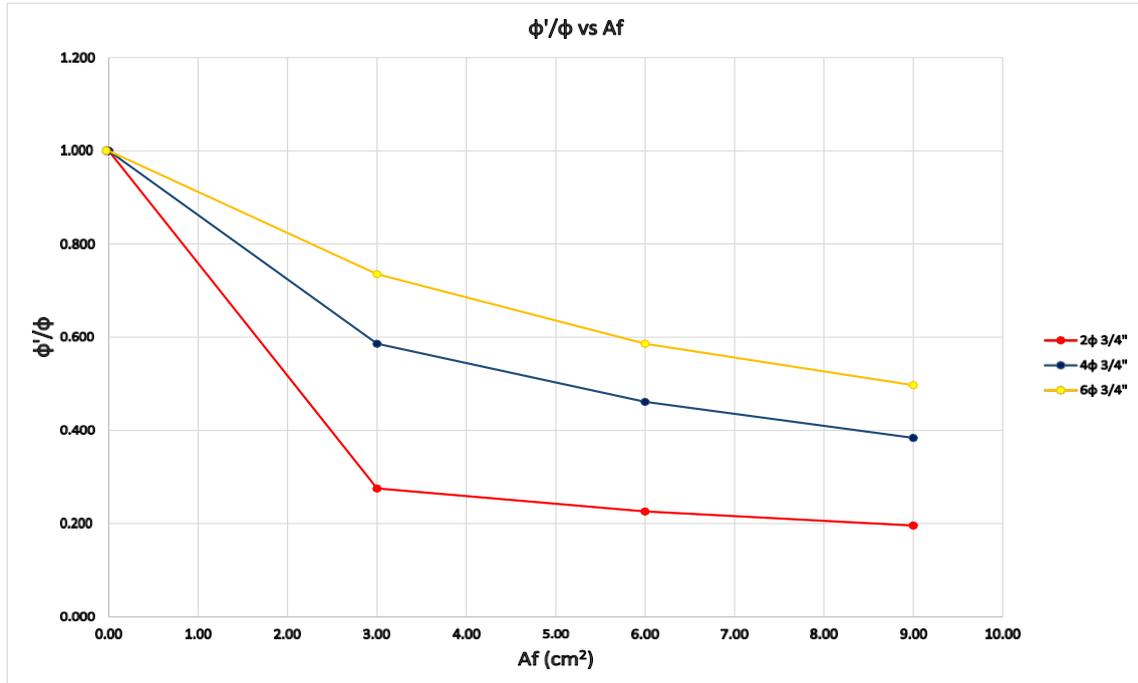
**Figura 4: Influencia en la Resistencia de las Secciones Reforzadas.**

Fuente: El Investigador.

En la gráfica N°04 podemos observar el aumento de resistencia de los 3 diseños (A, B Y C) con respecto a sus momentos iniciales (momento de la sección sin reforzar). Para la sección de menor cuantía de refuerzo el porcentaje de aumento de la resistencia obtiene un valor de 84.04%. Para el caso de la sección de mayor cuantía de refuerzo, este alcanza un porcentaje de incremento de la resistencia de 52.9% con respecto a su momento inicial (momento de la sección sin reforzar). De la siguiente grafica podemos deducir que la fibra de carbono como refuerzo estructural, aumenta su resistencia en mayor porcentaje cuando se diseña con menor acero de refuerzo, esto se debe a que la fibra de carbono tiene una rigidez parecida a la del acero, pero una resistencia mucha más alta. Su rendimiento es lineal hasta llegar a un punto de ruptura, lo cual lo hace un componente frágil. (Mesbah y Benzaid, 2013).

### 3.2. CONTRIBUCION A LA DUCTILIDAD DE LA SECCION POR PARTE DEL REFORZAMIENTO CON CFRP.

En la siguiente figura N°06 se muestra un grafica comparativa entre los 3 tipos de diseños con diferentes cuantías de acero de refuerzo, en relación a la ductilidad que se obtiene de las secciones reforzadas con fibra de carbono.



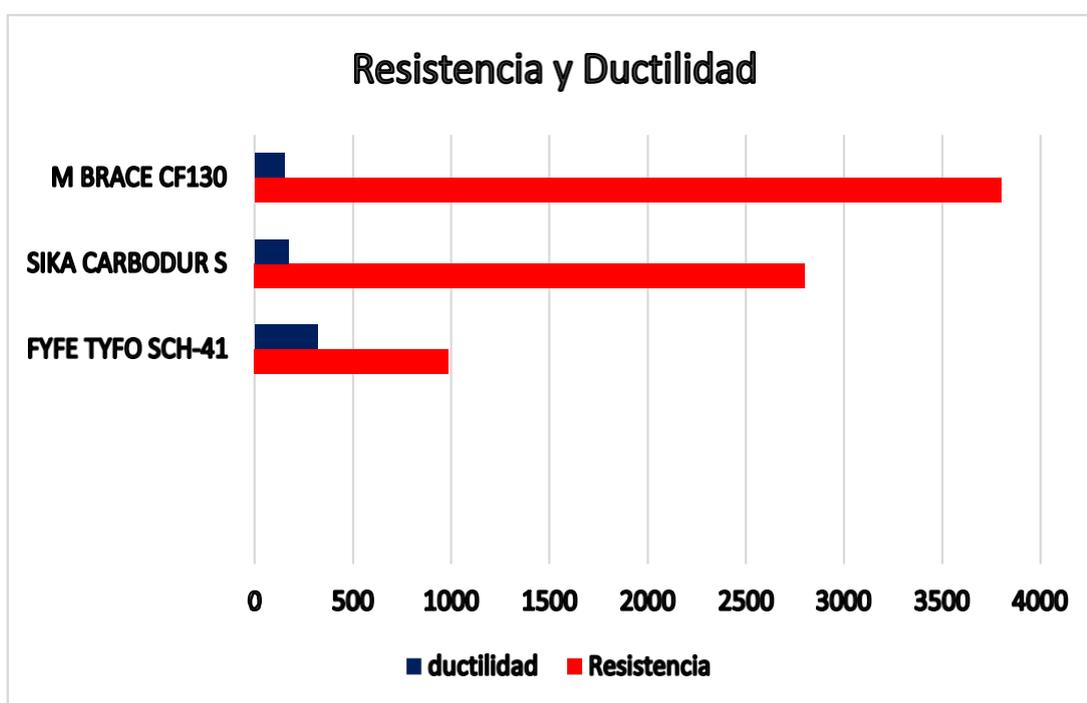
**Figura 5: Influencia en la Ductilidad de las Secciones Reforzada.**

Fuente: El Investigador.

Los valores de ductilidad no solo dependen del reforzamiento externo (refuerzo de CFRP), sino también de las dimensiones y resistencia del concreto y también

de acero de refuerzo interno de diseño de la viga reforzada y no reforzada. Casi siempre la ductilidad de la curvatura es diversa, ya que rige en gran medida de la deformación, la misma que tiene mucha influencia en el agrietamiento del concreto (Spadea, 2015).

En el grafico anterior se observa que la ductilidad de las secciones de concreto armado se ve perjudicado por el reforzamiento con fibra de carbono (FRP), mientras mayor área de reforzamiento de fibra de carbono empleada, el porcentaje de ductilidad baja con respecto a la ductilidad que resulta al no emplear reforzamiento de fibra de carbono.



**Figura 6: DIFERENCIAS DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE FIBRAS DE CARBONO.**

Fuente: El Investigador

En la siguiente imagen observamos la relación de resistencia y ductilidad de las 3 marcas comerciales de fibras de carbono que se comercializan en el Perú, pudiendo así visualizar su relación inversamente proporcional que existe entre resistencia y ductilidad, siendo la marca Fyfe Tyfo SCH 41 las mejor maneja la relación resistencia- ductilidad.

#### IV. DISCUSION.

En la presente tesis se desarrolló una metodología que simuló la respuesta a flexión de una serie de viga de concreto armado reforzadas, con diferentes cuantías de acero y área de fibras de carbono, evaluamos y estudiamos su comportamiento a través de un diagrama Momento- Curvatura, permitiendo así obtener características de respuestas como resistencia, ductilidad y deformación similares a los de obtenidos en un ensayo de laboratorio.

Los carga que se aplicó simuló diferentes momentos reales al que puede estar sometido una viga en una estructura esencial (Tipo A). Los parámetros de diseño que se utilizó fueron, una resistencia a la compresión del concreto ( $f'c$ ) de 280 kg/cm<sup>2</sup>, con acero de refuerzo de grado 60° de cuantías (2, 4,6 de ¾") respectivamente, en cuanto a las fibra de carbono se tuvo en cuenta 3 tipos de espesores (3, 6,9 cm) respectivamente.

Actualmente existen un aproximado de 3 marcas de proveedores, cada quien con características diferentes, por lo cual el responsable de la instalación de la fibra de carbono como reforzamiento estructural tendrá que evaluar el desempeño estructural y tomar en cuenta las propiedades mecánicas de cada sistema y optar por el sistema más conveniente para dicha edificación.

Al comparar su resistencia podemos observar que el sistema Mbrace CF 130 equivale aproximadamente 1.35 veces con respecto al sistema Sika Carbodur S y 3.8 veces al sistema Fyfe Tyfo SCH-41.

En cuanto a las propiedades de su ductilidad podemos observar que el sistema Fyfe Tyfo SCH-41 equivale aproximadamente a 2.13 veces al sistema Mbrace CF 130, y a 1.88 veces al sistema Sika Carbodur S.

Por las consideraciones mencionadas anteriormente es que las hojas de cálculo que se presentan en este presente estudio, están basadas en las propiedades mecánicas del sistema de Fyfe Tyfo SCH-41 por su mejor relación Resistencia-Ductilidad.

En cuanto al reforzamientos con fibras de carbono, se consideró una falla de la lámina de tipo B por ser la más óptima y esperada, donde está regido por la fluencia del acero de refuerzo, seguido del despejo o delaminación de la fibra de carbono debido a las grietas por flexión que van apareciendo cuando aumenta la carga.

Esta investigación está basada netamente en un modelo matemático (diagrama de Momento- Curvatura) para evaluar los diferentes comportamientos de las vigas, teniendo en cuenta ambos factores que rigen la seguridad de una estructura, resistencia y ductilidad.

Esta investigación está basada en un modelo matemático el cual simula el comportamiento de una viga ensayada en laboratorio.

## V. CONCLUSIONES

- Se diseñó 12 vigas de concreto armado de dimensiones 0.30cmx 0.60cm, reforzados externamente con fibras de carbono, respetando el reglamento ACI y la normativa peruana y la norma peruana de edificación,
- El momento curvatura de cada uno de uno de los diseños realizados, podemos observar como la resistencia del elemento aumenta, al incrementar el área de fibra de carbono, mientras que su curvatura disminuye.
- Los momentos iniciales (sin fibra de carbono), con sus momentos finales (con 3 capas de fibra de carbono) de las vigas armado reforzada con fibra de carbono, podemos observar que en las vigas de la serie A aumento en un 84.4%, en la serie B en un 65.4% y en la serie C en un 52.9%.
- La ductilidad inicial (sin fibra de carbono), con su ductilidad final (con 3 capas de fibra de carbono), de las vigas de concreto armado reforzadas con fibras de carbono, observamos que las vigas de la serie A aumenta en un 19.6%, en la serie B en un 38.4% y en la serie C en un 49.7%.
- El aparte de la fibra de carbono como reforzamiento estructural de vigas de concreto armado, aumenta su resistencia en mayor porcentaje cuando se diseña con menor cuantía de acero.
- El porcentaje de ductilidad disminuye cuando se le coloca más área de fibra de carbono, ya que la fibra de carbono es inversamente proporcional en cuanto a resistencia y ductilidad.

## VI. RECOMENDACIONES

- Antes de diseñar el reforzamiento estructural con fibra de carbono, se debe determinar las patologías de la estructura, además de hacer un análisis estructural de la edificación para poder calcular cuales son los momentos actuantes sobre dicha viga.
- Con respecto a la instalación de la fibra de carbono, debe realizarse por personal especialista conocedores de la normativa y capacitados por el ingeniero encargado para dicho reforzamiento estructural.
- Con los resultados obtenidos en esta investigación podemos recomendar que uso de la fibra de carbono para el reforzamiento de vigas por flexión incrementar significativamente su resistencia.
- Por motivos de ductilidad se recomienda que el reforzamiento de vigas de concreto armado con fibra de carbono (CFRP) se utilice en vigas con baja responsabilidad sísmica, vigas con menor ancho tributario, ya que este disminuye la ductilidad, el ingeniero a cargo de la instalación deberá evaluar qué sistema es el más favorable para dicha estructura.
- Al ser una simulación matemática elaborada por software, los resultados se tendrán que constatar con los ensayados elaborados en laboratorio,

## VII. REFERENCIAS

1. ACI 318S-14 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (Versión en español y en sistema métrico SI). 2ª Edición, USA: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. 2015.
2. ACI 440.2R-08 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. Detroit, Michigan: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 2008. 68 pp.  
0
3. BELTRAN, Andrés Arturo. Uso de fibras de carbono como reforzamiento a flexión en vigas de concreto reforzado. Tesis (título de Ingeniero Civil). Bogotá: Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Civil, 2011. 155 pp.
4. FLORES Tantalean, Luis. Fibras de Carbono: Reforzamiento de Estructuras. Revista Civilizate [en línea]. Diciembre 2013. [Fecha de consulta: 25 de febrero del 2018]
5. REVISTA FYFE CO.LLC. Design Manual for the TYFO Fibrwrap Systems. USA, 9[9], 2010.
6. Norma E.060 Concreto Armado. 1ª edición. Lima, Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones. 2009.
7. Norma E.030 Diseño Sismorresistente. 1ª edición. Lima, Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones. 2009.
8. OTTAZZI, Gianfranco. Material de Apoyo para la Enseñanza de los Cursos de Diseño y Comportamiento del Concreto Armado. Tesis (Magister en ingeniería estructural). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería Departamento de Ingeniería Sección Ingeniería Civil, 2004. 162 pp.

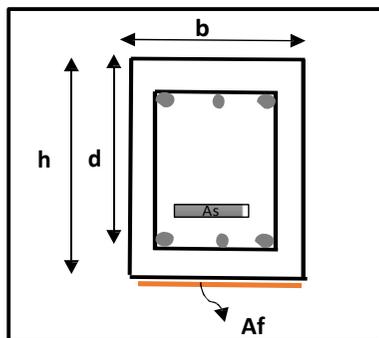
9. PROAÑO Tataje, Luis Ricardo. Comportamiento de vigas de concreto armado reforzadas externamente con platinas de fibra de carbono. Tesis (Magister en ciencias con mención en ingeniería estructural). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2011. 291 pp.
10. Anderson, Taylor. Fracture Mechanics. Fundamentals and applications, CRC, USA, 2008. 793 pp.
11. BACA E. y ESPINOZA C. Reforzamiento de Estructuras con Fibras de Carbono. Tesis para optar el Grado de Ingeniero Civil. Lima: Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ingeniería, 2011. 198 pp.
12. Vílchez R. y Rodríguez A. Evaluación de sistemas de reforzamiento en estructuras de concreto para elementos de flexión. Tesis para optar el Grado de Ingeniero Civil. Lima: Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ingeniería, 2010. 244 pp.
13. Calla D. y Torres A. Reforzamiento por flexión de vigas de Concreto Armado con Fibra de Carbono. Arequipa: Universidad Católica de Santa María. Facultad de Arquitectura y Ingenierías civil y del ambiente, 2015. 306 pp.
14. MIRAVETE, Antonio. Hacia la fibra de carbono en la construcción. Artículo construcción. España: Universidad de Zaragoza, 2009.
15. AGUIAR Falconi, Roberto. Refuerzo de estructuras con FRP frente a demandas combinadas de flexión, corte, axial y torsión. Quito- Ecuador: Universidad de la Fuerzas Armadas, 2014. 88 pp.
16. AGUIAR Falconi, Roberto, Relación Momento Curvatura y Visión 2000. Quito-Ecuador: Universidad de la Fuerzas Armadas, 2008. 30 pp.

17. AGUIAR, R., ROSERO, L. Reforzamiento de losa de biblioteca del Centro Educativo Fernández Madrid con Carbodur S 512. Quito: PlanMan, 2014. 24 pp.
18. Aguiar Falconi, Roberto. Análisis Dinámico de Estructuras con CEINCI-LAB. 2ª Edición. Ecuador: Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH, 2012. 416 pp.
19. Wu Y., and Zhou Y. Unified strength model based on Moek-Brown failure criterion for circular and square concrete columns confined by FRP. 14.a, USA: ASCE Journal of material in civil engineering, 2010. 175-184 PP.
20. Aguiar Falconi, Roberto. Análisis sísmico por desempeño. Quito: Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 2008. 340 pp.

VIII. Anexos.

**ANEXO 1: DIAGRAMA DE MOMENTO Y CURVATURA DE LAS DIFERENTES SECCIONES (A (2x3/4"), B (4x3/4") Y C (6x3/4"))**

## REFORZAMIENTO DE VIGA POR FLEXION 1A



$C_{b\_cr}$	30.52	cm
$I_{g}$	3262384.039	cm <sup>4</sup>
$C_{a\_cr}$	14.22	cm
$I_{cr}$	100626.42	cm <sup>4</sup>
hf	0	cm

PROPIEDADES DE LA VIGA		
b=	30.00	cm
h=	60.00	cm
d=	54.00	cm
$f'c$ =	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
$f_y$ =	4200.00	kg/cm <sup>2</sup>
$E_s$ =	2.00E+06	kg/cm <sup>2</sup>
$E_c$ =	250998.0	kg/cm <sup>2</sup>
$n_s$ =	7.97	
$\phi_s$ =	2.85	cm
Nº barr=	2.00	
$A_s$ =	5.70	cm <sup>2</sup>
$\xi_{co}$ =	0.002	
$\xi_{cu}$ =	0.003	
fr=	33.47	kg/cm <sup>2</sup>
$\rho$ =	0.0035	

Base  
 Altura  
 Peralte efectivo  
 Resistencia a la compresion del concreto  
 Esfuerzo de fluencia del acero  
 Modulo de elasticidad del acero  
 Modulo de elasticidad del concreto  
 Relacion modular  
 Diametro de acero de refuerzo  
 Numero de barras de acero de refuerzo  
 Area del refuerzo de acero  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Modulo de roptura del concreto  
 Cuantia de acero

PROPIEDADES DEL FRP		
$n_c$ =	0.00	
$b_{fe}$ =	0.00	cm
$t_{fe}$ =	0.10	cm
$A_{f-}$ =	0.00	cm <sup>2</sup>
$f_{fu}$ =	10000.0	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_{fu}$ =	0.01	
$E_{f-}$ =	9.8E+05	kg/cm <sup>2</sup>
$C_E$ =	0.85	
$ff_u$ =	8500.00	kg/cm <sup>2</sup>
$e_{fu}$ =	0.0085	
$e_{fd}$ =	0.00	
Ti=	14.8	tm
Mi=	742.5447	tm.cm
ebi=	0.000000	
$\rho_{fe}$ =	0.000	

Numero de capas de FRP  
 Ancho de la capa de FRP  
 Espesor de la capa de FRP  
 Area de refuerzo de FRP  
 Resistencia a tension ultima de ensayo  
 Deformacion unitaria tipica de ensayo  
 Modulo de elasticidad de las laminas de FRP  
 Factor de reduccion por expo. al medio ambient.  
 Resistencia de tension ultima de diseño  
 Deformacion unitaria de ruptura de diseño  
 Deformacion efectiva de diseño  
 Fuerza producida al momento de la inst  
 Demanda a flexion de la viga  
 Deformacion unitaria al moment.de la inst.  
 Cuantia de la lamina de FRP

### PUNTO Cr

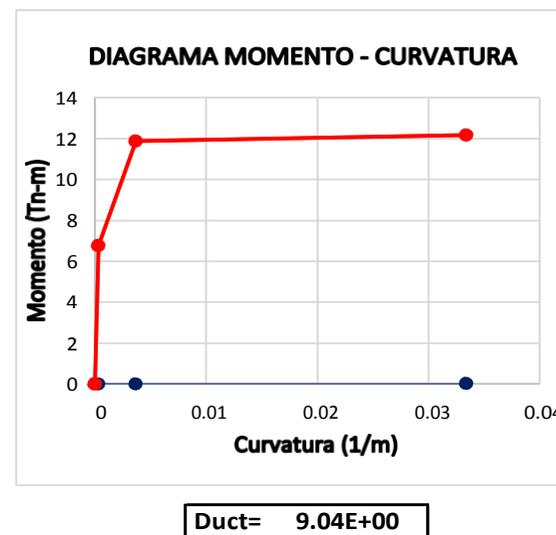
c=	29.36	cm
$\epsilon_c$ =	0.00010	
$f_c$ =	26.45940711	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.000101048	
Cc=	11.7501	ton
$\epsilon_s$ =	0.00008126	
$f_s$ =	162.5172989	kg/cm <sup>2</sup>
T=	0.926348603	ton
$\epsilon_f$ =	0	
ff=	0.0000	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$\gamma_{cc}$ =	9.828	cm
Mcr=	6.77	tm-m
$\varphi$ =	0.000329817	

### PUNTO Y

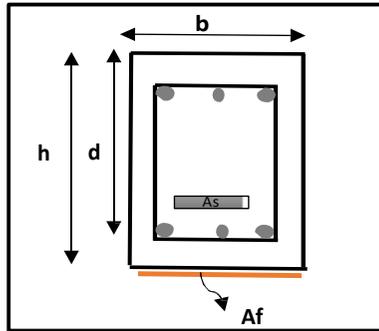
c=	12.908	cm
$\epsilon_c$ =	0.00048	
$f_c$ =	117.703325	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.00174152	
Cc=	23.8181	ton
$\epsilon_s$ =	0.001519635	
$f_s$ =	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	23.94	ton
$\epsilon_f$ =	0.00174152	
ff=	1701.2697	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$\gamma_{cc}$ =	4.395	cm
Mcr=	11.88068106	tm-m
$\varphi$ =	0.003698083	

### PUNTO U

c=	5.955	cm
$\epsilon_c$ =	0.001990	
$f_c$ =	279.993	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.018060378	
Cc=	33.2642	ton
$\epsilon_s$ =	0.01605534	
$f_s$ =	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	23.94	ton
$\epsilon_f$ =	0.018060378	
ff=	17642.9682	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$\gamma_{cc}$ =	2.231	cm
Mcr=	12.18538602	tm-m
$\varphi$ =	0.033417296	



Elaborado por el investigador.



### REFORZAMIENTO DE VIGA POR FLEXION 2A

PROPIEDADES DE LA VIGA		
b=	30.00	cm
h=	60.00	cm
d=	54.00	cm
f'c=	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	4200.00	kg/cm <sup>2</sup>
Es=	2.00E+06	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	250998.0	kg/cm <sup>2</sup>
ns=	7.97	
φs=	2.85	cm
Nº barr=	2.00	
As=	5.70	cm <sup>2</sup>
ξco=	0.002	
ξcu=	0.003	
fr=	33.47	kg/cm <sup>2</sup>
ρ=	0.0035	

PROPIEDADES DEL FRP		
nc=	1.00	
bfe=	30.00	cm
tfe=	0.10	cm
Af=	3.00	cm <sup>2</sup>
f <sub>tu</sub> =	10000.0	kg/cm <sup>2</sup>
ξ <sub>fu</sub>	0.01	
E <sub>f</sub> =	9.8E+05	kg/cm <sup>2</sup>
C <sub>e</sub> =	0.85	
ff <sub>u</sub> =	8500.00	kg/cm <sup>2</sup>
e <sub>fu</sub> =	0.0085	
e <sub>fd</sub> =	0.02	
Ti=	14.8	tm
Mi=	741.5269	tm.cm
ebi=	0.000899	
ρ <sub>f</sub> =	0.002	

Base  
 Altura  
 Peralte efectivo  
 Resistencia a la compresion del concreto  
 Esfuerzo de fluencia del acero  
 Modulo de elasticidad del acero  
 Modulo de elasticidad del concreto  
 Relacion modular  
 Diametro de acero de refuerzo  
 Numero de barras de acero de refuerzo  
 Area del refuerzo de acero  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Modulo de roptura del concreto  
 Cuantia de acero

Numero de capas de FRP  
 Ancho de la capa de FRP  
 Espesor de la capa de FRP  
 Area de refuerzo de FRP  
 Resistencia a tension ultima de ensayo  
 Deformacion unitaria tipica de ensayo  
 Modulo de elasticidad de las laminas de FRP  
 Factor de reduccion por expo. al medio ambien.  
 Resistencia de tension ultima de diseño  
 Deformacion unitaria de ruptura de diseño  
 Deformacion efectiva de diseño  
 Fuerza producida al momento de la inst  
 Demanda a flexion de la viga  
 Deformacion unitaria al moment.de la inst.  
 Cuantia de la lamina de FRP

C <sub>b cr</sub> =	30.57	cm
I <sub>g</sub> =	3262388.681	cm <sup>4</sup>
C <sub>a cr</sub> =	14.25	cm
I <sub>cr</sub> =	100691.3322	cm <sup>4</sup>
hf	0.1	cm

#### PUNTO Cr

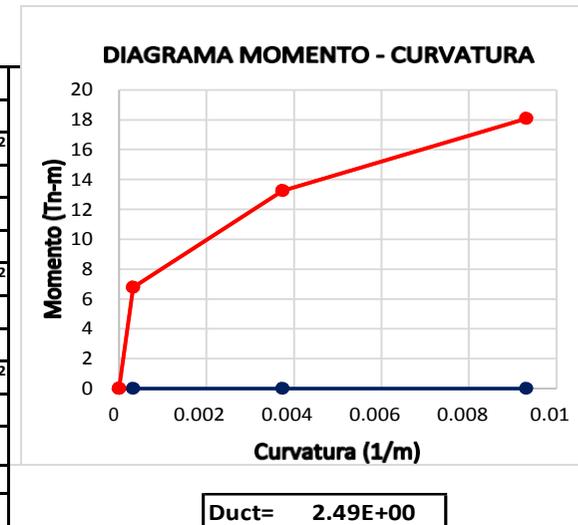
c=	29.36	cm
εc=	0.000095	
fc=	25.92624301	kg/cm <sup>2</sup>
ξt=	9.89608E-05	
Cc=	11.5113	ton
ε <sub>s</sub> =	7.95805E-05	
fs=	159.160977	kg/cm <sup>2</sup>
T=	0.907217569	ton
ε <sub>f</sub> =	0	
ff=	0.0000	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
γ <sub>cc</sub> =	9.827	cm
Mcr=	6.77	tm-m
φ=	0.000323006	

#### PUNTO Y

c=	13.358	cm
εc=	0.0004992	
fc=	122.3319552	kg/cm <sup>2</sup>
ξt=	0.001743136	
Cc=	25.6758	ton
ε <sub>s</sub> =	0.001518902	
fs=	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	23.94	ton
ε <sub>f</sub> =	0.000844222	
ff=	824.7107	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	2.474132162	ton
γ <sub>cc</sub> =	4.554	cm
Mcr=	13.24416544	tm-m
φ=	0.003737226	

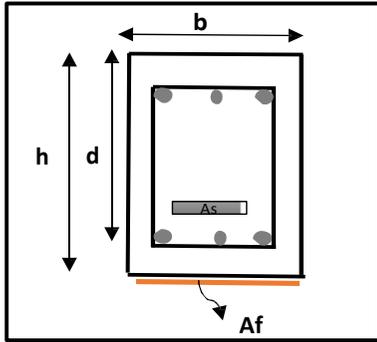
#### PUNTO U

c=	10.580	cm
εc=	0.000985	
fc=	207.88425	kg/cm <sup>2</sup>
ξt=	0.004601011	
Cc=	36.5840	ton
ε <sub>s</sub> =	0.00404241	
fs=	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	23.94	ton
ε <sub>f</sub> =	0.003702098	
ff=	3616.5354	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	10.84960609	ton
γ <sub>cc</sub> =	3.700	cm
Mcr=	18.08924161	tm-m
φ=	0.009310019	



Elaborado por el investigador.

### REFORZAMIENTO DE VIGA POR FLEXION 3A



$C_{b\_cr}$	30.62	cm
$I_{g=}$	3262402.609	cm <sup>4</sup>
$C_{a\_cr}$	14.27	cm
$I_{cr=}$	100756.9002	cm <sup>4</sup>
hf	0.2	cm

PROPIEDADES DE LA VIGA		
b=	30.00	cm
h=	60.00	cm
d=	54.00	cm
$f'c$ =	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
$f_y$ =	4200.00	kg/cm <sup>2</sup>
$E_s$ =	2.00E+06	kg/cm <sup>2</sup>
$E_c$ =	250998.0	kg/cm <sup>2</sup>
$n_s$ =	7.97	
$\phi_s$ =	2.85	cm
Nº barr=	2.00	
$A_s$ =	5.70	cm <sup>2</sup>
$\xi_{co}$ =	0.002	
$\xi_{cu}$ =	0.003	
fr=	33.47	kg/cm <sup>2</sup>
$\rho$ =	0.0035	

Base  
 Altura  
 Peralte efectivo  
 Resistencia a la compresion del concreto  
 Esfuerzo de fluencia del acero  
 Modulo de elasticidad del acero  
 Modulo de elasticidad del concreto  
 Relacion modular  
 Diametro de acero de refuerzo  
 Numero de barras de acero de refuerzo  
 Area del refuerzo de acero  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Deformacion unitima del concreto  
 Modulo de roptura del concreto  
 Cuantia de acero

PROPIEDADES DEL FRP		
$n_c$ =	2.00	
$b_{fe}$	30.00	cm
$t_{fe}$	0.10	cm
$A_f$ =	6.00	cm <sup>2</sup>
$f_{fu}$ =	10000.0	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_{fu}$	0.01	
$E_f$ =	9.8E+05	kg/cm <sup>2</sup>
$C_E$ =	0.85	
$ff_u$ =	8500.00	kg/cm <sup>2</sup>
$e_{fu}$ =	0.0085	
$e_{fd}$ =	0.02	
Ti=	14.7	tm
Mi=	740.5083	tm.cm
ebi=	0.000897	
$\rho_f$ =	0.004	

Numero de capas de FRP  
 Ancho de la capa de FRP  
 Espesor de la capa de FRP  
 Area de refuerzo de FRP  
 Resistencia a tension ultima de ensayo  
 Deformacion unitaria tipica de ensayo  
 Modulo de elasticidad de las laminas de FRP  
 Factor de reduccion por expo. al medio ambien.  
 Resistencia de tension ultima de diseño  
 Deformacion unitaria de ruptura de diseño  
 Deformacion efectiva de diseño  
 Fuerza producida al momento de la inst  
 Demanda a flexion de la viga  
 Deformacion unitaria al moment.de la inst.  
 Cuantia de la lamina de FRP

#### PUNTO Cr

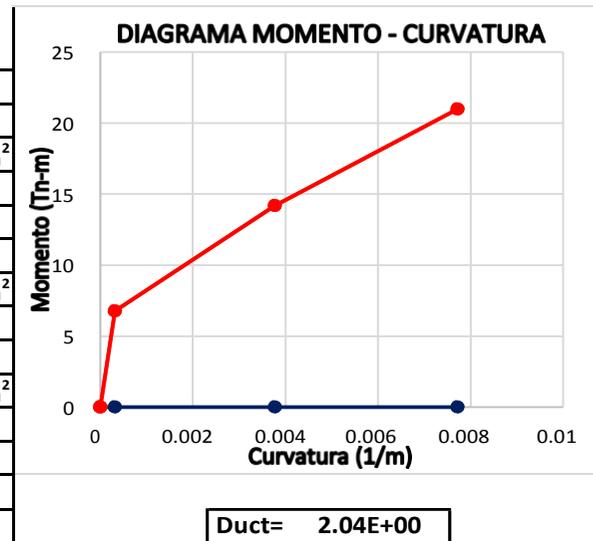
c=	29.36	cm
$\epsilon_c$ =	0.000094	
$f_c$ =	25.65945096	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.00010	
$C_c$ =	11.3919	ton
$\epsilon_s$ =	7.87414E-05	
$f_s$ =	157.4828161	kg/cm <sup>2</sup>
T=	0.897652052	ton
$\epsilon_f$ =	0	
ff=	0.0000	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$y_{cc}$ =	9.826	cm
Mcr=	6.77	tm-m
$\phi$ =	0.0003196	

#### PUNTO Y

c=	14.808	cm
$\epsilon_c$ =	0.0005594	
$f_c$ =	134.7270148	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.001707289	
$C_c$ =	31.5463	ton
$\epsilon_s$ =	0.00148062	
$f_s$ =	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	23.94	ton
$\epsilon_f$ =	0.000810195	
ff=	791.4696	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	4.748817622	ton
$y_{cc}$ =	5.063	cm
Mcr=	14.18453997	tm-m
$\phi$ =	0.003777815	

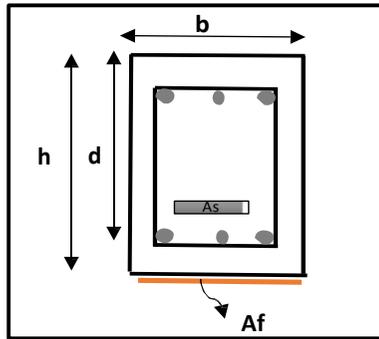
#### PUNTO U

c=	12.300	cm
$\epsilon_c$ =	0.00095	
$f_c$ =	202.825	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.003684146	
$C_c$ =	41.3065	ton
$\epsilon_s$ =	0.003220732	
$f_s$ =	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	23.94	ton
$\epsilon_f$ =	0.002787052	
ff=	2722.6378	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	16.33582705	ton
$y_{cc}$ =	4.293	cm
Mcr=	20.9722187	tm-m
$\phi$ =	0.007723577	



Elaborado por el investigador.

### REFORZAMIENTO DE VIGA POR FLEXION 4A



$C_{b\_cr}$	30.67	cm
$I_{R}$	3262425.82	cm <sup>4</sup>
$C_{a\_cr}$	14.30	cm
$I_{cr}$	100823.1249	cm <sup>4</sup>
hf	0.3	cm

PROPIEDADES DE LA VIGA		
b=	30.00	cm
h=	60.00	cm
d=	54.00	cm
$f'c$ =	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
$f_y$ =	4200.00	kg/cm <sup>2</sup>
$E_s$ =	2.00E+06	kg/cm <sup>2</sup>
$E_c$ =	250998.0	kg/cm <sup>2</sup>
$n_s$ =	7.97	
$\phi_s$ =	2.85	cm
Nº barr=	2.00	
$A_s$ =	5.70	cm <sup>2</sup>
$\xi_{co}$ =	0.002	
$\xi_{cu}$ =	0.003	
fr=	33.47	kg/cm <sup>2</sup>
$\rho$ =	0.0035	

Base  
 Altura  
 Peralte efectivo  
 Resistencia a la compresion del concreto  
 Esfuerzo de fluencia del acero  
 Modulo de elasticidad del acero  
 Modulo de elasticidad del concreto  
 Relacion modular  
 Diametro de acero de refuerzo  
 Numero de barras de acero de refuerzo  
 Area del refuerzo de acero  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Modulo de roptura del concreto  
 Cuantia de acero

PROPIEDADES DEL FRP		
$n_c$ =	3.00	
$b_{fe}$	30.00	cm
$t_{fe}$	0.10	cm
$A_{f'}$ =	9.00	cm <sup>2</sup>
$f_{fu}$ =	10000.0	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_{fu}$	0.01	
$E_{f'}$ =	9.8E+05	kg/cm <sup>2</sup>
$C_E$ =	0.85	
$ff_u$ =	8500.00	kg/cm <sup>2</sup>
$e_{fu}$ =	0.0085	
$e_{fd}$ =	0.01	
Ti=	14.7	tm
Mi=	739.4888	tm.cm
$e_{bi}$ =	0.000895	
$\rho_{fe}$	0.006	

Numero de capas de FRP  
 Ancho de la capa de FRP  
 Espesor de la capa de FRP  
 Area de refuerzo de FRP  
 Resistencia a tension ultima de ensayo  
 Deformacion unitaria tipica de ensayo  
 Modulo de elasticidad de las laminas de FRP  
 Factor de reduccion por expo. al medio ambien.  
 Resistencia de tension ultima de diseño  
 Deformacion unitaria de ruptura de diseño  
 Deformacion efectiva de diseño  
 Fuerza producida al momento de la inst  
 Demanda a flexion de la viga  
 Deformacion unitaria al moment.de la inst.  
 Cuantia de la lamina de FRP

#### PUNTO Cr

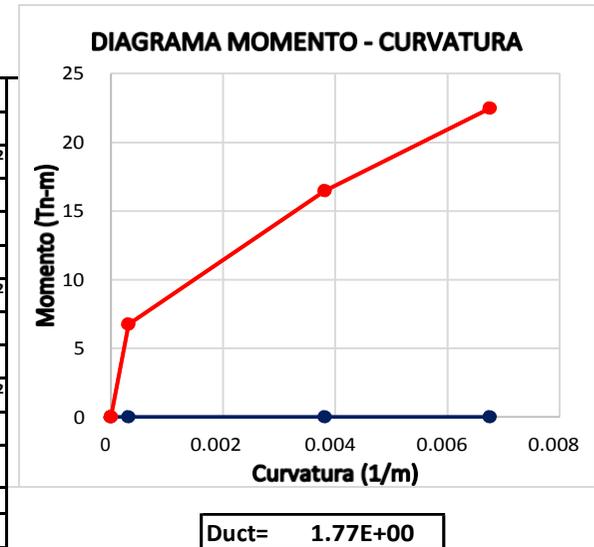
c=	29.36	cm
$\epsilon_c$ =	0.000092	
$f_c$ =	25.16752	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	9.59949E-05	
Cc=	11.1717	ton
$\epsilon_s$ =	7.71954E-05	
fs=	154.3908046	kg/cm <sup>2</sup>
T=	0.880027586	ton
$\epsilon_f$ =	0	
ff=	0.0000	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$\gamma_{cc}$ =	9.826	cm
Mcr=	6.77	tm-m
$\phi$ =	0.000313325	

#### PUNTO Y

c=	13.258	cm
$\epsilon_c$ =	0.00050618	
$f_c$ =	123.7951265	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.001784659	
Cc=	25.8071	ton
$\epsilon_s$ =	0.001555575	
fs=	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	23.94	ton
$\epsilon_f$ =	0.000889388	
ff=	868.8328	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	7.819494861	ton
$\gamma_{cc}$ =	4.521	cm
Mcr=	16.46429832	tm-m
$\phi$ =	0.003818065	

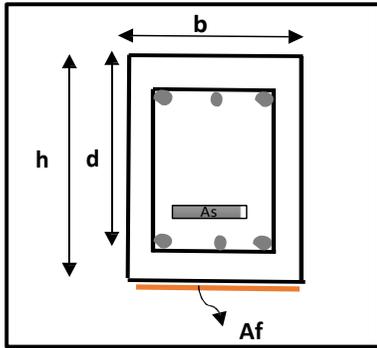
#### PUNTO U

c=	13.840	cm
$\epsilon_c$ =	0.0009350	
$f_c$ =	200.60425	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.003118468	
Cc=	45.8802	ton
$\epsilon_s$ =	0.002713121	
fs=	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	23.94	ton
$\epsilon_f$ =	0.002223197	
ff=	2171.8150	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	19.54633465	ton
$\gamma_{cc}$ =	4.826	cm
Mcr=	22.4704328	tm-m
$\phi$ =	0.00675578	



Elaborado por el investigador.

### REFORZAMIENTO DE VIGA POR FLEXION 1B



$C_{b\_cr}$	31.01	cm
$I_{g=}$	3283821.981	cm <sup>4</sup>
$C_{a\_cr}$	19.33	cm
$I_{cr}$	181393.2283	cm <sup>4</sup>
$hf$	0	cm

PROPIEDADES DE LA VIGA		
b=	30.00	cm
h=	60.00	cm
d=	54.00	cm
$f'_c$ =	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
$f_y$ =	4200.00	kg/cm <sup>2</sup>
$E_s$ =	2.00E+06	kg/cm <sup>2</sup>
$E_c$ =	250998.0	kg/cm <sup>2</sup>
$n_s$ =	7.97	
$\phi_s$ =	2.85	cm
Nº barr=	4.00	
$A_s$ =	11.40	cm <sup>2</sup>
$\xi_{co}$ =	0.002	
$\xi_{cu}$ =	0.003	
$f_r$ =	33.47	kg/cm <sup>2</sup>
$\rho$ =	0.0070	

Base  
 Altura  
 Peralte efectivo  
 Resistencia a la compresion del concreto  
 Esfuerzo de fluencia del acero  
 Modulo de elasticidad del acero  
 Modulo de elasticidad del concreto  
 Relacion modular  
 Diametro de acero de refuerzo  
 Numero de barras de acero de refuerzo  
 Area del refuerzo de acero  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Modulo de roptura del concreto  
 Cuantia de acero

PROPIEDADES DEL FRP		
$n_c$ =	0.00	
$b_{fe}$	0.00	cm
$t_{fe}$	0.10	cm
$A_f$ =	0.00	cm <sup>2</sup>
$f_{fu}$ =	10000.0	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_{fu}$	0.01	
$E_f$ =	9.8E+05	kg/cm <sup>2</sup>
$C_E$ =	0.85	
$ff_u$ =	8500.00	kg/cm <sup>2</sup>
$e_{fu}$ =	0.0085	
$e_{fd}$ =	0.00	
Ti=	14.6	tm
Mi=	732.4529	tm.cm
$e_{bi}$ =	0.000000	
$\rho_{fe}$	0.000	

Numero de capas de FRP  
 Ancho de la capa de FRP  
 Espesor de la capa de FRP  
 Area de refuerzo de FRP  
 Resistencia a tension ultima de ensayo  
 Deformacion unitaria tipica de ensayo  
 Modulo de elasticidad de las laminas de FRP  
 Factor de reduccion por expo. al medio ambien.  
 Resistencia de tension ultima de diseño  
 Deformacion unitaria de ruptura de diseño  
 Deformacion efectiva de diseño  
 Fuerza producida al momento de la inst  
 Demanda a flexion de la viga  
 Deformacion unitaria al moment.de la inst.  
 Cuantia de la lamina de FRP

#### PUNTO Cr

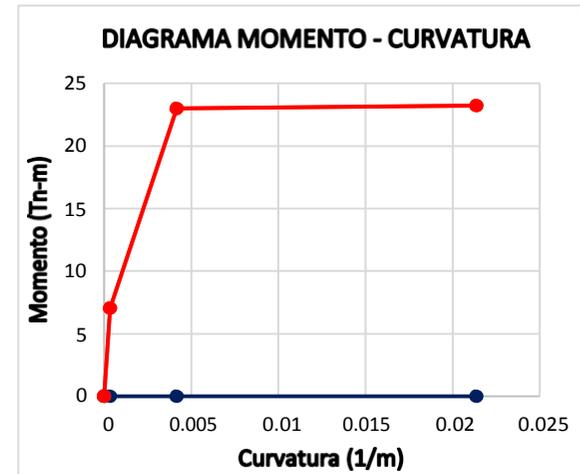
c=	30.18	cm
$\epsilon_c$ =	0.00010	
$f_c$ =	27.61644087	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	9.9983E-05	
Cc=	12.6101	ton
$\epsilon_s$ =	7.98657E-05	
$f_s$ =	159.731332	kg/cm <sup>2</sup>
T=	1.820937185	ton
$\epsilon_f$ =	0	
ff=	0.0000	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$y_{cc}$ =	10.103	cm
Mcr=	7.03	tm-m
$\varphi$ =	0.000335288	

#### PUNTO Y

c=	17.575	cm
$\epsilon_c$ =	0.00073	
$f_c$ =	167.7663111	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.001771277	
Cc=	47.5393	ton
$\epsilon_s$ =	0.001520772	
$f_s$ =	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	47.88	ton
$\epsilon_f$ =	0.001771277	
ff=	1730.3394	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$y_{cc}$ =	6.062	cm
Mcr=	22.97317457	tm-m
$\varphi$ =	0.004175078	

#### PUNTO U

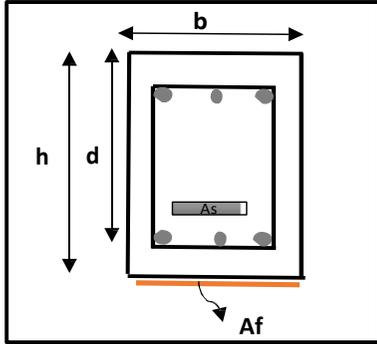
c=	10.758	cm
$\epsilon_c$ =	0.00230	
$f_c$ =	273.7	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.010528259	
Cc=	64.0824	ton
$\epsilon_s$ =	0.009245433	
$f_s$ =	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	47.88	ton
$\epsilon_f$ =	0.010528259	
ff=	10284.9313	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$y_{cc}$ =	4.143	cm
Mcr=	23.20020658	tm-m
$\varphi$ =	0.021380432	



Duct= 5.12E+00

Elaborado por el investigador.

### REFORZAMIENTO DE VIGA POR FLEXION 2B



$c_{b\_cr}$	31.06	cm
$I_{g}$	3283826.773	cm <sup>4</sup>
$c_{a\_cr}$	19.36	cm
$I_{cr}$	181569.6385	cm <sup>4</sup>
hf	0.1	cm

PROPIEDADES DE LA VIGA		
b=	30.00	cm
h=	60.00	cm
d=	54.00	cm
$f'c$ =	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
$f_y$ =	4200.00	kg/cm <sup>2</sup>
Es=	2.00E+06	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	250998.0	kg/cm <sup>2</sup>
$n_s$ =	7.97	
$\phi_s$ =	2.85	cm
Nº barr=	4.00	
$A_s$ =	11.40	cm <sup>2</sup>
$\xi_{co}$ =	0.002	
$\xi_{cu}$ =	0.003	
fr=	33.47	kg/cm <sup>2</sup>
$\rho$ =	0.0070	

Base  
 Altura  
 Peralte efectivo  
 Resistencia a la compresion del concreto  
 Esfuerzo de fluencia del acero  
 Modulo de elasticidad del acero  
 Modulo de elasticidad del concreto  
 Relacion modular  
 Diametro de acero de refuerzo  
 Numero de barras de acero de refuerzo  
 Area del refuerzo de acero  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Modulo de roptura del concreto  
 Cuantia de acero

PROPIEDADES DEL FRP		
$n_c$ =	1.00	
$b_{fe}$	30.00	cm
$t_{fe}$	0.10	cm
$A_f$ =	3.00	cm <sup>2</sup>
$f_{fu}$ =	10000.0	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_{fu}$	0.01	
$E_f$ =	9.8E+05	kg/cm <sup>2</sup>
$C_E$ =	0.85	
$ff_u$ =	8500.00	kg/cm <sup>2</sup>
$e_{fu}$ =	0.0085	
$e_{fd}$ =	0.02	
Ti=	14.5	tm
Mi=	731.4214	tm.cm
ebi=	0.000479	
$\rho_f$ =	0.002	

Numero de capas de FRP  
 Ancho de la capa de FRP  
 Espesor de la capa de FRP  
 Area de refuerzo de FRP  
 Resistencia a tension ultima de ensayo  
 Deformacion unitaria tipica de ensayo  
 Modulo de elasticidad de las laminas de FRP  
 Factor de reduccion por expo. al medio ambien.  
 Resistencia de tension ultima de diseño  
 Deformacion unitaria de ruptura de diseño  
 Deformacion efectiva de diseño  
 Fuerza producida al momento de la inst  
 Demanda a flexion de la viga  
 Deformacion unitaria al moment.de la inst.  
 Cuantia de la lamina de FRP

#### PUNTO Cr

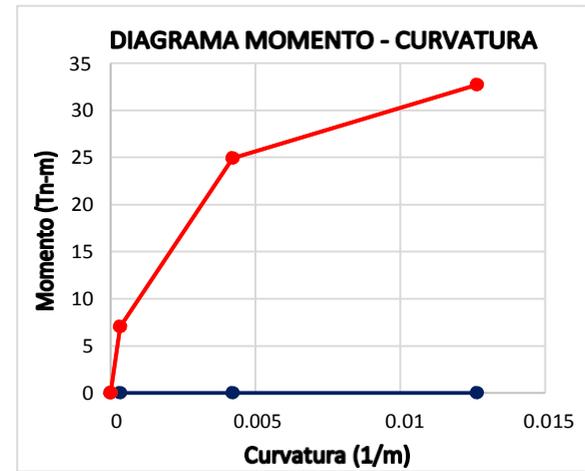
c=	30.18	cm
ec=	0.00010	
fc=	27.3	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	9.88072E-05	
Cc=	12.4643	ton
$\epsilon_s$ =	7.89264E-05	
fs=	157.8528827	kg/cm <sup>2</sup>
T=	1.799522863	ton
$\epsilon_f$ =	0	
ff=	0.0000	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$y_{cc}$ =	10.103	cm
Mcr=	7.03	tm-m
$\phi$ =	0.000331345	

#### PUNTO Y

c=	18.158	cm
ec=	0.00077	
fc=	173.3656136	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.001764632	
Cc=	50.9449	ton
$\epsilon_s$ =	0.001511593	
fs=	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	47.88	ton
$\epsilon_f$ =	0.001286044	
ff=	1256.3215	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	3.768964379	ton
$y_{cc}$ =	6.274	cm
Mcr=	24.92224989	tm-m
$\phi$ =	0.004217321	

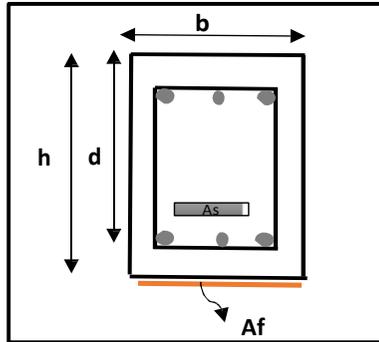
#### PUNTO U

c=	12.638	cm
ec=	0.00160	
fc=	268.8	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.005996439	
Cc=	62.2776	ton
$\epsilon_s$ =	0.005236795	
fs=	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	47.88	ton
$\epsilon_f$ =	0.005517851	
ff=	5390.3231	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	16.1709694	ton
$y_{cc}$ =	4.595	cm
Mcr=	32.70392833	tm-m
$\phi$ =	0.012660732	



Duct= 3.00E+00

### REFORZAMIENTO DE VIGA POR FLEXION 3B



$C_{b\_cr}$	31.12	cm
$I_{g}$	3283841.148	cm <sup>4</sup>
$C_{a\_cr}$	19.40	cm
$I_{cr}$	181747.7693	cm <sup>4</sup>
hf	0.2	cm

PROPIEDADES DE LA VIGA		
b=	30.00	cm
h=	60.00	cm
d=	54.00	cm
$f'c$ =	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
$f_y$ =	4200.00	kg/cm <sup>2</sup>
$E_s$ =	2.00E+06	kg/cm <sup>2</sup>
$E_c$ =	250998.0	kg/cm <sup>2</sup>
$n_s$ =	7.97	
$\phi_s$ =	2.85	cm
Nº barr=	4.00	
$A_s$ =	11.40	cm <sup>2</sup>
$\xi_{co}$ =	0.002	
$\xi_{cu}$ =	0.003	
fr=	33.47	kg/cm <sup>2</sup>
$\rho$ =	0.0070	

Base  
 Altura  
 Peralte efectivo  
 Resistencia a la compresion del concreto  
 Esfuerzo de fluencia del acero  
 Modulo de elasticidad del acero  
 Modulo de elasticidad del concreto  
 Relacion modular  
 Diametro de acero de refuerzo  
 Numero de barras de acero de refuerzo  
 Area del refuerzo de acero  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Modulo de roptura del concreto  
 Cuantia de acero

PROPIEDADES DEL FRP		
$n_c$ =	2.00	
$b_{fe}$	30.00	cm
$t_{fe}$	0.10	cm
$A_f$ =	6.00	cm <sup>2</sup>
$f_{fu}$ =	10000.0	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_{fu}$	0.01	
$E_f$ =	9.8E+05	kg/cm <sup>2</sup>
$C_E$ =	0.85	
$ff_u$ =	8500.00	kg/cm <sup>2</sup>
$e_{fu}$ =	0.0085	
$e_{fd}$ =	0.02	
Ti=	14.5	tm
Mi=	730.3891	tm.cm
ebi=	0.000477	
$\rho_{fe}$	0.004	

Numero de capas de FRP  
 Ancho de la capa de FRP  
 Espesor de la capa de FRP  
 Area de refuerzo de FRP  
 Resistencia a tension ultima de ensayo  
 Deformacion unitaria tipica de ensayo  
 Modulo de elasticidad de las laminas de FRP  
 Factor de reduccion por expo. al medio ambient.  
 Resistencia de tension ultima de diseño  
 Deformacion unitaria de ruptura de diseño  
 Deformacion efectiva de diseño  
 Fuerza producida al momento de la inst  
 Demanda a flexion de la viga  
 Deformacion unitaria al moment.de la inst.  
 Cuantia de la lamina de FRP

#### PUNTO Cr

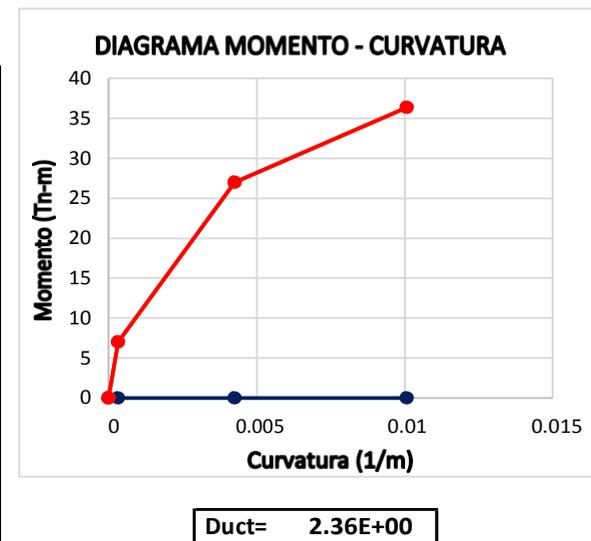
c=	30.18	cm
ec=	0.00010	
fc=	25.96825	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	9.38668E-05	
Cc=	11.8512	ton
$\epsilon_s$ =	7.49801E-05	
fs=	149.9602386	kg/cm <sup>2</sup>
T=	1.70954672	ton
$\epsilon_f$ =	0	
ff=	0.0000	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$\gamma_{cc}$ =	10.100	cm
Mcr=	7.03	tm-m
$\phi$ =	0.000314778	

#### PUNTO Y

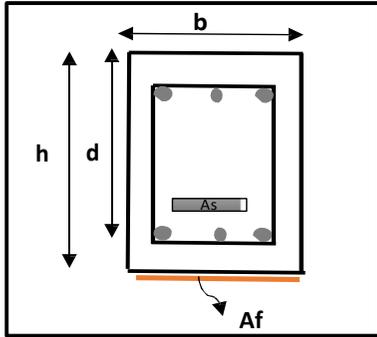
c=	18.533	cm
ec=	0.00079	
fc=	177.4452288	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.001766774	
Cc=	53.3716	ton
$\epsilon_s$ =	0.001511137	
fs=	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	47.88	ton
$\epsilon_f$ =	0.00128933	
ff=	1259.5309	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	7.55718552	ton
$\gamma_{cc}$ =	6.412	cm
Mcr=	26.97512713	tm-m
$\phi$ =	0.004260623	

#### PUNTO U

c=	14.899	cm
ec=	0.0015	
fc=	262.5	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.004540512	
Cc=	70.3997	ton
$\epsilon_s$ =	0.003936461	
fs=	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	47.88	ton
$\epsilon_f$ =	0.004063068	
ff=	3969.1623	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	23.81497399	ton
$\gamma_{cc}$ =	5.380	cm
Mcr=	36.38025881	tm-m
$\phi$ =	0.010067519	



### REFORZAMIENTO DE VIGA POR FLEXION 4B



$C_{b\_cr}$	31.17	cm
$I_{g}$	3283865.105	cm <sup>4</sup>
$C_{a\_cr}$	19.43	cm
$I_{cr}$	181927.6235	cm <sup>4</sup>
hf	0.3	cm

PROPIEDADES DE LA VIGA		
b=	30.00	cm
h=	60.00	cm
d=	54.00	cm
$f'_c$ =	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
$f_y$ =	4200.00	kg/cm <sup>2</sup>
$E_s$ =	2.00E+06	kg/cm <sup>2</sup>
$E_c$ =	250998.0	kg/cm <sup>2</sup>
$n_s$ =	7.97	
$\phi_s$ =	2.85	cm
Nº barr=	4.00	
$A_s$ =	11.40	cm <sup>2</sup>
$\xi_{co}$ =	0.002	
$\xi_{cu}$ =	0.003	
fr=	33.47	kg/cm <sup>2</sup>
$\rho$ =	0.0070	

Base  
 Altura  
 Peralte efectivo  
 Resistencia a la compresion del concreto  
 Esfuerzo de fluencia del acero  
 Modulo de elasticidad del acero  
 Modulo de elasticidad del concreto  
 Relacion modular  
 Diametro de acero de refuerzo  
 Numero de barras de acero de refuerzo  
 Area del refuerzo de acero  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Modulo de roptura del concreto  
 Cuantia de acero

PROPIEDADES DEL FRP		
$n_c$ =	3.00	
$b_{fe}$	30.00	cm
$t_{fe}$	0.10	cm
$A_{f1}$ =	9.00	cm <sup>2</sup>
$f_{fu}$ =	10000.0	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_{fu}$	0.01	
$E_{f1}$ =	9.8E+05	kg/cm <sup>2</sup>
$C_E$ =	0.85	
$ff_u$ =	8500.00	kg/cm <sup>2</sup>
$e_{fu}$ =	0.0085	
$e_{fd}$ =	0.01	
Ti=	14.5	tm
Mi=	729.356	tm.cm
ebi=	0.000476	
$\rho_{fe}$ =	0.006	

Numero de capas de FRP  
 Ancho de la capa de FRP  
 Espesor de la capa de FRP  
 Area de refuerzo de FRP  
 Resistencia a tension ultima de ensayo  
 Deformacion unitaria tipica de ensayo  
 Modulo de elasticidad de las laminas de FRP  
 Factor de reduccion por expo. al medio ambien.  
 Resistencia de tension ultima de diseño  
 Deformacion unitaria de ruptura de diseño  
 Deformacion efectiva de diseño  
 Fuerza producida al momento de la inst  
 Demanda a flexion de la viga  
 Deformacion unitaria al moment.de la inst.  
 Cuantia de la lamina de FRP

#### PUNTO Cr

c=	30.18	cm
$\epsilon_c$ =	0.0001	
$f_c$ =	25.16752	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	9.09026E-05	
Cc=	11.4827	ton
$\epsilon_s$ =	7.26123E-05	
fs=	145.2246521	kg/cm <sup>2</sup>
T=	1.655561034	ton
$\epsilon_f$ =	0	
ff=	0.0000	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$\gamma_{cc}$ =	10.099	cm
Mcr=	7.03	tm-m
$\varphi$ =	0.000304838	

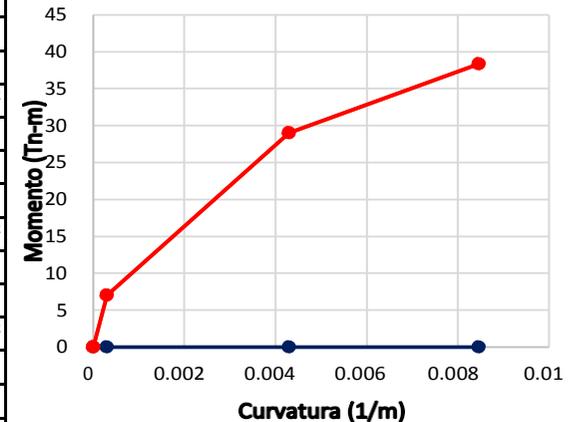
#### PUNTO Y

c=	18.908	cm
$\epsilon_c$ =	0.0008136	
$f_c$ =	181.4718528	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.001768233	
Cc=	55.8482	ton
$\epsilon_s$ =	0.001510049	
fs=	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	47.88	ton
$\epsilon_f$ =	0.001291935	
ff=	1262.0760	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	11.35868433	ton
$\gamma_{cc}$ =	6.550	cm
Mcr=	29.02957587	tm-m
$\varphi$ =	0.004303054	

#### PUNTO U

c=	16.540	cm
$\epsilon_c$ =	0.0014	
$f_c$ =	254.8	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.003678597	
Cc=	74.5623	ton
$\epsilon_s$ =	0.003170738	
fs=	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	47.88	ton
$\epsilon_f$ =	0.0032023	
ff=	3128.2886	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	28.15459751	ton
$\gamma_{cc}$ =	5.933	cm
Mcr=	38.36653763	tm-m
$\varphi$ =	0.008464329	

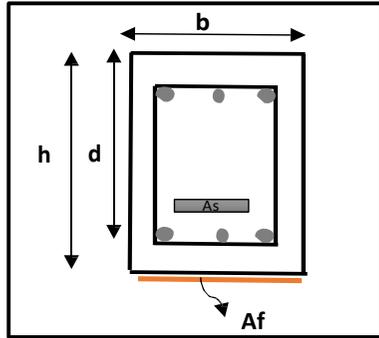
#### DIAGRAMA MOMENTO - CURVATURA



Duct= 1.97E+00

Elaborado por el investigador.

## REFORZAMIENTO DE VIGA POR FLEXION 1C



$C_{b\_cr}$	31.49	cm
$I_{R}$	3304372.568	cm <sup>4</sup>
$C_{a\_cr}$	22.96	cm
$I_{cr}$	252324.3386	cm <sup>4</sup>
hf	0	cm

PROPIEDADES DE LA VIGA		
b=	30.00	cm
h=	60.00	cm
d=	54.00	cm
$f'c$	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
$f_y$	4200.00	kg/cm <sup>2</sup>
$E_s$	2.00E+06	kg/cm <sup>2</sup>
$E_c$	250998.0	kg/cm <sup>2</sup>
$n_s$	7.97	
$\phi_s$	2.85	cm
Nº barr=	6.00	
$A_s$	17.10	cm <sup>2</sup>
$\xi_{co}$	0.002	
$\xi_{cu}$	0.003	
$f_r$	33.47	kg/cm <sup>2</sup>
$\rho$	0.0106	

Base  
 Altura  
 Peralte efectivo  
 Resistencia a la compresion del concreto  
 Esfuerzo de fluencia del acero  
 Modulo de elasticidad del acero  
 Modulo de elasticidad del concreto  
 Relacion modular  
 Diametro de acero de refuerzo  
 Numero de barras de acero de refuerzo  
 Area del refuerzo de acero  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Modulo de roptura del concreto  
 Cuantia de acero

PROPIEDADES DEL FRP		
$n_c$	0.00	
$b_{fe}$	0.00	cm
$t_{fe}$	0.10	cm
$A_f$	0.00	cm <sup>2</sup>
$f_{fu}$	10000.0	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_{fu}$	0.01	
$E_f$	9.8E+05	kg/cm <sup>2</sup>
$C_e$	0.85	
$ff_u$	8500.00	kg/cm <sup>2</sup>
$e_{fu}$	0.0085	
$e_{fd}$	0.00	
Ti=	14.3	tm
Mi=	722.7014	tm.cm
$e_{bi}$	0.000000	
$\rho_f$	0.000	

Numero de capas de FRP  
 Ancho de la capa de FRP  
 Espesor de la capa de FRP  
 Area de refuerzo de FRP  
 Resistencia a tension ultima de ensayo  
 Deformacion unitaria tipica de ensayo  
 Modulo de elasticidad de las laminas de FRP  
 Factor de reduccion por expo. al medio ambien.  
 Resistencia de tension ultima de diseño  
 Deformacion unitaria de ruptura de diseño  
 Deformacion efectiva de diseño  
 Fuerza producida al momento de la inst  
 Demanda a flexion de la viga  
 Deformacion unitaria al moment.de la inst.  
 Cuantia de la lamina de FRP

### PUNTO Cr

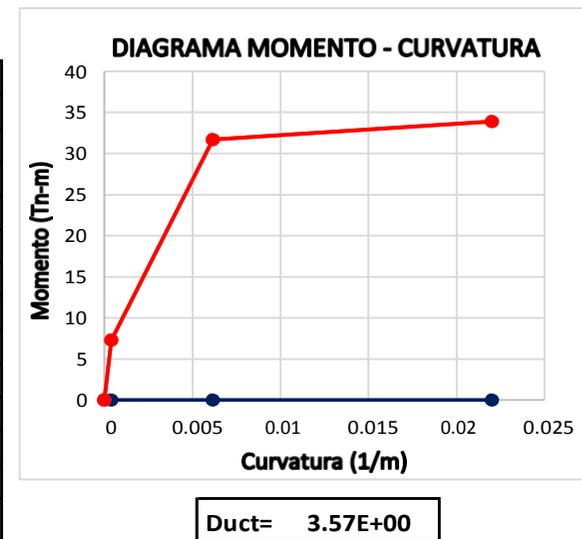
c=	30.94	cm
$\epsilon_c$	0.0001	
$f_c$	33.10970649	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$	0.000114576	
Cc=	15.5261	ton
$\epsilon_s$	9.09216E-05	
$f_s$	181.8432	kg/cm <sup>2</sup>
T=	3.10951872	ton
$\epsilon_f$	0	
ff=	0.0000	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$\gamma_{cc}$	10.366	cm
Mcr=	7.30	tm-m
$\varphi$	0.00039424	

### PUNTO Y

c=	21.413	cm
$\epsilon_c$	0.001319	
$f_c$	247.5330116	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$	0.002376902	
Cc=	92.5422	ton
$\epsilon_s$	0.002007315	
$f_s$	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	71.82	ton
$\epsilon_f$	0.002376902	
ff=	2321.9670	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$\gamma_{cc}$	7.640	cm
Mcr=	31.71232222	tm-m
$\varphi$	0.006159771	

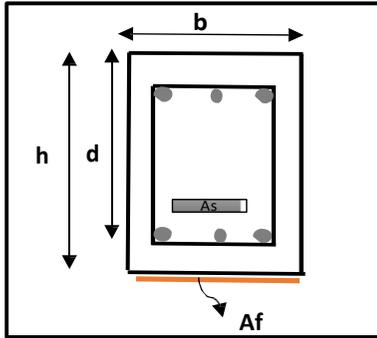
### PUNTO U

c=	13.633	cm
$\epsilon_c$	0.0030	
$f_c$	210	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$	0.010203741	
Cc=	85.8848	ton
$\epsilon_s$	0.008883367	
$f_s$	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	71.82	ton
$\epsilon_f$	0.010203741	
ff=	9967.9132	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$\gamma_{cc}$	5.680	cm
Mcr=	33.90436727	tm-m
$\varphi$	0.022006235	



Elaborado por el investigador.

## REFORZAMIENTO DE VIGA POR FLEXION 2C



$C_{b\_cr}$	31.54	cm
$I_{R}$	3304377.516	cm <sup>4</sup>
$C_{a\_cr}$	23.00	cm
$I_{cr}$	252638.6896	cm <sup>4</sup>
hf	0.1	cm

PROPIEDADES DE LA VIGA		
b=	30.00	cm
h=	60.00	cm
d=	54.00	cm
$f'c$ =	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
$f_y$ =	4200.00	kg/cm <sup>2</sup>
$E_s$ =	2.00E+06	kg/cm <sup>2</sup>
$E_c$ =	250998.0	kg/cm <sup>2</sup>
$n_s$ =	7.97	
$\phi_s$ =	2.85	cm
Nº barr=	6.00	
$A_s$ =	17.10	cm <sup>2</sup>
$\xi_{co}$ =	0.002	
$\xi_{cu}$ =	0.003	
fr=	33.47	kg/cm <sup>2</sup>
$\rho$ =	0.0106	

Base  
 Altura  
 Peralte efectivo  
 Resistencia a la compresion del concreto  
 Esfuerzo de fluencia del acero  
 Modulo de elasticidad del acero  
 Modulo de elasticidad del concreto  
 Relacion modular  
 Diametro de acero de refuerzo  
 Numero de barras de acero de refuerzo  
 Area del refuerzo de acero  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Modulo de roptura del concreto  
 Cuantia de acero

PROPIEDADES DEL FRP		
$n_c$ =	1.00	
$b_{fe}$	30.00	cm
$t_{fe}$	0.10	cm
$A_{fr}$ =	3.00	cm <sup>2</sup>
$f_{fu}$ =	10000.0	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_{fu}$	0.01	
$E_{fr}$ =	9.8E+05	kg/cm <sup>2</sup>
$C_e$ =	0.85	
$ff_u$ =	8500.00	kg/cm <sup>2</sup>
$e_{fu}$ =	0.0085	
$e_{fd}$ =	0.02	
Ti=	14.3	tm
Mi=	721.6561	tm.cm
ebi=	0.000331	
$\rho_{fe}$	0.002	

Numero de capas de FRP  
 Ancho de la capa de FRP  
 Espesor de la capa de FRP  
 Area de refuerzo de FRP  
 Resistencia a tension ultima de ensayo  
 Deformacion unitaria tipica de ensayo  
 Modulo de elasticidad de las laminas de FRP  
 Factor de reduccion por expo. al medio ambien.  
 Resistencia de tension ultima de diseño  
 Deformacion unitaria de ruptura de diseño  
 Deformacion efectiva de diseño  
 Fuerza producida al momento de la inst  
 Demanda a flexion de la viga  
 Deformacion unitaria al moment.de la inst.  
 Cuantia de la lamina de FRP

### PUNTO Cr

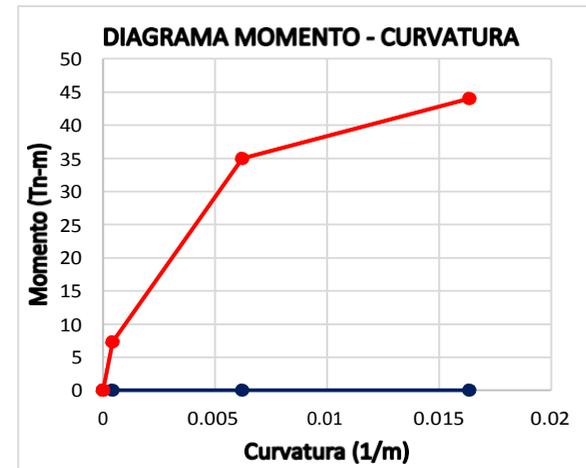
c=	30.94	cm
$\epsilon_c$ =	0.0001	
$f_c$ =	36.01954352	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.000125003	
Cc=	16.9071	ton
$\epsilon_s$ =	9.91961E-05	
$f_s$ =	198.3922909	kg/cm <sup>2</sup>
T=	3.392508175	ton
$\epsilon_f$ =	0	
ff=	0.0000	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$\gamma_{cc}$ =	10.371	cm
Mcr=	7.30	tm-m
$\varphi$ =	0.000430119	

### PUNTO Y

c=	21.743	cm
$\epsilon_c$ =	0.0014	
$f_c$ =	250.6671085	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.002380114	
Cc=	95.6758	ton
$\epsilon_s$ =	0.002006836	
$f_s$ =	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	71.82	ton
$\epsilon_f$ =	0.002049369	
ff=	2002.0039	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	6.006011689	ton
$\gamma_{cc}$ =	7.775	cm
Mcr=	34.95074365	tm-m
$\varphi$ =	0.006221299	

### PUNTO U

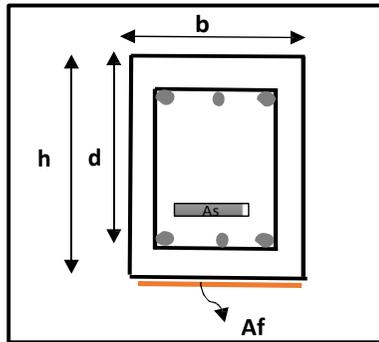
c=	16.440	cm
$\epsilon_c$ =	0.0027	
$f_c$ =	246.96217	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.007119569	
Cc=	102.4446	ton
$\epsilon_s$ =	0.006138912	
$f_s$ =	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	71.82	ton
$\epsilon_f$ =	0.006788824	
ff=	6631.9218	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	19.8957655	ton
$\gamma_{cc}$ =	6.591	cm
Mcr=	43.97794717	tm-m
$\varphi$ =	0.016344282	



Duct= 2.63E+00

Elaborado por el investigador.

### REFORZAMIENTO DE VIGA POR FLEXION 3C



$C_{b\ cr}$	31.59	cm
$I_{g}$	3304392.358	cm <sup>4</sup>
$C_{a\ cr}$	23.05	cm
$I_{cr}$	252956.0286	cm <sup>4</sup>
hf	0.2	cm

PROPIEDADES DE LA VIGA		
b=	30.00	cm
h=	60.00	cm
d=	54.00	cm
$f_c$	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
$f_y$	4200.00	kg/cm <sup>2</sup>
$E_s$	2.00E+06	kg/cm <sup>2</sup>
$E_c$	250998.0	kg/cm <sup>2</sup>
$n_s$	7.97	
$\phi_s$	2.85	cm
Nº barr=	6.00	
$A_s$	17.10	cm <sup>2</sup>
$\xi_{co}$	0.002	
$\xi_{cu}$	0.003	
fr=	33.47	kg/cm <sup>2</sup>
$\rho$	0.0106	

Base  
 Altura  
 Peralte efectivo  
 Resistencia a la compresion del concreto  
 Esfuerzo de fluencia del acero  
 Modulo de elasticidad del acero  
 Modulo de elasticidad del concreto  
 Relacion modular  
 Diametro de acero de refuerzo  
 Numero de barras de acero de refuerzo  
 Area del refuerzo de acero  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Modulo de roptura del concreto  
 Cuantia de acero

PROPIEDADES DEL FRP		
$n_c$	2.00	
$b_{fe}$	30.00	cm
$t_{fe}$	0.10	cm
$A_f$	6.00	cm <sup>2</sup>
$f_{fu}$	10000.0	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_{fu}$	0.01	
$E_f$	9.8E+05	kg/cm <sup>2</sup>
$C_E$	0.85	
$ff_u$	8500.00	kg/cm <sup>2</sup>
$e_{fu}$	0.0085	
$e_{fd}$	0.02	
Ti=	14.3	tm
Mi=	720.61	tm.cm
ebi=	0.000330	
$\rho_f$	0.004	

Numero de capas de FRP  
 Ancho de la capa de FRP  
 Espesor de la capa de FRP  
 Area de refuerzo de FRP  
 Resistencia a tension ultima de ensayo  
 Deformacion unitaria tipica de ensayo  
 Modulo de elasticidad de las laminas de FRP  
 Factor de reduccion por expo. al medio ambien.  
 Resistencia de tension ultima de diseño  
 Deformacion unitaria de ruptura de diseño  
 Deformacion efectiva de diseño  
 Fuerza producida al momento de la inst  
 Demanda a flexion de la viga  
 Deformacion unitaria al moment.de la inst.  
 Cuantia de la lamina de FRP

#### PUNTO Cr

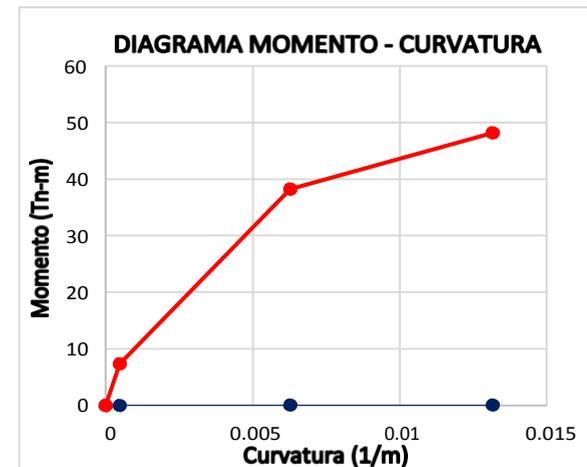
c=	30.94	cm
$\epsilon_c$	0.0001	
$f_c$	39.37957401	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$	0.000137121	
Cc=	18.5053	ton
$\epsilon_s$	0.000108813	
fs=	217.6250182	kg/cm <sup>2</sup>
T=	3.721387811	ton
$\epsilon_f$	0	
ff=	0.0000	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$y_{cc}$	10.377	cm
Mcr=	7.30	tm-m
$\phi$	0.000471816	

#### PUNTO Y

c=	22.073	cm
$\epsilon_c$	0.0014	
$f_c$	253.6705894	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$	0.00238279	
Cc=	98.8426	ton
$\epsilon_s$	0.002005841	
fs=	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	71.82	ton
$\epsilon_f$	0.002052939	
ff=	2005.4919	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	12.03295149	ton
$y_{cc}$	7.910	cm
Mcr=	38.1957637	tm-m
$\phi$	0.006282487	

#### PUNTO U

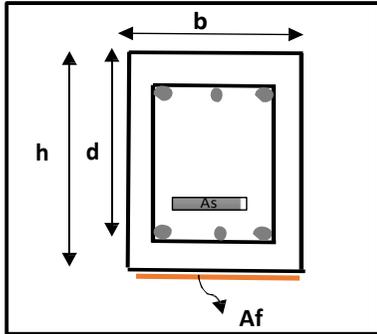
c=	18.835	cm
$\epsilon_c$	0.0025	
$f_c$	264.00612	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$	0.005415815	
Cc=	115.0679	ton
$\epsilon_s$	0.004626433	
fs=	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	71.82	ton
$\epsilon_f$	0.005085964	
ff=	4968.4173	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	29.81050387	ton
$y_{cc}$	7.383	cm
Mcr=	48.20384204	tm-m
$\phi$	0.013156358	



Duct= 2.09E+00

Elaborado por el investigador.

### REFORZAMIENTO DE VIGA POR FLEXION 4C



$C_{b\_cr}$	31.64	cm
$I_{g}$	3304417.092	cm <sup>4</sup>
$C_{a\_cr}$	23.09	cm
$I_{cr}$	253276.3604	cm <sup>4</sup>
hf	0.3	cm

PROPIEDADES DE LA VIGA		
b=	30.00	cm
h=	60.00	cm
d=	54.00	cm
$f'c$ =	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
$f_y$ =	4200.00	kg/cm <sup>2</sup>
$E_s$ =	2.00E+06	kg/cm <sup>2</sup>
$E_c$ =	250998.0	kg/cm <sup>2</sup>
$n_s$ =	7.97	
$\phi_s$ =	2.85	cm
Nº barr=	6.00	
$A_s$ =	17.10	cm <sup>2</sup>
$\xi_{co}$ =	0.002	
$\xi_{cu}$ =	0.003	
fr=	33.47	kg/cm <sup>2</sup>
$\rho$ =	0.0106	

Base  
 Altura  
 Peralte efectivo  
 Resistencia a la compresion del concreto  
 Esfuerzo de fluencia del acero  
 Modulo de elasticidad del acero  
 Modulo de elasticidad del concreto  
 Relacion modular  
 Diametro de acero de refuerzo  
 Numero de barras de acero de refuerzo  
 Area del refuerzo de acero  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Deformacion unitaria del concreto  
 Modulo de roptura del concreto  
 Cuantia de acero

PROPIEDADES DEL FRP		
$n_c$ =	3.00	
$b_{fe}$	30.00	cm
$t_{fe}$	0.10	cm
$A_{f'}$	9.00	cm <sup>2</sup>
$f_{fu}$ =	10000.0	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_{fu}$	0.01	
$E_f$ =	9.8E+05	kg/cm <sup>2</sup>
$C_e$ =	0.85	
$ff_u$ =	8500.00	kg/cm <sup>2</sup>
$e_{fu}$ =	0.0085	
$e_{fd}$ =	0.01	
Ti=	14.2	tm
Mi=	719.5631	tm.cm
ebi=	0.000329	
$\rho_f$ =	0.006	

Numero de capas de FRP  
 Ancho de la capa de FRP  
 Espesor de la capa de FRP  
 Area de refuerzo de FRP  
 Resistencia a tension ultima de ensayo  
 Deformacion unitaria tipica de ensayo  
 Modulo de elasticidad de las laminas de FRP  
 Factor de reduccion por expo. al medio ambien.  
 Resistencia de tension ultima de diseño  
 Deformacion unitaria de ruptura de diseño  
 Deformacion efectiva de diseño  
 Fuerza producida al momento de la inst  
 Demanda a flexion de la viga  
 Deformacion unitaria al moment.de la inst.  
 Cuantia de la lamina de FRP

#### PUNTO Cr

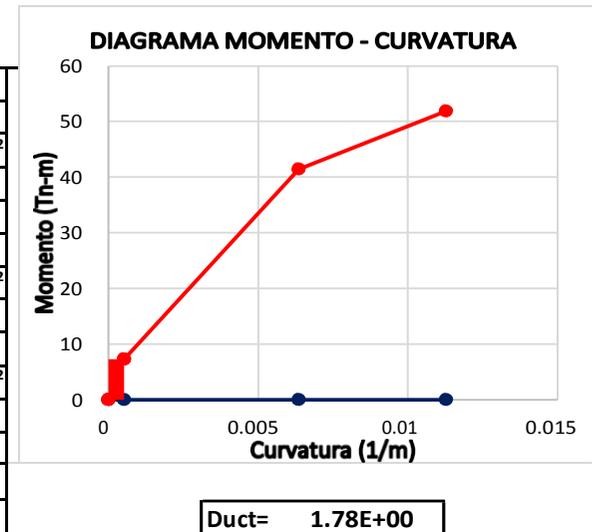
c=	30.94	cm
$\epsilon_c$ =	0.0002	
$f_c$ =	42.74208225	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.000149334	
Cc=	20.1086	ton
$\epsilon_s$ =	0.000118503	
fs=	237.0068364	kg/cm <sup>2</sup>
T=	4.052816902	ton
$\epsilon_f$ =	0	
ff=	0.0000	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	0	ton
$y_{cc}$ =	10.383	cm
Mcr=	7.30	tm-m
$\phi$ =	0.000513836	

#### PUNTO Y

c=	22.403	cm
$\epsilon_c$ =	0.0014	
$f_c$ =	256.5502305	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.002385179	
Cc=	102.0478	ton
$\epsilon_s$ =	0.00200454	
fs=	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	71.82	ton
$\epsilon_f$ =	0.002056224	
ff=	2008.7008	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	18.07830707	ton
$y_{cc}$ =	8.047	cm
Mcr=	41.44515512	tm-m
$\phi$ =	0.006343984	

#### PUNTO U

c=	19.998	cm
$\epsilon_c$ =	0.0023	
$f_c$ =	275.48388	kg/cm <sup>2</sup>
$\xi_t$ =	0.004508845	
Cc=	118.1940	ton
$\epsilon_s$ =	0.003832561	
fs=	4200	kg/cm <sup>2</sup>
T=	71.82	ton
$\epsilon_f$ =	0.00417989	
ff=	4083.2848	kg/cm <sup>2</sup>
Tf=	36.74956344	ton
$y_{cc}$ =	7.669	cm
Mcr=	51.82388998	tm-m
$\phi$ =	0.011271409	



Elaborado por el investigador.

**ANEXO 2: CUADROS COMPARATIVOS DE LOS 3  
DISEÑOS (A, B Y C), CON RESPECTO A SU MOMENTO Y  
CURVATURA.**

**RESUMEN POR CUANTILLA**

<b>DISEÑO 1A</b>	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00032982	6.77091837
0.00369808	11.8806811
0.0334173	12.185386

<b>DISEÑO 2A</b>	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.000323006	6.773971306
0.003737226	13.24416544
0.009310019	18.08924161

<b>DISEÑO 3A</b>	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.0003196	6.77040487
0.00377782	14.18454
0.00772358	20.9722187

<b>DISEÑO 4A</b>	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00031332	6.77241551
0.00381807	16.4642983
0.00675578	22.4704328

<b>DISEÑO 1B</b>	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00033529	7.03381638
0.004175	22.9731746
0.02138043	23.2002066

<b>DISEÑO 2B</b>	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.000331345	7.026730832
0.004217321	24.92224989
0.012660732	32.70392833

<b>DISEÑO 3B</b>	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00031478	7.030025
0.00426062	26.9751271
0.01006752	36.3802588

<b>DISEÑO 4B</b>	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00030484	7.02790239
0.00430305	29.0295759
0.00846433	38.3665376

<b>DISEÑO 1C</b>	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00039424	7.29672391
0.00615977	31.7123222
0.02200624	33.90437

<b>DISEÑO 2C</b>	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.000430119	7.29508924
0.006221299	34.95074365
0.016344282	43.97794717

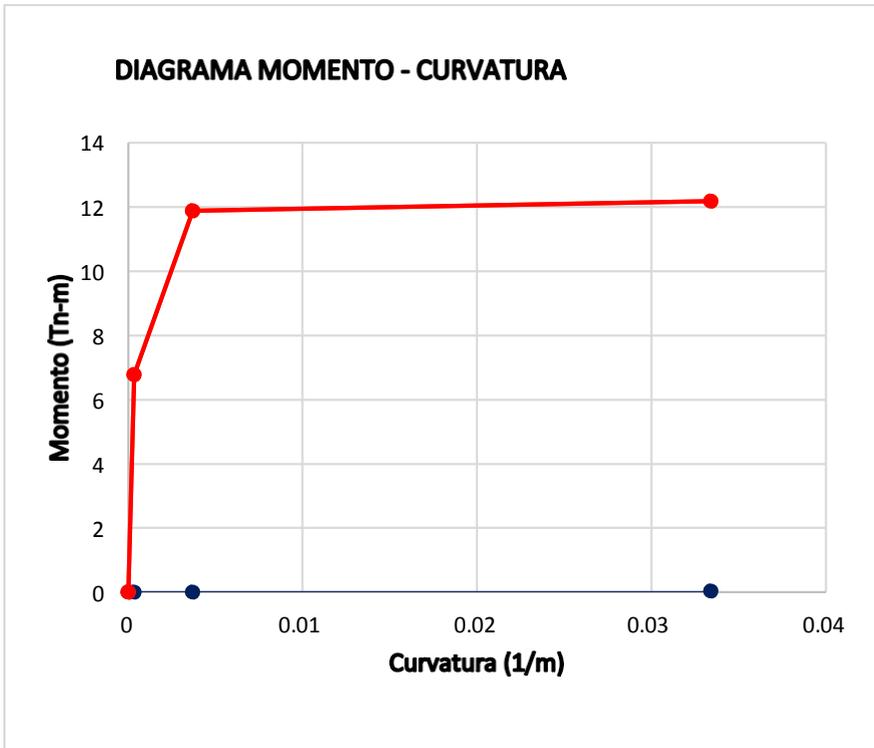
<b>DISEÑO 3C</b>	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00047182	7.29539499
0.00628249	38.1957637
0.01315636	48.203842

<b>DISEÑO 4C</b>	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00051384	7.29634003
0.00634398	41.4451551
0.01127141	51.82389

Elaborado por el investigador.

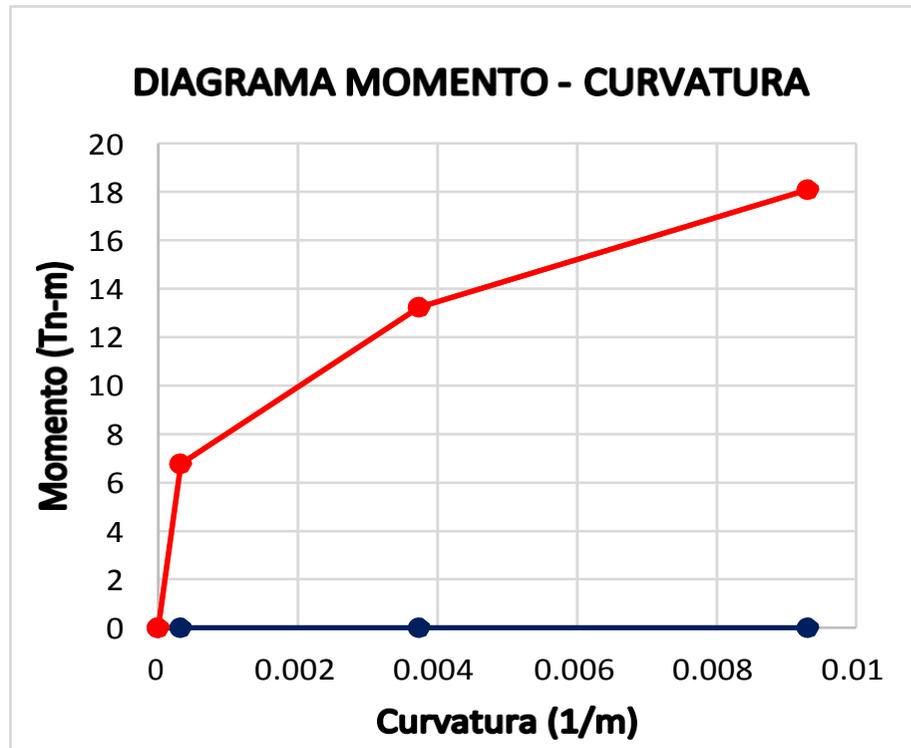
***ANEXO 3: RESUMEN DEL MOMENTO CURVATURA DEL  
DISEÑO A.***

DISEÑO 1A	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00032982	6.77091837
0.00369808	11.8806811
0.0334173	12.185386



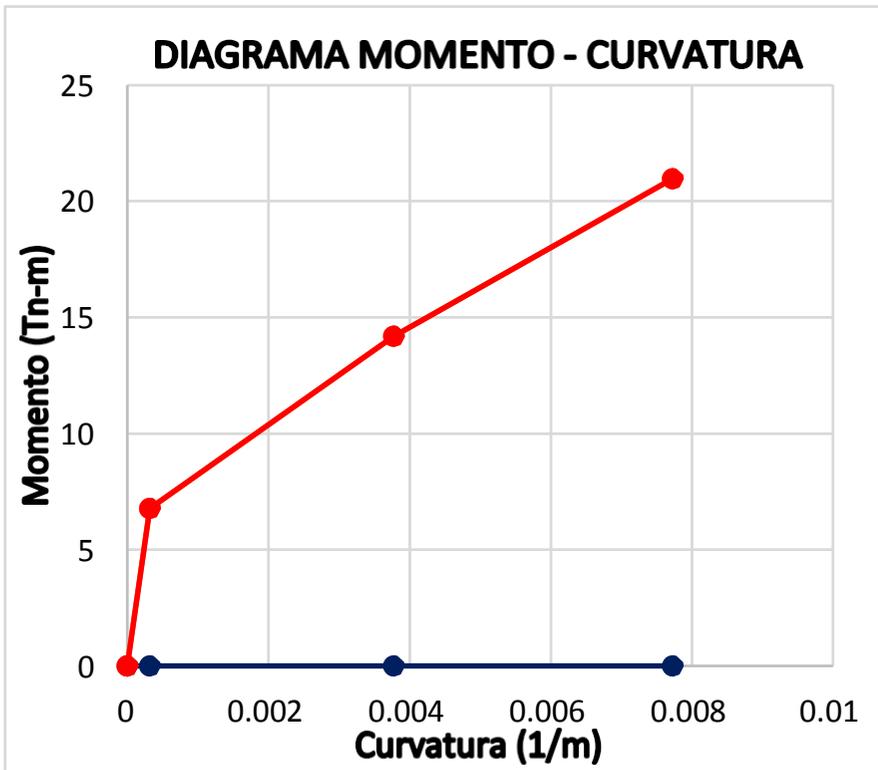
Elaborado por el investigador

DISEÑO 2A	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.000323006	6.773971306
0.003737226	13.24416544
0.009310019	18.08924161

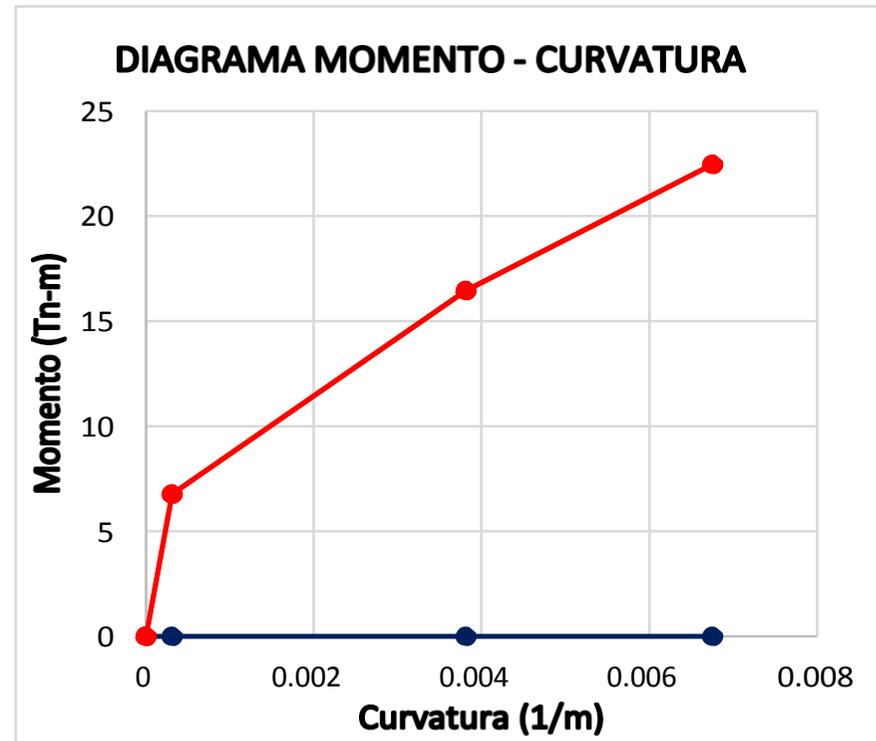


Elaborado por el investigador

DISEÑO 3A	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.0003196	6.77040487
0.00377782	14.18454
0.00772358	20.9722187



DISEÑO 4A	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00031332	6.77241551
0.00381807	16.4642983
0.00675578	22.4704328

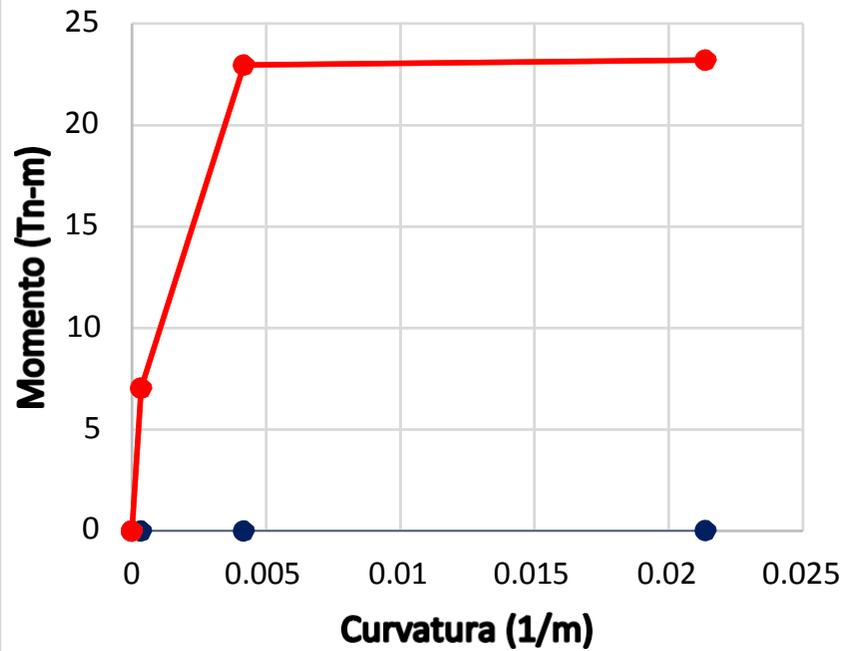


Elaborado por el investigador

***ANEXO 4: RESUMEN DEL MOMENTO CURVATURA DEL  
DISEÑO B.***

**DISEÑO 1B**

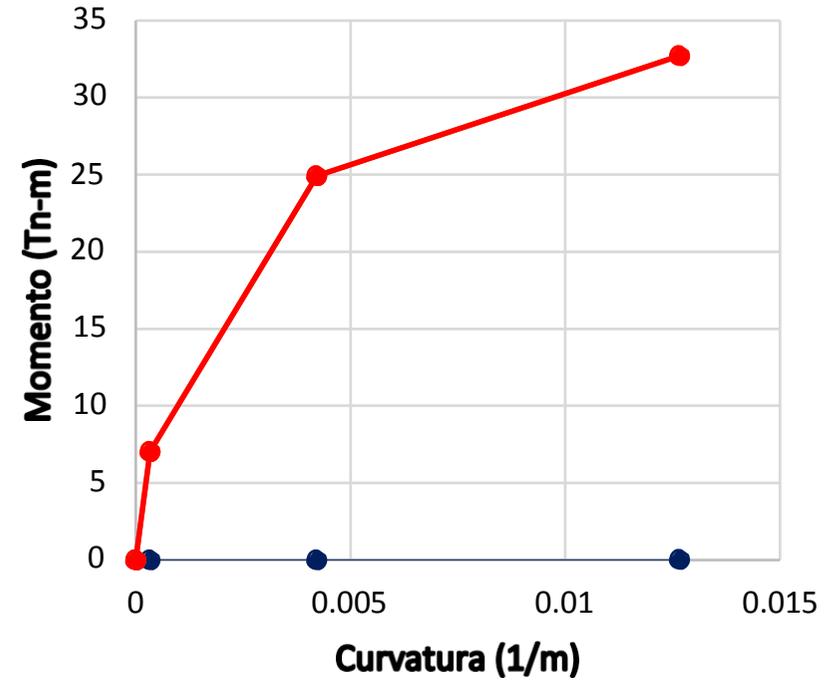
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00033529	7.03381638
0.004175	22.9731746
0.02138043	23.2002066

**DIAGRAMA MOMENTO - CURVATURA**

Elaborado por el investigador

**DISEÑO 2B**

$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.000331345	7.026730832
0.004217321	24.92224989
0.012660732	32.70392833

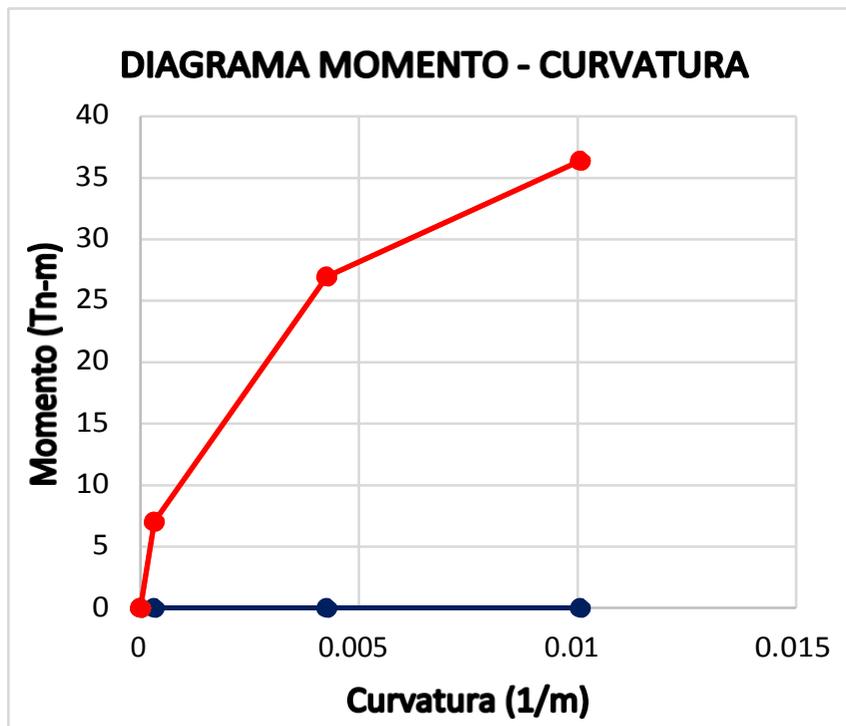
**DIAGRAMA MOMENTO - CURVATURA**

**DISEÑO 3B**

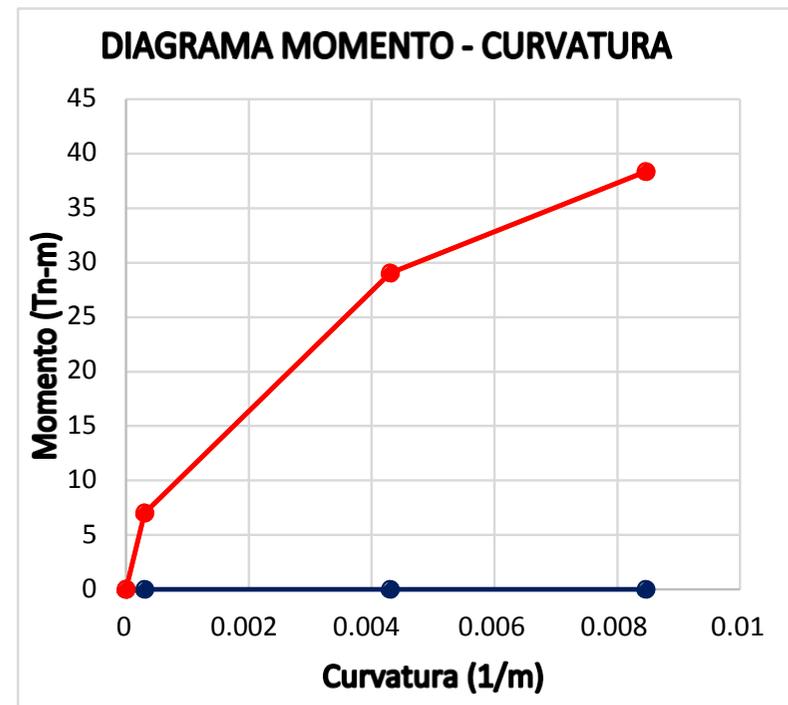
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00031478	7.030025
0.00426062	26.9751271
0.01006752	36.3802588

**DISEÑO 4B**

$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00030484	7.02790239
0.00430305	29.0295759
0.00846433	38.3665376

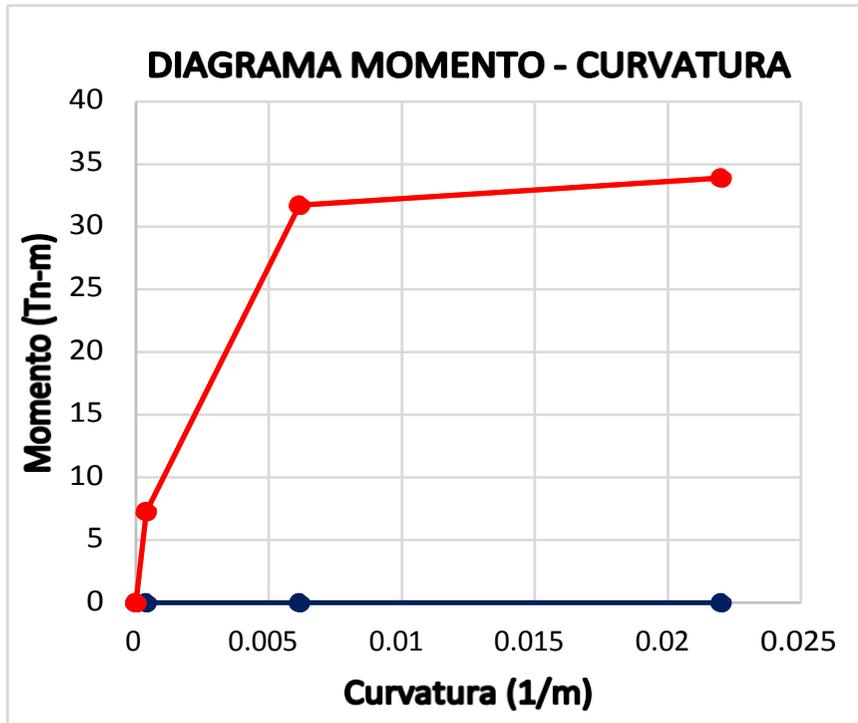


Elaborado por el investigador

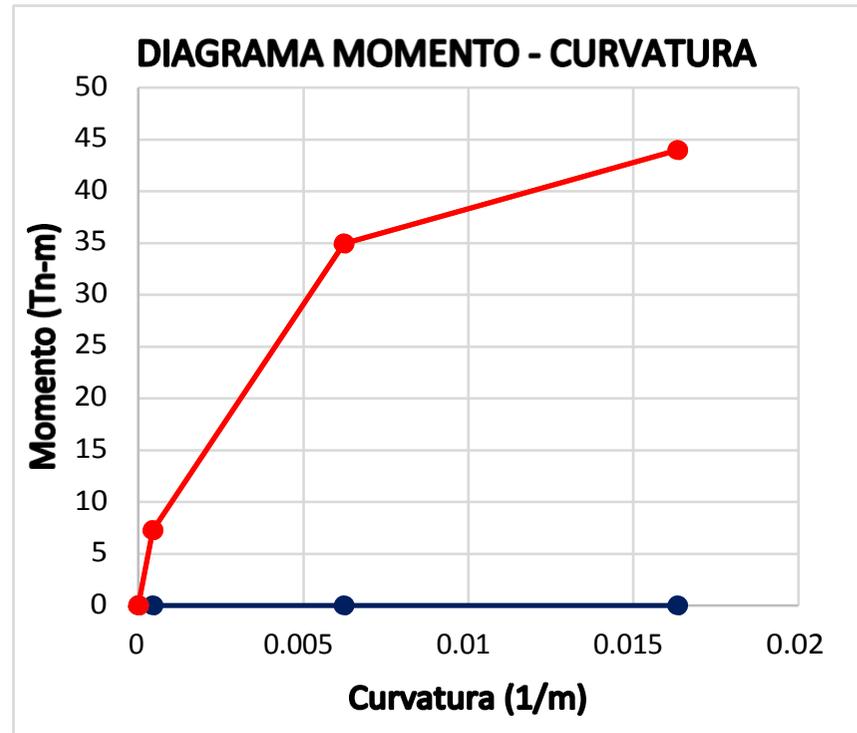


***ANEXO 5: RESUMEN DEL MOMENTO CURVATURA DEL  
DISEÑO C.***

DISEÑO 1C		DISEÑO 2C	
$\varphi$	M	$\varphi$	M
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.00039424	7.29672391	0.000430119	7.29508924
0.00615977	31.7123222	0.006221299	34.95074365
0.02200624	33.90437	0.016344282	43.97794717

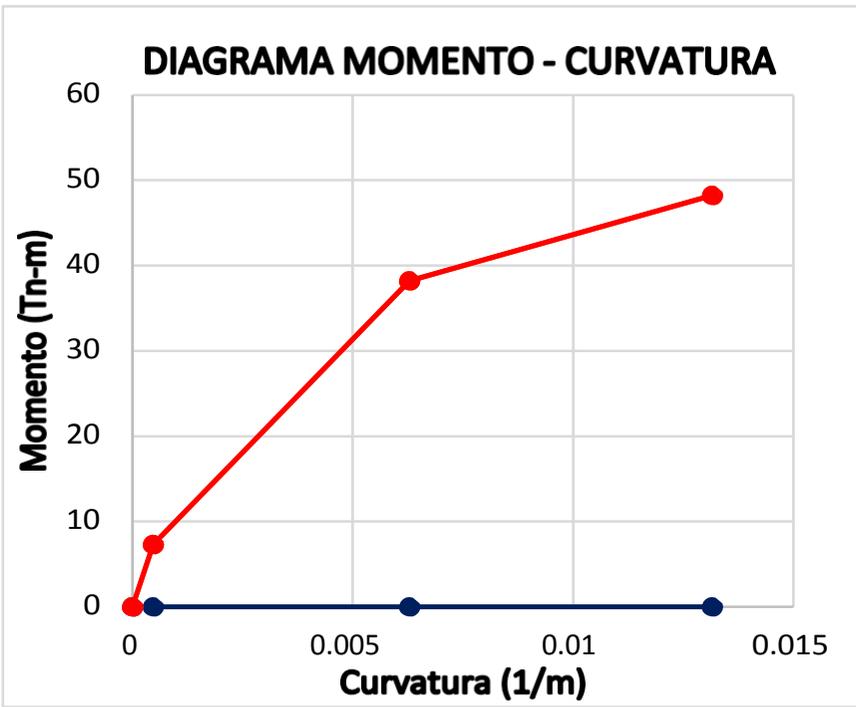


Elaborado por el investigador

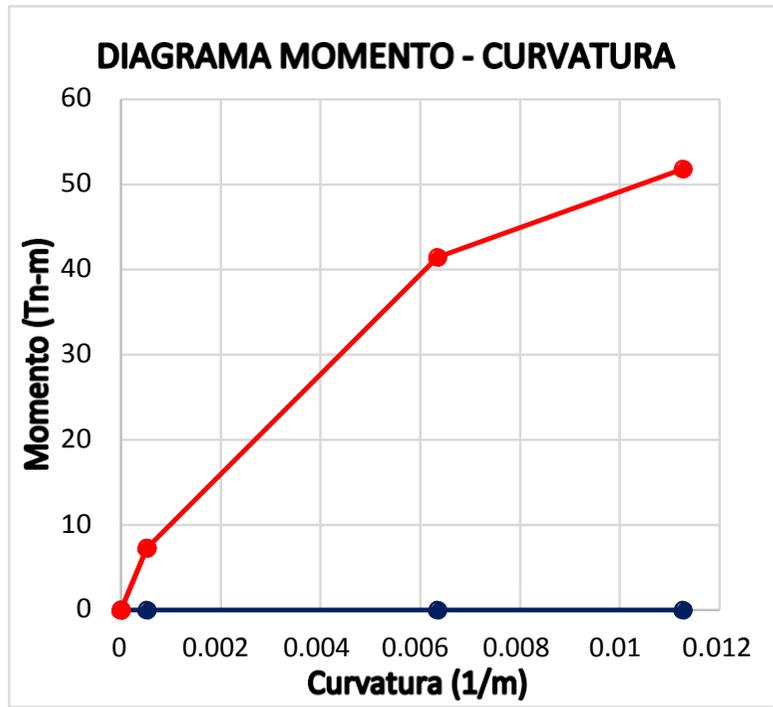


DISEÑO 3C	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00047182	7.29539499
0.00628249	38.1957637
0.01315636	48.203842

DISEÑO 4C	
$\varphi$	M
0.0000	0.0000
0.00051384	7.29634003
0.00634398	41.4451551
0.01127141	51.82389



Elaborado por el investigador



***ANEXO 6: CUADROS COMPARATIVOS DE LOS 3  
DISEÑOS (A, B Y C), CON RESPECTO A SU CUANTIA DE  
ACERO Y AREA DE FIBRA DE CARBONO.***

**RESUMEN COMPARATIVO**

CUANTIA	Af (cm <sup>2</sup> )	Mn (ton-m)	φ (1/m)	Mn'/Mn	φ'/φ
2φ 3/4"	0.00	12.18538602	7.6454	1.000	1.000
	3.00	18.08924161	1.9250	1.485	0.252
	6.00	20.9722187	1.5337	1.721	0.201
	9.00	22.4704328	1.2920	1.8440	0.169

CUANTIA	Af (cm <sup>2</sup> )	Mn (ton-m)	φ (1/m)	Mn'/Mn	φ'/φ
4φ 3/4"	0.00	23.20020658	4.4026	1.000	1.000
	3.00	32.70392833	2.4937	1.410	0.566
	6.00	36.38025881	1.8745	1.568	0.426
	9.00	38.36653763	1.5099	1.654	0.343

CUANTIA	Af (cm <sup>2</sup> )	Mn (ton-m)	φ (1/m)	Mn'/Mn	φ'/φ
6φ 3/4"	0.00	33.90436727	4.2302	1.000	1.000
	3.00	43.97794717	2.9233	1.297	0.691
	6.00	48.20384204	2.2031	1.422	0.521
	9.00	51.82388998	1.8250	1.529	0.431

Elaborado por el investigador.

***ANEXO 7: CUADROS COMPARATIVOS DE LOS 3  
DISEÑOS (A, B Y C), CON RESPECTO A SU MOMENTO Y  
DUCTILIDAD.***

RESUMEN DE DISEÑOS DE MOMENTO - DUCTILIDAD

DISEÑO A		
Nº	MOMENTO(tm.m)	DUCTILIDAD
1A	12.18538602	1.11E-01
2A	18.08924161	4.01E-01
3A	20.9722187	4.89E-01
4A	22.4704328	5.65E-01

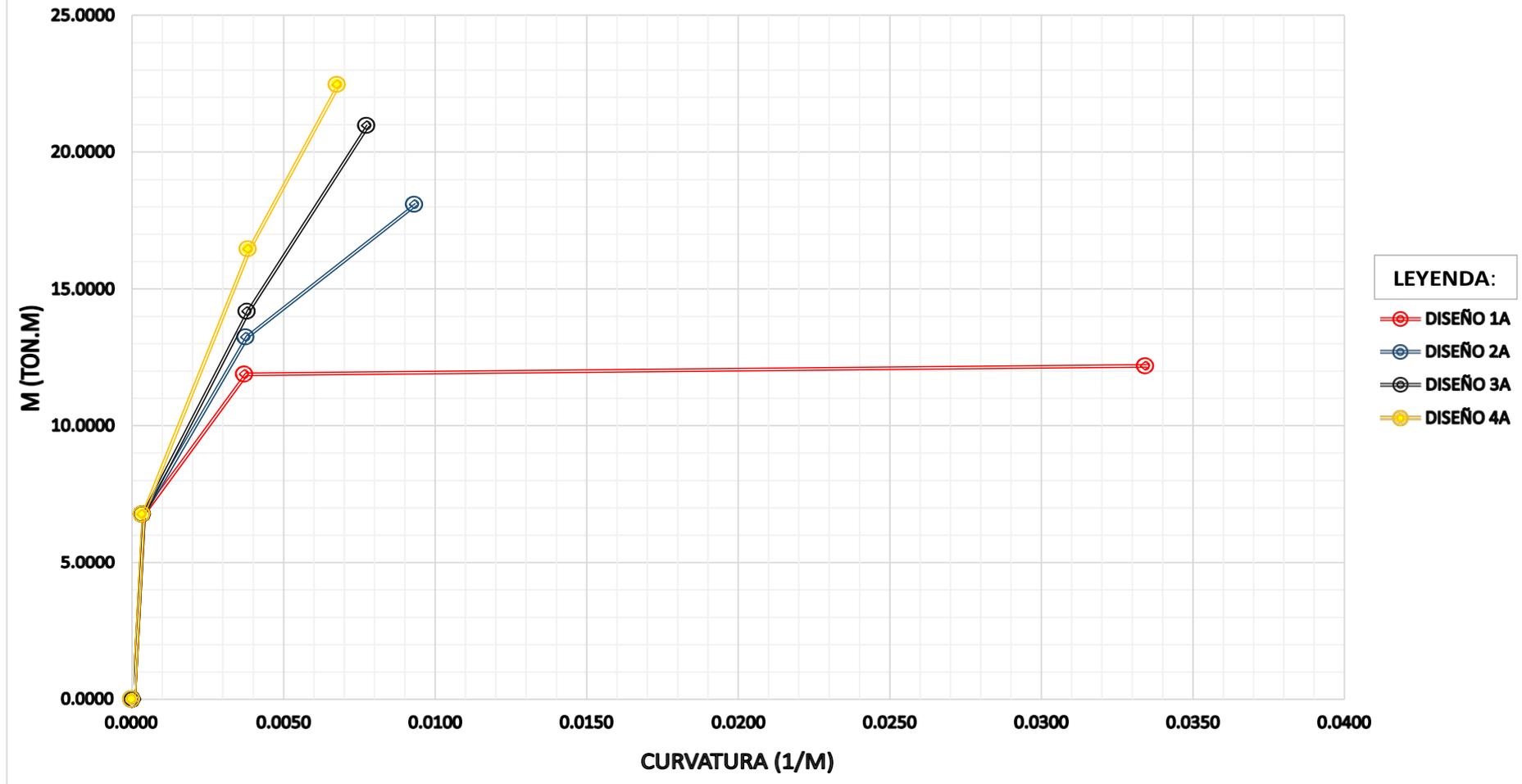
DISEÑO B		
Nº	MOMENTO(tm.m)	DUCTILIDAD
1B	23.20020658	1.95E-01
2B	32.70392833	3.33E-01
3B	36.38025881	4.23E-01
4B	38.36653763	5.08E-01

DISEÑO C		
Nº	MOMENTO(tm.m)	DUCTILIDAD
1C	33.9043673	2.80E-01
2C	43.9779472	3.81E-01
3C	48.203842	4.78E-01
4C	51.82389	5.63E-01

Elaborado por el investigador.

***ANEXO 8: GRAFICO COMPARATIVO DEL DISEÑO A  
(2 $\phi$ 3/4”), CON RESPECTO A SU MOMENTO Y CURVATURA.***

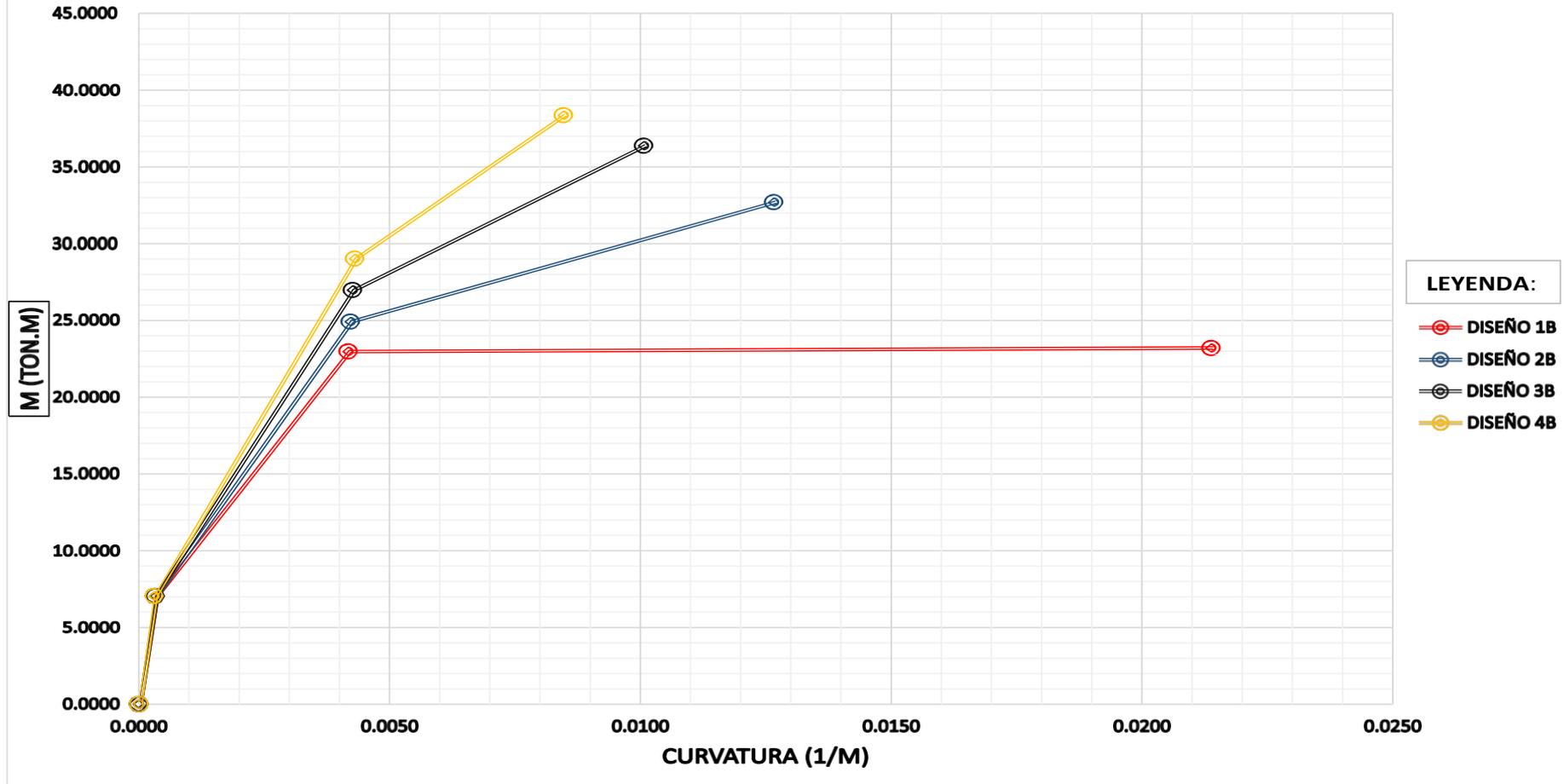
## Diseño A(2 Ø 3/4 ")



Elaborado por el investigador.

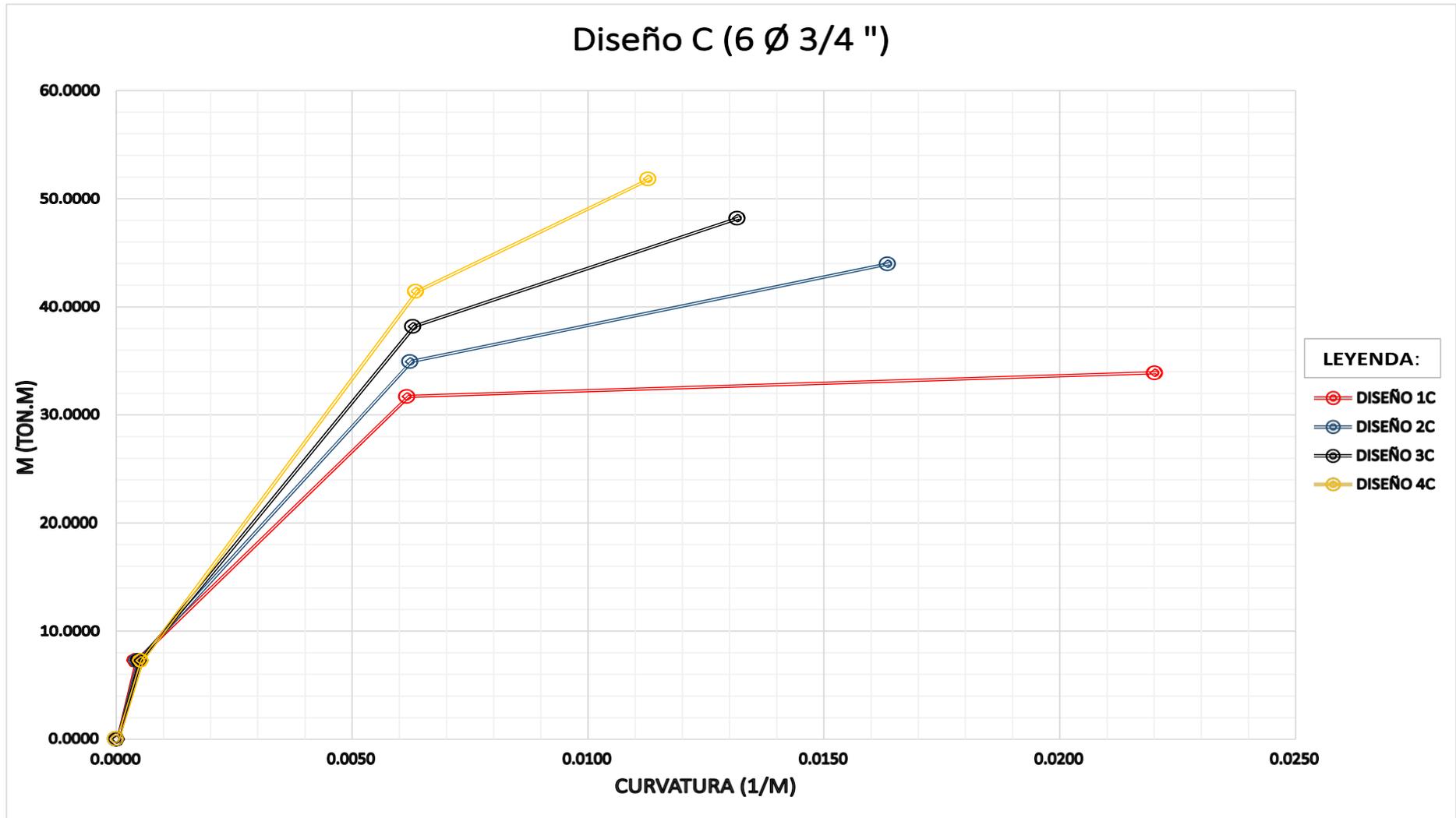
***ANEXO 9: GRAFICO COMPARATIVO DEL DISEÑO B  
(4 $\phi$ 3/4”), CON RESPECTO A SU MOMENTO Y CURVATURA.***

### Diseño B (4 Ø 3/4 ")



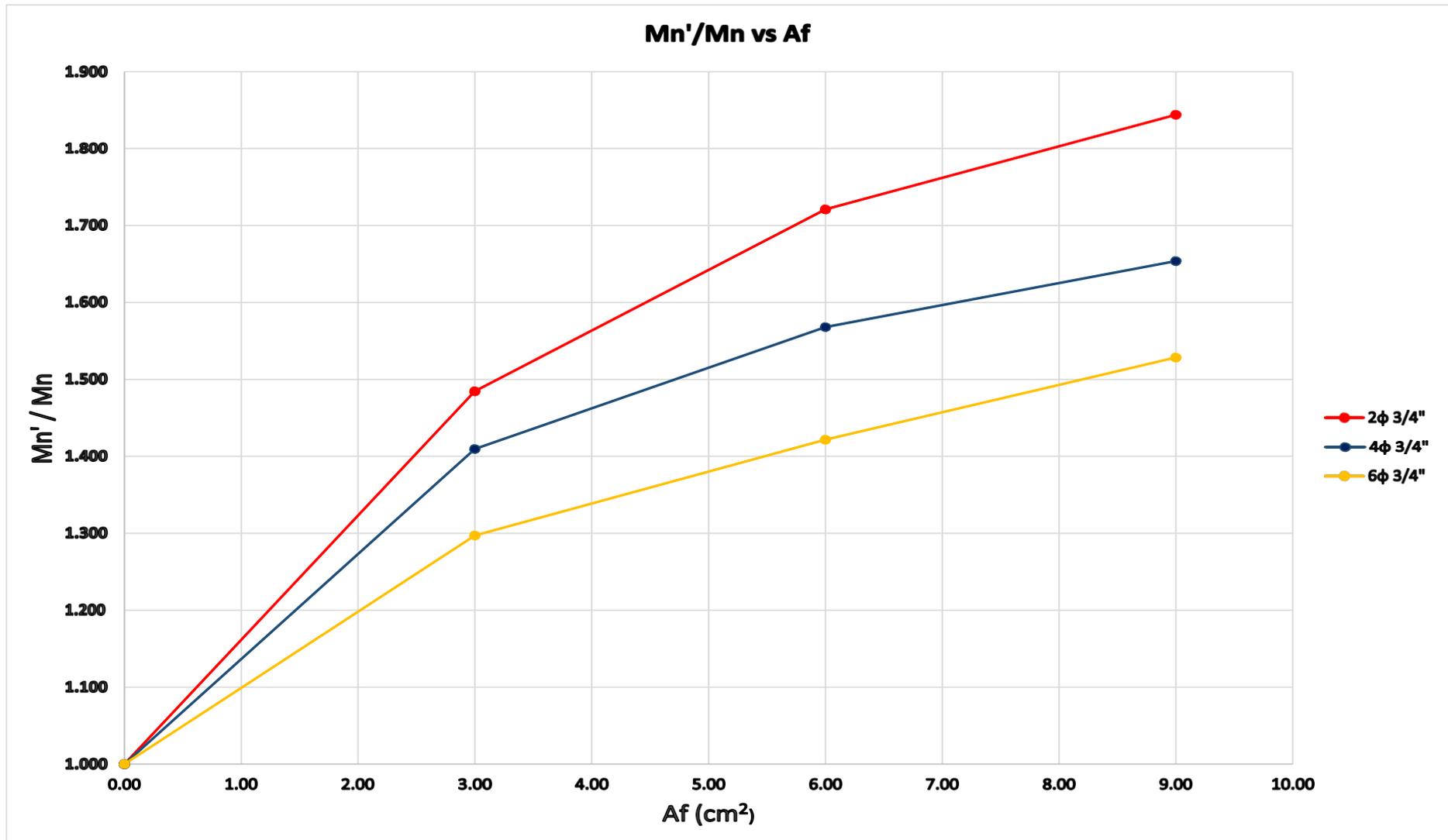
Elaborado por el investigador.

***ANEXO 10: GRAFICO COMPARATIVOS DEL DISEÑO C  
(6 $\phi$ 3/4”), CON RESPECTO A SU MOMENTO Y CURVATURA.***



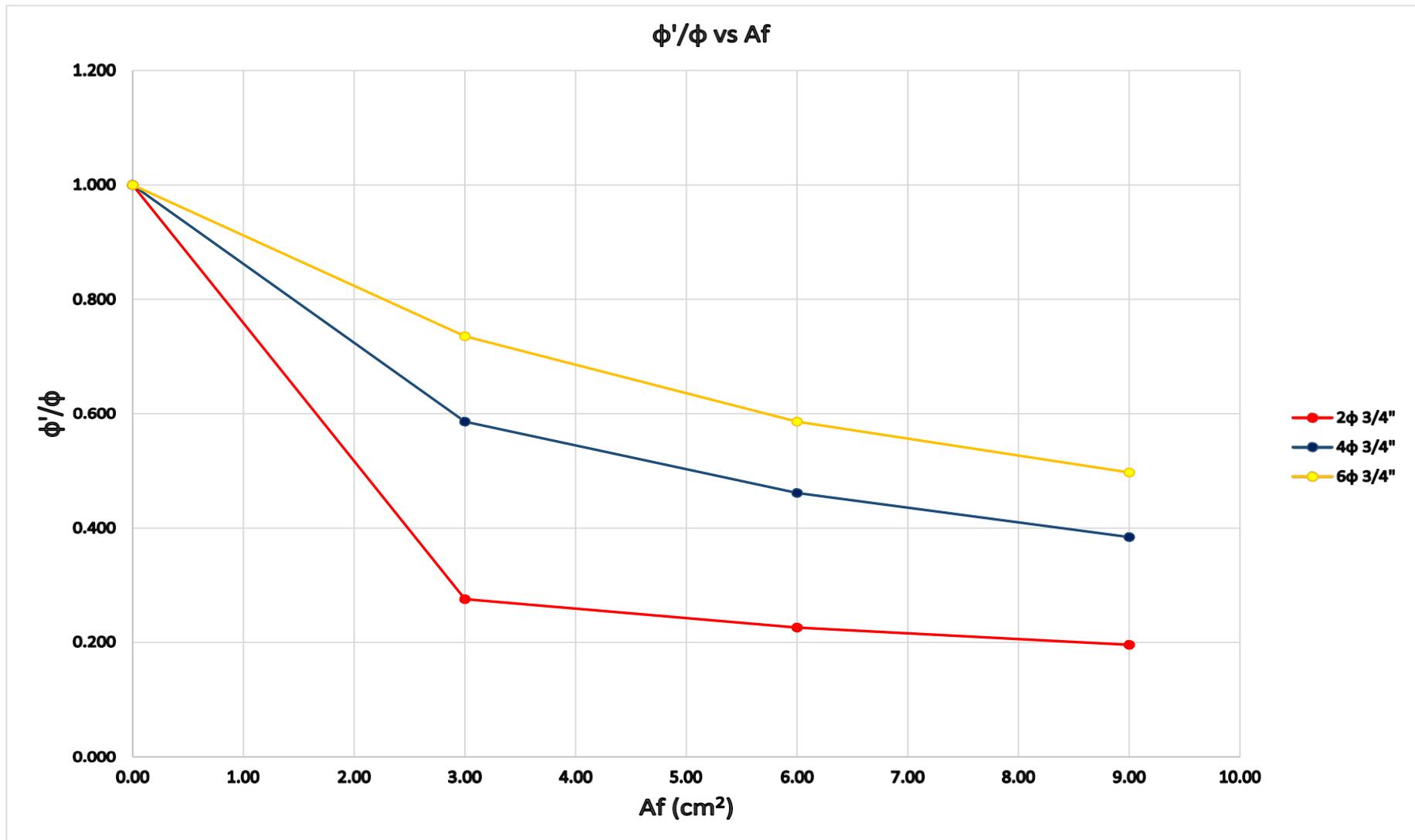
Elaborado por el investigador.

***ANEXO 11: GRAFICO COMPARATIVO CON  
RESPECTO A SU MOMENTO INICIAL Y SU MOMENTO  
FINAL DE LOS DISEÑOS A, B Y C VS SU AREA DE  
FIBRA DE CARBONO.***



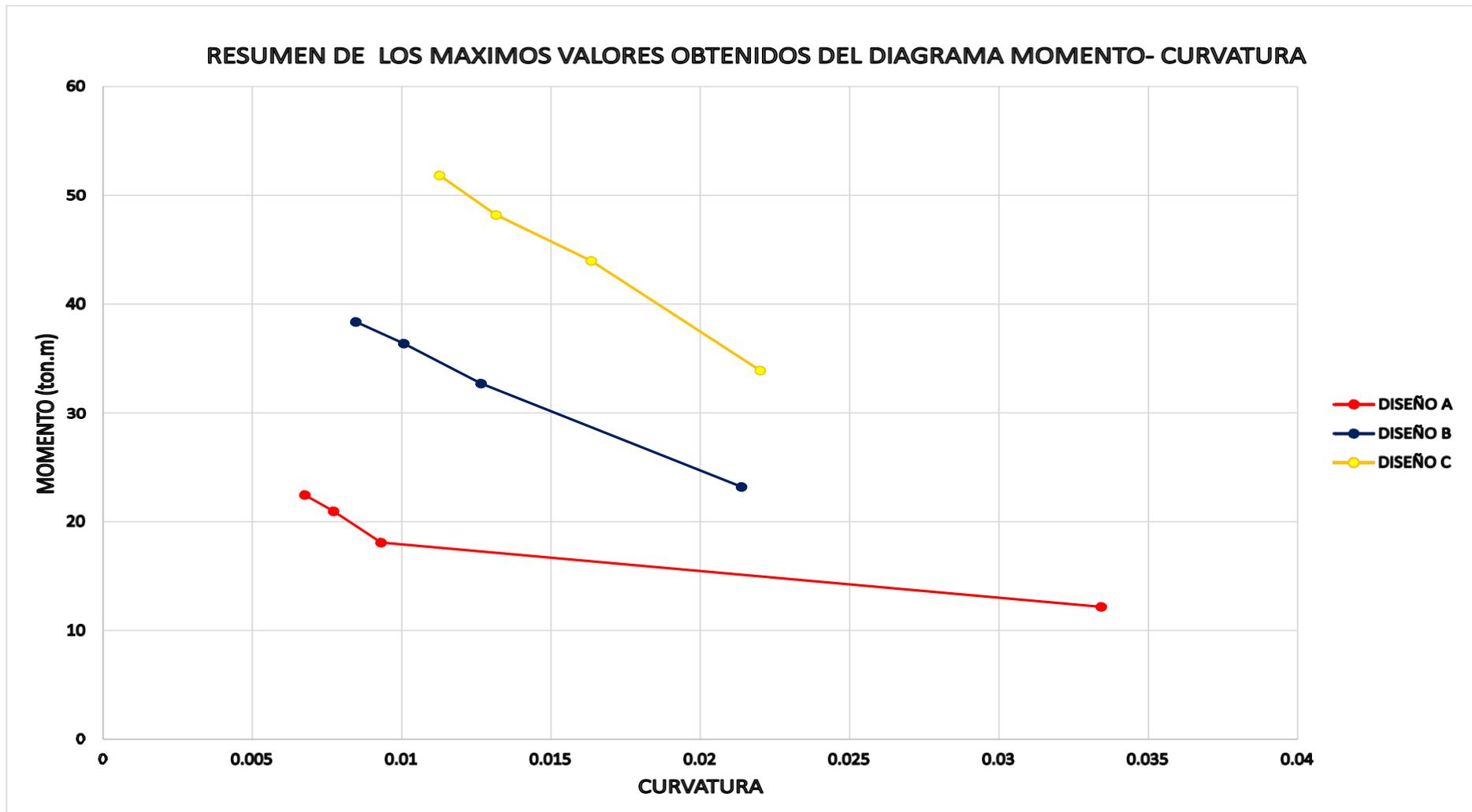
Elaborado por el investigador.

***ANEXO 12: GRAFICO COMPARATIVO CON RESPECTO A  
SU CURVATURA INICIAL Y SUS CURVATURA FINAL DE LOS  
DISEÑOS A, B Y C VS SU AREA DE FIBRA DE CARBONO.***



Elaborado por el investigador.

***ANEXO 13: GRAFICO COMPARATIVO DE MOMENTOS  
VS DUCTILIDAD DE LOS 3 DISEÑOS (A, B Y C).***

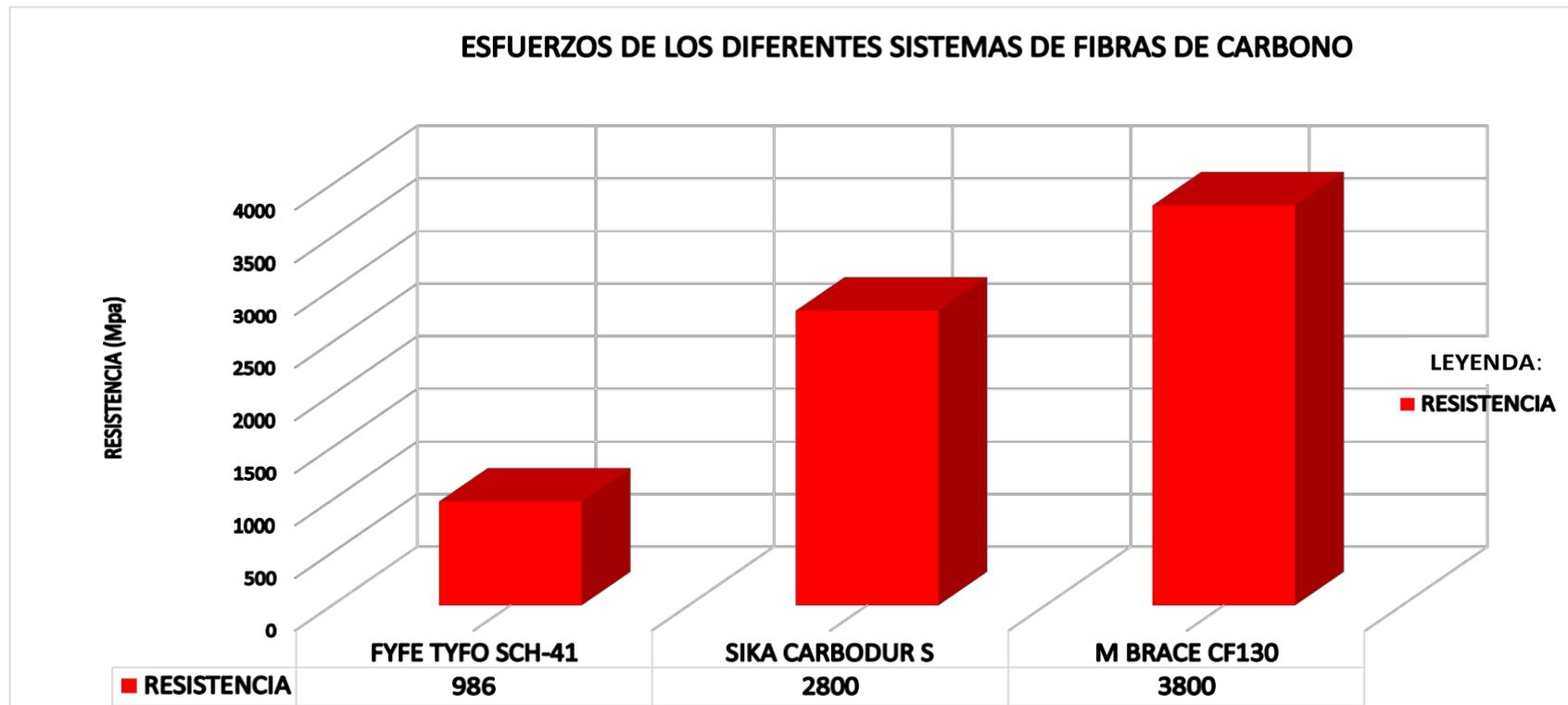


Elaborado por el investigador.

***ANEXO 14: GRAFICO COMPARATIVO DE LAS  
RESISTENCIAS ENTRE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE FIBRA  
DE CARBONO.***

## DIFERENCIAS ENTRE LAS RESISTENCIAS DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE FIBRAS DE CARBONO

FYFE TYFO SCH-41	=	986	MPA
SIKA CARBODUR S	=	2800	MPA
M BRACE CF130	=	3800	MPA

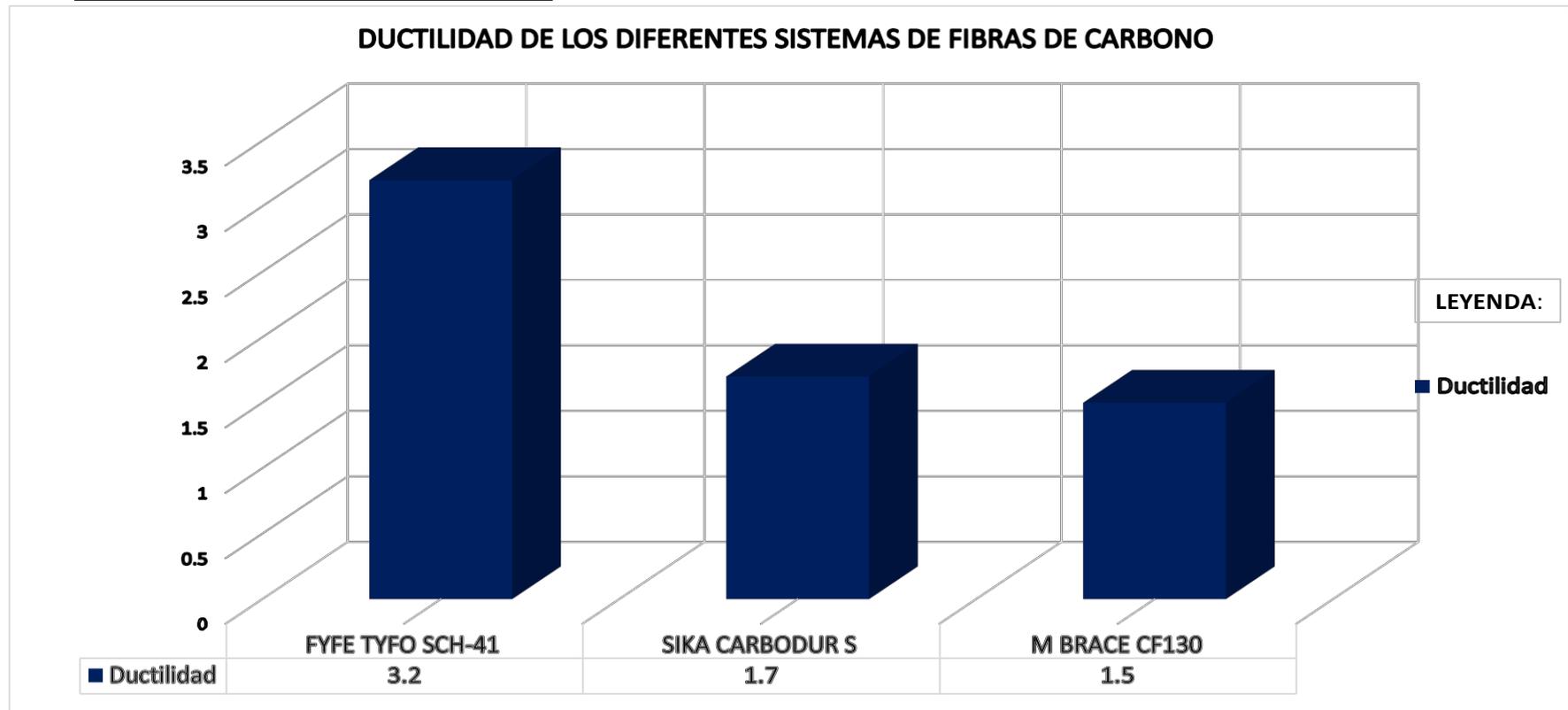


Elaborado por el investigador.

***ANEXO 15: GRAFICO COMPARATIVO DE LAS  
DUCTILIDADES ENTRE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE  
FIBRA DE CARBONO.***

### DIFERENCIAS ENTRE LAS DUCTILIDADES DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE FIBRAS DE CARBONO

FYFE TYFO SCH-41	=	3.2	%
SIKA CARBODUR S	=	1.7	%
M BRACE CF130	=	1.5	%

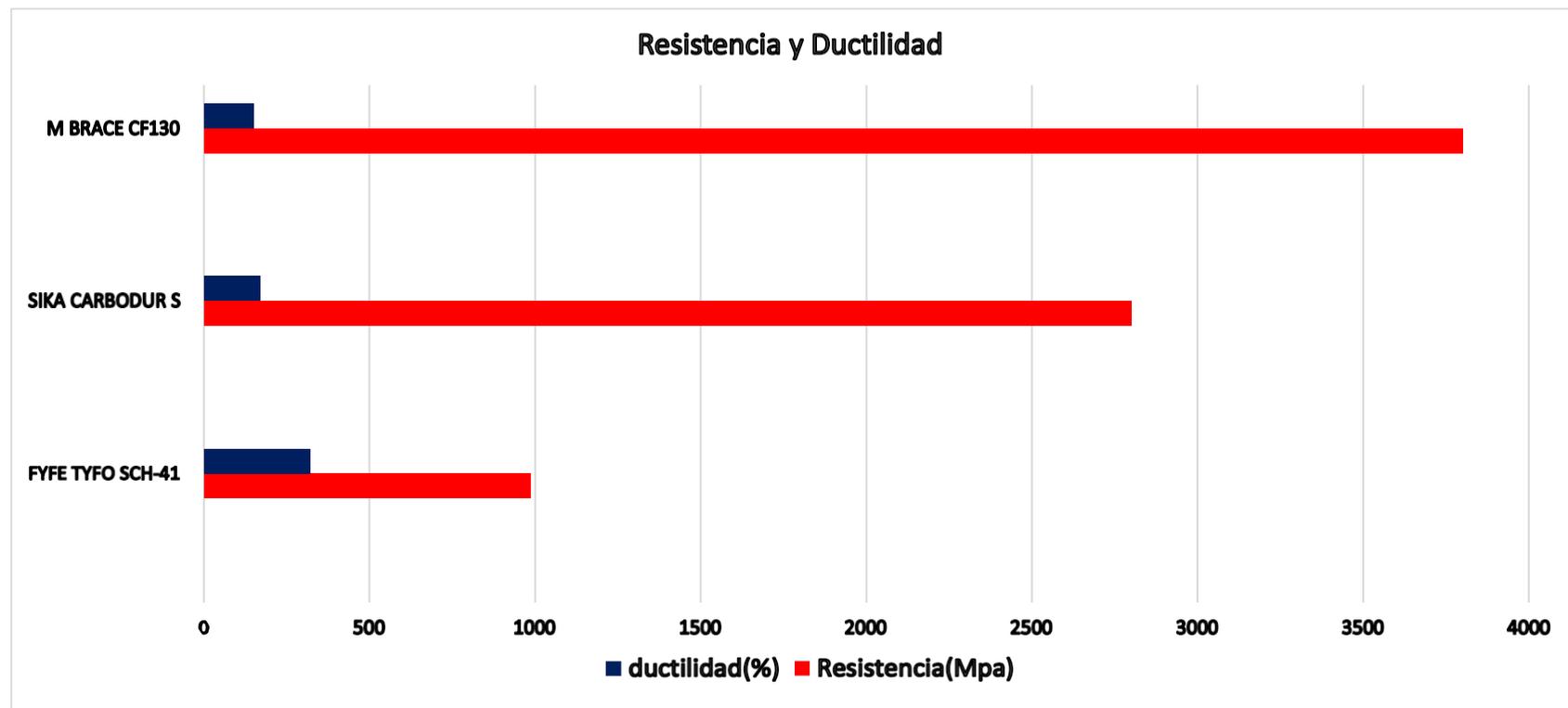


Elaborado por el investigador.

***ANEXO 16: GRAFICO COMPARATIVO DE RESISTENCIA  
VS DUCTILIDAD DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE FIBRAS  
DE CARBONO.***

## DIFERENCIAS DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE FIBRAS DE CARBONO

	FYFE TYFO SCH-41	SIKA CARBODUR S	M BRACE CF130
Resistencia(Mpa)	986	2800	3800
ductilidad(%)	320	170	150

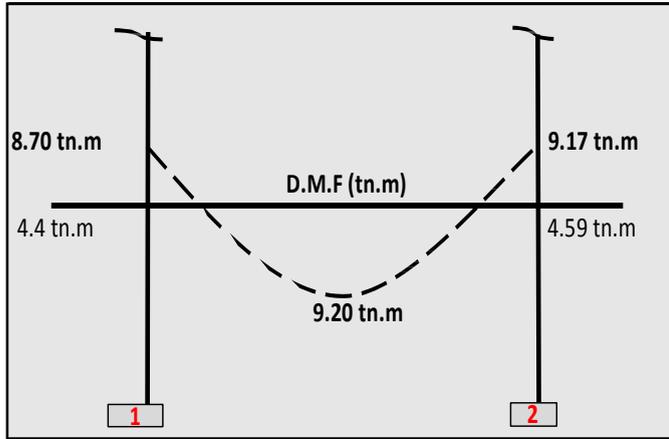


Elaborado por el investigador

***ANEXO 17: DISEÑO DE LAS VIGAS DE CONCRETO  
ARMADO, DE LAS SERIES A, B Y C.***

**Diseño de vigas Serie A**

**Diseño de la Viga para la serie A**



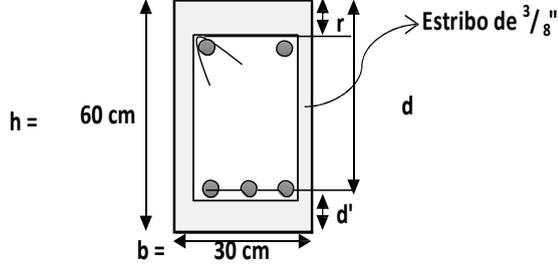
**Momentos maximos:**

- Mu<sub>1</sub>**= 4.35 tn.m
- Mu<sub>2</sub>**= 4.59 tn.m
- Mu<sub>3</sub>**= 9.20 tn.m
- Mu<sub>4</sub>**= 8.70 tn.m
- Mu<sub>5</sub>**= 9.17 tn.m

**Datos:**

- fy** = 4200 kg/cm<sup>2</sup>
- fc** = 280 kg/cm<sup>2</sup>
- β<sub>1</sub>** = 0.85
- ø** = 0.90
- b** = 30 cm
- h** = 60 cm
- rec** = 4 cm
- φ<sub>estribo</sub>** = 0.95 cm

**Detalles de la sección - Viga.**



**Zona 1** = Zona sísmica (Dpto: Lambayeque).

**A) Determinamos el peralte efectivo:**

$$d_{1c} = H - rec - \phi/2 - \phi_{estribo}$$

$$d_{1c} = 54.255 \text{ cm}$$

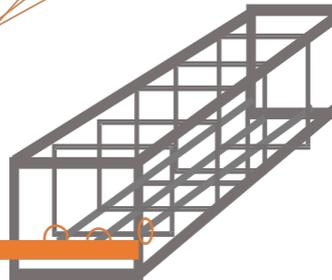
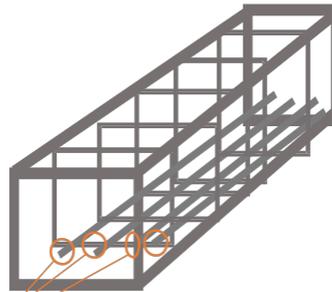
**B) Determinamos A<sub>smin</sub>:**

**ACI:**  $\left\{ \begin{array}{l} \phi = 0.90 \text{ (Flexión).} \\ \phi = 0.65 \text{ (Corte).} \end{array} \right.$

$$A_{smin} = \frac{14.1}{4200} * b * d = 5.46 \text{ cm}^2 \text{ -----> } 4 \phi^{1/2}$$

**E.060:**  $\left\{ \begin{array}{l} \phi = 0.90 \text{ (Flexión).} \\ \phi = 0.85 \text{ (Corte).} \end{array} \right.$

$$A_{smin} = \frac{0.70 * \sqrt{f_c}}{f_y} * b * d = 4.54 \text{ cm}^2 \text{ -----> } 3 \phi^{1/2}$$



Elaborado por el investigador.

**C) Determinamos "ρ<sub>b</sub>":**

$$\rho_b = \frac{0.85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot C_b}{f_y \cdot d}$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \cdot 210 \cdot 0.85 \cdot \left( \frac{6117}{4200 + 6117} \right)}{4200}$$

**ρ<sub>b</sub> = 0.028558**

**ρ<sub>max</sub> = 0.50 x ρ<sub>b</sub> = 0.01428** (Zona sismica)      **ρ<sub>max</sub> = 0.75 x ρ<sub>b</sub> = 0.0214** (ZONA NO SISMICA)

De acuerdo a mi zona de estudio (Zona 4 - Dpto. Lambayeque) utilizaria la siguiente fórmula:

**As<sub>max</sub> (Z. Sismica) = ρ<sub>max</sub> x b x d<sub>1c</sub> = 23.241 cm<sup>2</sup>**      **As<sub>max</sub> (Z. no Sismica) = ρ<sub>max</sub> x b x d<sub>1c</sub> = 34.86213082**

**D) Sin embargo el acero necesario a utilizar será definido por la siguiente fórmula:**

$$As(cm^2) = \frac{0.85 \cdot f'c \cdot b \cdot d \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Mu(kg.cm)}{0.85 \cdot \phi \cdot f'c \cdot b \cdot d^2}} \right)}{f_y}$$

$$p = \frac{As}{b \cdot d}$$

**As (cm<sup>2</sup>) = 4.601 cm<sup>2</sup>**

**p = 0.002827**

**E) En resumen:**

$$a = \frac{As \cdot f_y}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{As \cdot 4200}{0.85 \cdot 210 \cdot b} = 3.214 \text{ cm}$$

$$Mu = \phi \cdot As \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) = 10.874 \text{ tn.m}$$

$$a = \frac{As \cdot f_y}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{As \cdot 4200}{0.85 \cdot 210 \cdot b} = 2.670 \text{ cm}$$

$$Mu = \phi \cdot As \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) = 9.080 \text{ tn.m}$$

	As (cm <sup>2</sup> )	a (cm)	Mu (tn.m)
<b>As min( ACI)</b>	5.464	3.214	10.874
<b>As min(E.060)</b>	4.539	2.670	9.080
<b>As max (sin sismo)</b>	34.862	20.507	57.985
<b>As Max(con sismo)</b>	23.241	13.671	41.659
<b>As necesario (con sismo)</b>	<b>4.601</b>	2.706	9.200

**Distribuyendo el acero de refuerzo.**

N° de Varillas	∅	As (cm <sup>2</sup> )	Total (cm <sup>2</sup> )
0	1/2"	1.27	0.00
0	5/8 "	1.98	0.00
2	3/4"	2.85	5.70
0	7/8"	3.88	0.00
0	1 "	5.07	0.00
As° =	3/4"	3/4"	<b>5.7 cm<sup>2</sup></b>
<b>4.601 cm<sup>2</sup> &lt; 5.700 cm<sup>2</sup> As &lt; As°</b>			<b>CUMPLE</b>

**Verificando el requerimiento de la cuantía con el acero distribuido:**

Determinando la nueva Cuantía: ρ<sub>d</sub> = 0.0035

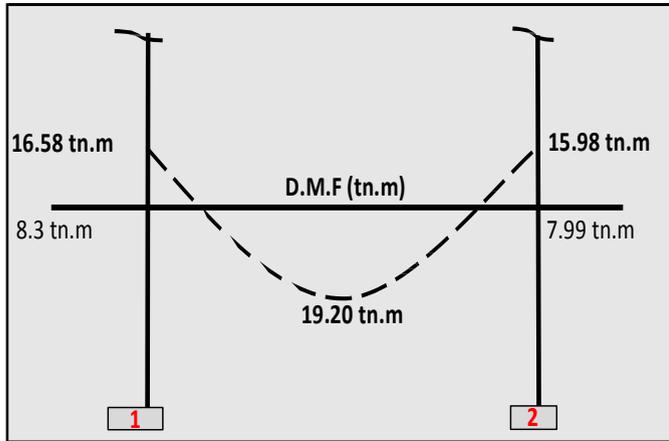
Por lo tanto **ρ<sub>d</sub> > ρ<sub>necesaria</sub>** esto es:      ρ<sub>d</sub> > ρ<sub>necesaria</sub>  
 0.0035 > 0.0028 **CUMPLE**

Por lo tanto **Mu<sub>d</sub> > Mu<sub>max</sub>** esto es:      Mu<sub>d</sub> > Mu<sub>max</sub>  
 11.329 tn.m > 9.2 tn.m **CUMPLE**

Elaborado por el investigador.

**Diseño de vigas Serie B**

**Diseño de la Viga para la serie B**



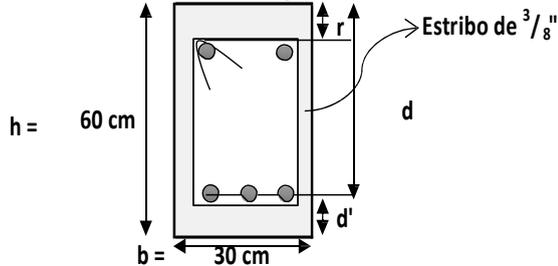
**Momentos máximos:**

- $Mu_1 = 8.29 \text{ tn.m}$
- $Mu_2 = 7.99 \text{ tn.m}$
- $Mu_3 = 19.20 \text{ tn.m}$
- $Mu_4 = 16.58 \text{ tn.m}$
- $Mu_5 = 15.98 \text{ tn.m}$

**Datos:**

- $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- $\beta_1 = 0.85$
- $\phi = 0.90$
- $b = 30 \text{ cm}$
- $h = 60 \text{ cm}$
- $rec = 4 \text{ cm}$
- $\phi_{estribo} = 0.95 \text{ cm}$

**Detalles de la sección - Viga.**



Zona 1 = Zona sísmica (Dpto: Lambayeque).

**A) Determinamos el peralte efectivo:**

$$d_{1c} = H - rec - \phi/2 - \phi_{estribo}$$

$$d_{1c} = 54.255 \text{ cm}$$

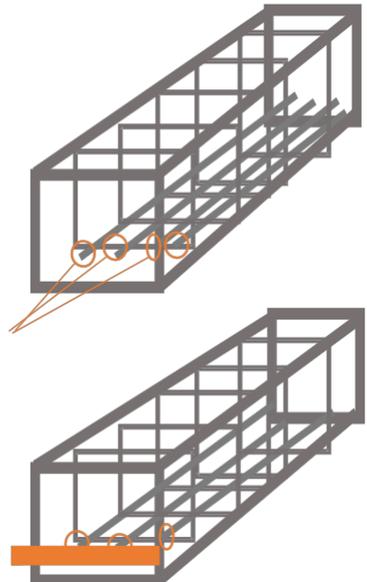
**B) Determinamos  $A_{smin}$ :**

**ACI:**  $\left\{ \begin{array}{l} \phi = 0.90 \text{ (Flexión).} \\ \phi = 0.65 \text{ (Corte).} \end{array} \right.$

$$A_{smin} = \frac{14.1}{4200} * b * d = 5.46 \text{ cm}^2 \rightarrow 4 \phi^{1/2}$$

**E.060:**  $\left\{ \begin{array}{l} \phi = 0.90 \text{ (Flexión).} \\ \phi = 0.85 \text{ (Corte).} \end{array} \right.$

$$A_{smin} = \frac{0.70 * \sqrt{f_c}}{f_y} * b * d = 4.54 \text{ cm}^2 \rightarrow 3 \phi^{1/2}$$



Elaborado por el investigador.

C) Determinamos " $\rho_b$ ":

$$\rho_b = \frac{0.85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot C_b}{f_y \cdot d}$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \cdot 210 \cdot 0.85 \cdot \left( \frac{6117}{4200 + 6117} \right)}{4200}$$

$$\rho_b = 0.028558$$

$$\rho_{\max} = 0.50 \times \rho_b = 0.01428$$

(Zona sísmica)

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b = 0.0214$$

(ZONA NO SISMICA)

De acuerdo a mi zona de estudio (Zona 4 - Dpto. Lambayeque) utilizaría la siguiente fórmula:

$$As_{\max} (\text{Z. Sísmica}) = \rho_{\max} \times b \times d_{1c} = 23.241 \text{ cm}^2 \quad As_{\max} (\text{Z. no Sísmica}) = \rho_{\max} \times b \times d_{1c} = 34.86213082$$

D) Sin embargo el acero necesario a utilizar será definido por la siguiente fórmula:

$$As(\text{cm}^2) = \frac{0.85 \cdot f'c \cdot b \cdot d \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Mu(\text{kg.cm})}{0.85 \cdot \phi \cdot f'c \cdot b \cdot d^2}} \right)}{f'c \cdot y} \quad \rho = \frac{As}{b \cdot d}$$

$$As (\text{cm}^2) = 9.893 \text{ cm}^2$$

$$\rho = 0.006078$$

E) En resumen:

$$a = \frac{As \cdot f_y}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{As \cdot 4200}{0.85 \cdot 210 \cdot b} = 3.214 \text{ cm}$$

$$Mu = \phi \cdot As \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) = 10.874 \text{ tn.m}$$

$$a = \frac{As \cdot f_y}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{As \cdot 4200}{0.85 \cdot 210 \cdot b} = 2.670 \text{ cm}$$

$$Mu = \phi \cdot As \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) = 9.080 \text{ tn.m}$$

	As (cm <sup>2</sup> )	a (cm)	Mu (tn.m)
As min( ACI)	5.464	3.214	10.874
As min(E.060)	4.539	2.670	9.080
As max (sin sismo)	34.862	20.507	57.985
As Max(con sismo)	23.241	13.671	41.659
As necesario (con sismo)	9.893	5.819	19.200

Distribuyendo el acero de refuerzo.

N° de Varillas	Ø	As (cm <sup>2</sup> )	Total (cm <sup>2</sup> )
0	1/2"	1.27	0.00
0	5/8 "	1.98	0.00
4	3/4"	2.85	11.40
0	7/8"	3.88	0.00
0	1 "	5.07	0.00
As° =	3/4"	3/4"	11.4 cm <sup>2</sup>
9.893 cm <sup>2</sup> < 11.400 cm <sup>2</sup> As < As°			CUMPLE

Verificando el requerimiento de la cuantía con el acero distribuido:

$$\text{Determinando la nueva Cuantía: } \rho_d = 0.0070$$

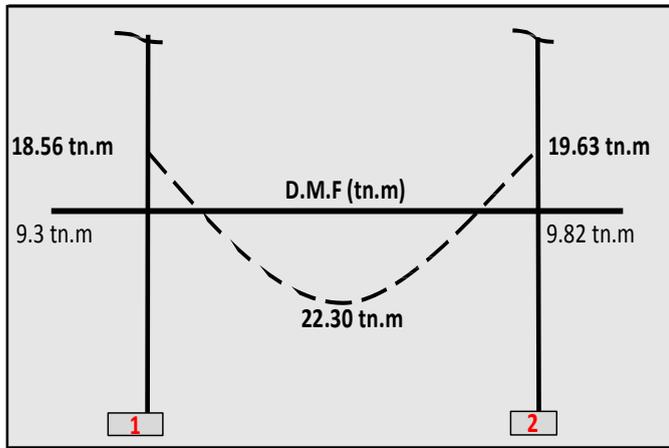
$$\text{Por lo tanto } \rho_d > \rho_{\text{necesaria}} \text{ esto es: } \quad \rho_d = 0.0070 > 0.0061 \quad \text{CUMPLE}$$

$$\text{Por lo tanto } Mu_d > Mu_{\max} \text{ esto es: } \quad Mu_d = 21.935 \text{ tn.m} > 19.2 \text{ tn.m} \quad \text{CUMPLE}$$

Elaborado por el investigador.

**Diseño de vigas Serie C**

**Diseño de la Viga para la serie C**



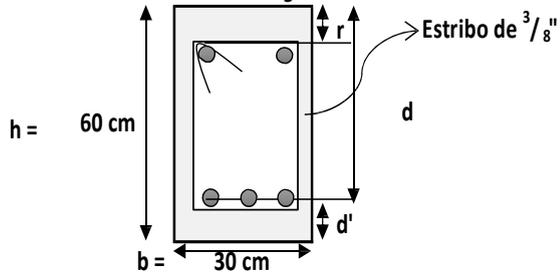
**Momentos maximos:**

- $Mu_1 = 9.28 \text{ tn.m}$
- $Mu_2 = 9.82 \text{ tn.m}$
- $Mu_3 = 22.30 \text{ tn.m}$
- $Mu_4 = 18.56 \text{ tn.m}$
- $Mu_5 = 19.63 \text{ tn.m}$

**Datos:**

- $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- $\beta_1 = 0.85$
- $\phi = 0.90$
- $b = 30 \text{ cm}$
- $h = 60 \text{ cm}$
- $rec = 4 \text{ cm}$
- $\phi_{estribo} = 0.95 \text{ cm}$
- Zona 1 = Zona sísmica (Dpto: Lambayeque).

**Detalles de la sección - Viga.**



**A) Determinamos el peralte efectivo:**

$$d_{1c} = H - rec - \phi/2 - \phi_{estribo}$$

$$d_{1c} = 54.255 \text{ cm}$$

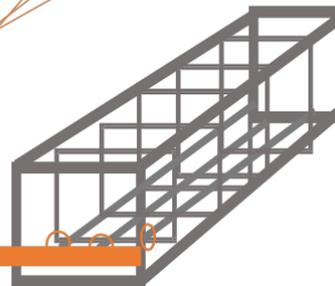
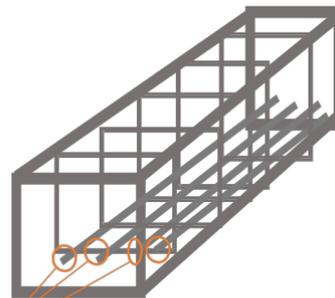
**B) Determinamos  $A_{smin}$ :**

**ACI:**  $\left\{ \begin{array}{l} \phi = 0.90 \text{ (Flexión).} \\ \phi = 0.65 \text{ (Corte).} \end{array} \right.$

$$A_{smin} = \frac{14.1}{4200} * b * d = 5.46 \text{ cm}^2 \quad \text{-----} \quad 4 \phi^{1/2}$$

**E.060:**  $\left\{ \begin{array}{l} \phi = 0.90 \text{ (Flexión).} \\ \phi = 0.85 \text{ (Corte).} \end{array} \right.$

$$A_{smin} = \frac{0.70 * \sqrt{f_c}}{f_y} * b * d = 4.54 \text{ cm}^2 \quad \text{-----} \quad 3 \phi^{1/2}$$



Elaborado por el investigador.

C) Determinamos " $\rho_b$ ":

$$\rho_b = \frac{0.85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot C_b}{f_y \cdot d}$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \cdot 210 \cdot 0.85 \cdot \left( \frac{6117}{4200 + 6117} \right)}{4200}$$

$$\rho_b = 0.028558$$

$$\rho_{\max} = 0.50 \times \rho_b = 0.01428 \quad \text{(Zona sismica)}$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b = 0.0214 \quad \text{(ZONA NO SISMICA)}$$

De acuerdo a mi zona de estudio (Zona 4 - Dpto. Lambayeque) utilizaria la siguiente fórmula:

$$A_{s_{\max}} \text{ (Z. Sismica)} = \rho_{\max} \times b \times d_{1c} = 23.241 \text{ cm}^2 \quad A_{s_{\max}} \text{ (Z. no Sismica)} = \rho_{\max} \times b \times d_{1c} = 34.86213082$$

D) Sin embargo el acero necesario a utilizar será definido por la siguiente fórmula:

$$A_s (\text{cm}^2) = \frac{0.85 \cdot f'c \cdot b \cdot d \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Mu (\text{kg.cm})}{0.85 \cdot \phi \cdot f'c \cdot b \cdot d^2}} \right)}{f_y} \quad \rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$A_s (\text{cm}^2) = 11.603 \text{ cm}^2$$

$$\rho = 0.007129$$

E) En resumen:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{A_s \cdot 4200}{0.85 \cdot 210 \cdot b} = 3.214 \text{ cm}$$

$$Mu = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) = 10.874 \text{ tn.m}$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{A_s \cdot 4200}{0.85 \cdot 210 \cdot b} = 2.670 \text{ cm}$$

$$Mu = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) = 9.080 \text{ tn.m}$$

	As (cm <sup>2</sup> )	a (cm)	Mu (tn.m)
As min( ACI)	5.464	3.214	10.874
As min(E.060)	4.539	2.670	9.080
As max (sin sismo)	34.862	20.507	57.985
As Max(con sismo)	23.241	13.671	41.659
As necesario (con sismo)	11.603	6.826	22.300

Distribuyendo el acero de refuerzo.

N° de Varillas	∅	As (cm <sup>2</sup> )	Total (cm <sup>2</sup> )
0	1/2"	1.27	0.00
0	5/8 "	1.98	0.00
6	3/4"	2.85	17.10
0	7/8"	3.88	0.00
0	1 "	5.07	0.00
As° =	3/4"	3/4"	17.1 cm <sup>2</sup>
11.603 cm <sup>2</sup> < 17.100 cm <sup>2</sup> As < As°			CUMPLE

Verificando el requerimiento de la cuantía con el acero distribuido:

Determinando la nueva Cuantía:  $\rho_d = 0.0105$

Por lo tanto  $\rho_d > \rho_{\text{necesaria}}$  esto es:

$$\rho_d > \rho_{\text{necesaria}}$$

$$0.0105 > 0.0071 \quad \text{CUMPLE}$$

Por lo tanto  $Mu_d > Mu_{\max}$  esto es:

$$Mu_d > Mu_{\max}$$

$$31.818 \text{ tn.m} > 22.3 \text{ tn.m} \quad \text{CUMPLE}$$

Elaborado por el investigador.

## ***ANEXO 18: EJEMPLO APLICATIVO***

**Ejemplo Aplicativo 01:**

Una viga continua de concreto armado con dimensiones de 30x60 cm, con un  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> con aceros de refuerzo Grado 60 de  $\frac{3}{4}$ ", tal como se muestra en la imagen, la viga forma parte de una estructura que funciona como oficinas ( $s/c= 250$  kg/m<sup>2</sup>). Los extremos de la viga están apoyados sobre muros de concreto armado y en la parte central por una columna.

Uno de los paños funcionara como zona de archivos ( $s/c= 650$  kg/m<sup>2</sup>). La viga adicionalmente soporta una carga muerta de 500 kg/m<sup>2</sup>, y posee un ancho tributario de 5.00 metros. La zona de compresion de la viga sigue siendo suficiente para soportar los nuevos requerimientos.

Se requiere reforzar los tramos con déficit de resistencia en la zona a flexion, se presentan los datos de las cargas que existen en la edificacion. Las características de la viga y las propiedades del sistema FRP a utilizarse se muestran en la Tabla N° A y B respectivamente.

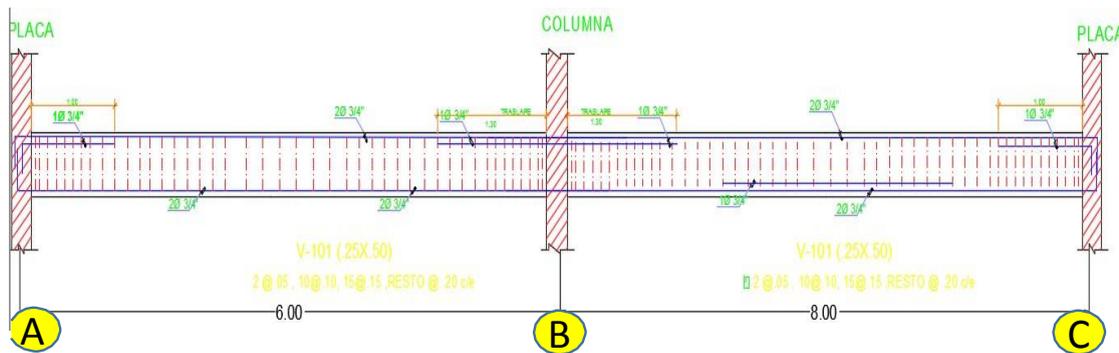


TABLA A: PROPIEDADES DE LA VIGA

Longitud de paño AB	6.00 m
Longitud de paño BC	8.00 m
Ancho de la Viga (b)	0.30 m
Altura de la viga (h)	0.60 m
Peralte Efectivo (d)	0.56 m
Resistencia a compresion( $f'c$ )	210 kg/cm <sup>2</sup>

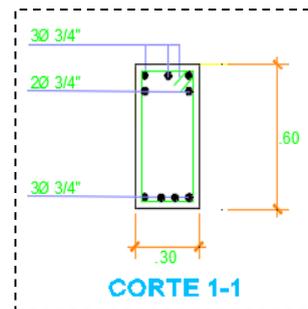


TABLA B: PROPIEDAD DE LA FIBRA DE CARBONO

Espesor por capa tf	0.10 cm
Resistencia última a la tensión ( $f_{fu}$ )	10054.0 kg/cm <sup>2</sup>
Deformación de rotura ( $\epsilon_{fu}$ )	0.01
Módulo elástico del sistema laminado( $E_f$ )	976892 kg/cm <sup>2</sup>

TABLA A CARGAS SOMETIDAS EN CADA MOMENTOS DE LA VIGA

	MOMENTO NEGATIVO A (TN.M)	MOMENTO POSITIVO AB (TN.M)	MOMENTO NEGATIVO B (TN.M)
CARGA MUERTA (Md)	6.25	3.2	10.00
CARGA VIVA (MI)	3.12	1.6	5.00
INCREMENTO DE LA C. VIVA ( $\Delta MLL$ )	7.3	3.09	3.43
CARGA DE SERVICIO (Ms)	16.65	7.89	18.43
LIMITE SIN REFUERZO $1.1 \cdot Md + 0.75 \cdot MI$	14.68	7.04	17.32
CARGA ULTIMA $(1.4 \cdot Md + 1.7 \cdot MI) \cdot Mu$	24.14	11.35	25.49
MOMENTO RESISTENTE SIN FRP $\phi Mn$	18.29	12.37	29.58

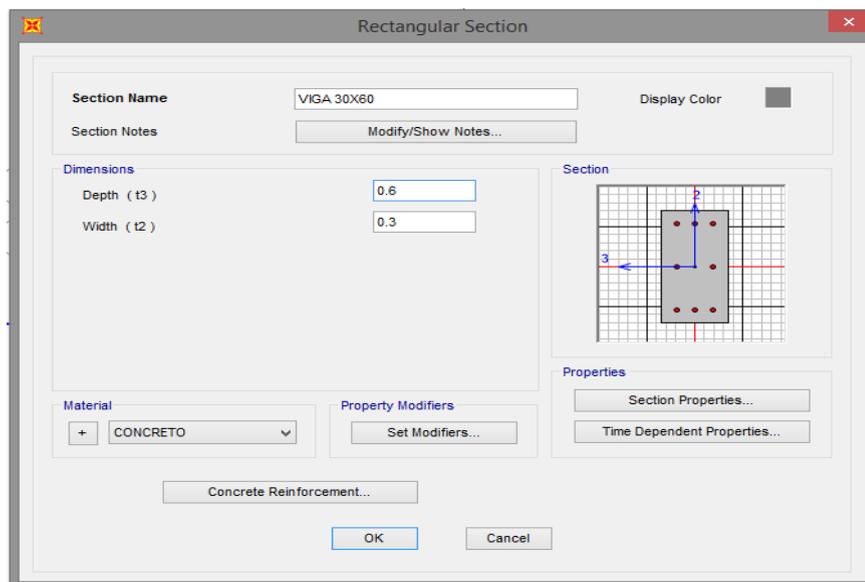
Elaborado por el investigador

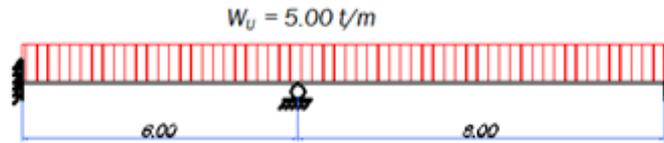
Por lo tanto

$$W_u = [(F_{DL}) \cdot (WD) + (F_{LL}) \cdot (s/c o)] \cdot B_{trib} = [(1.4) \cdot (0.50) + (1.7) \cdot (0.25)] \cdot 5.0 =$$

$$W_u = 5.625 \text{ tn/m}$$

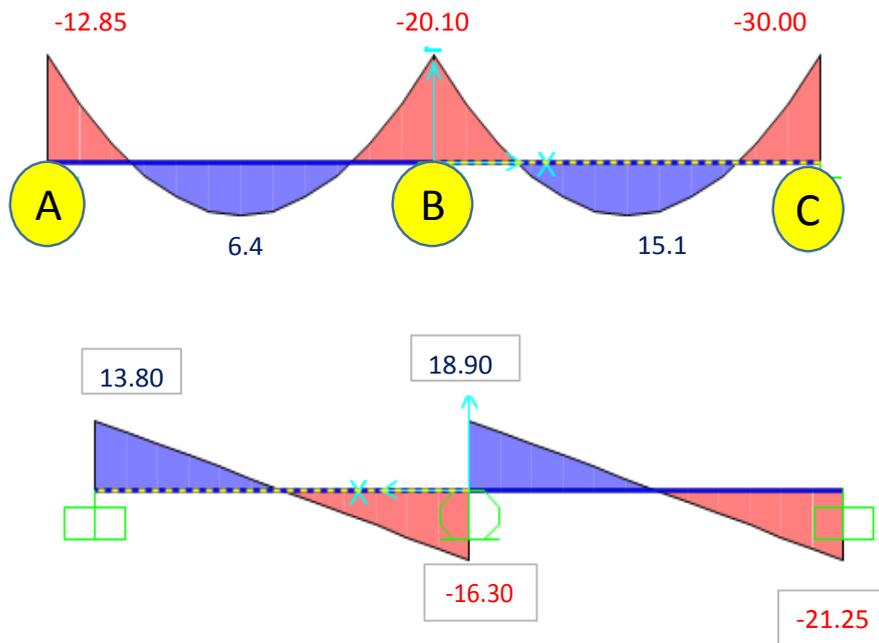
DISTRIBUCION DE MOMENTOS Y CORTANTES AUXILIADOS POR EL SAP 2000





Load Patterns

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
Peso Propio	Dead	1	
Peso Propio	Dead	1	
Peso Muerto	Dead	0	
Peso vivo	Live	0	



distribucion de momentos en el primer paño

$$W_u = (F_{LL}) \cdot (s/c - s/c_o) \cdot B_{trib} = (1.6) \cdot (0.65 - 0.25) \cdot 5.0 = 3.20 \text{ t/m}$$

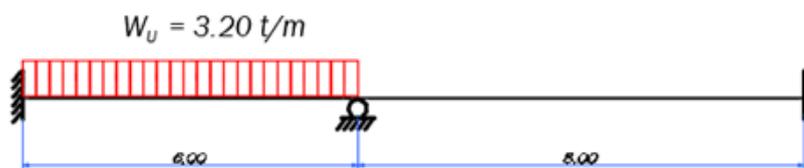


DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR DEL PRIMER PAÑO

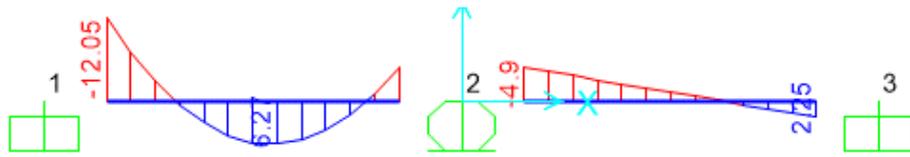
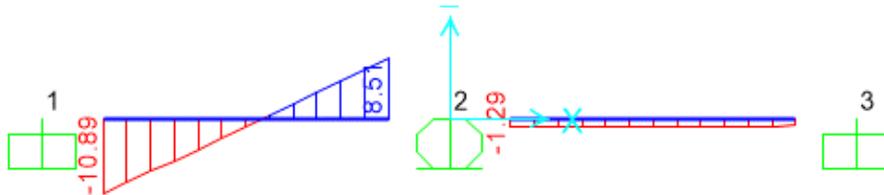


DIAGRAMA DE ESFUERZOS CORTANTES DEL PRIMER PAÑO



- Al combinar el esfuerzo existente con la nueva carga requerida, los momentos en la viga seran de la siguiente manera

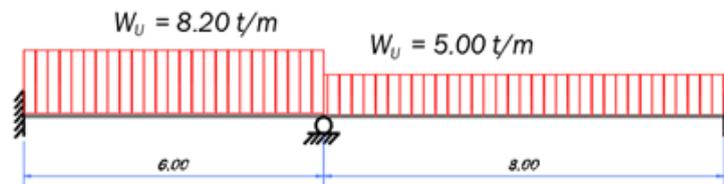


DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR DE LA VIGA

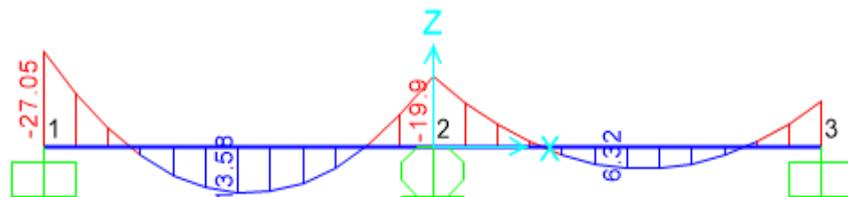


DIAGRAMA DE ESFUERZOS CORTANTES DEL PRIMER PAÑO

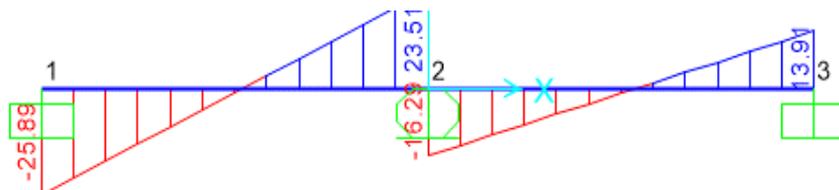


Tabla C: Redistribución de cargas en la sección positiva AB:

CARGA	NUEVOS MOMENTOS POSITIVOS AB (Tn.m)
CARGA MUERTA (Md)	4.35
CARGA VIVA (Ml)	5.66
CARGA DE SERVICIO (Ms)	10.01
LIMITE SIN REFUERZO $1.1 * Md + 0.75 * Ml$	9.03
CARGA ULTIMA $(1.4 * Md + 1.7 * Ml) * Mu$	14.28
MOMENTO RESISTENTE SIN FRP $\phi Mn$	12.37

Elaborado por el investigador

<p><b>Paso 01:</b> Cálculo de las propiedades de diseño del sistema FRP. La viga es tá localizada en un e pacio interior , según ACI 440.2R, se sugiere un factor de reducción por exposición al medio de 0.95.</p> <p style="text-align: center;"><math>ffu = CE \cdot ffu^*</math></p>	<p><b>Redistribución en A y Momento Positivo AB</b></p> <p>CE= 0.95  <math>ffu = 0.95 * 10,054 = 9552 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>efu = (0.95) \cdot (0.01) = 0.0095 \text{ cm/cm}</math></p>
<p><b>Paso 02:</b> Para las propiedades del concreto.  <math>\beta_1</math>, según ACI 318-08.  <math>E_c = 15,100 \sqrt{f'c}</math> Propiedades del acero de refuerzo exis tente. <math>\rho_b = 0.85 \beta_1 (f'c / f_y) (E_s e_c / E_s e_c + f_y)</math></p>	<p><math>\rho = A_s / bd = 0.32\%</math>  <math>\rho_b = 2.83\%</math>  nf = 1 bf = 10 cm</p>

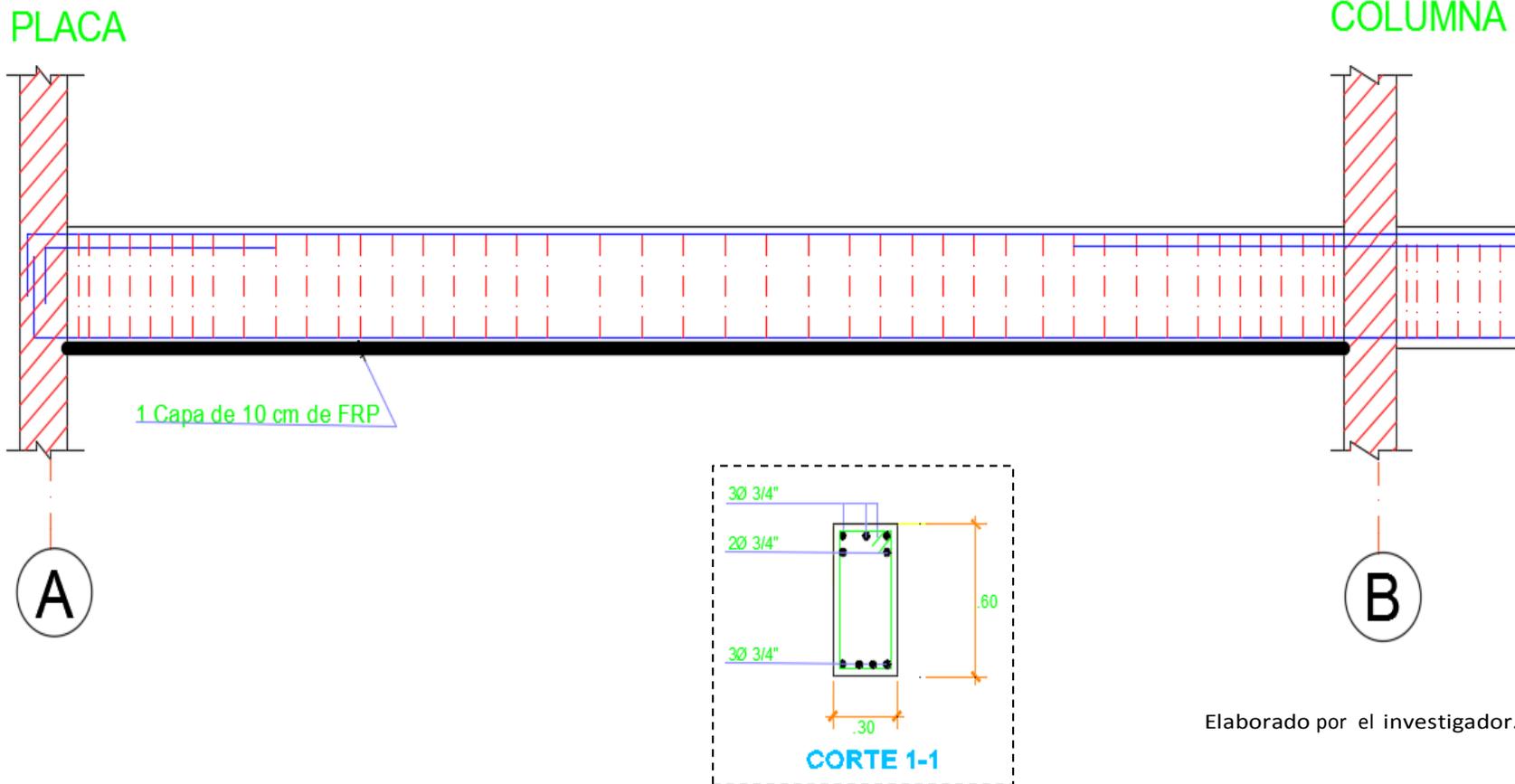
<p>Propiedades del sistema de refuerzo FRP externamente adherido.  <math>A_f = n_f \cdot t_f \cdot b_f</math>  <math>\rho_f = A_f / b \cdot d</math></p>	<p><math>A_f = (1 \text{ capa})(0.1 \text{ cm/capa})(10 \text{ cm}) = 1.00 \text{ cm}^2</math>  <math>\rho_f = 0.06\%</math></p>
<p><b>Pas o 03:</b>  Determinar el estado de deformación existente en la superficie.   Es te nivel de deformación se calcula asumiendo una viga agrietada, dónde sólo actuan las cargas muertas   <math>\epsilon_{bi} = MDL (df - K_d) / I_{cr} E_c</math></p>	<p>Relación de Módulos  <math>n = E_s / E_c = 7.92</math>  Cuantía de acero de refuerzo  <math>\rho = A_s / b d = 0.32\%</math>  <math>k = -\rho n + \text{Raiz} ((\rho n)^2 + 2\rho n) = 0.20</math>   Inercia Agrietada (<math>I_{cr}</math>)  <math>I_{cr} = b(kd)^3/3 + nA_s (d - kd)^2 = 117367 \text{ cm}^4</math>   <math>\epsilon_{bi} = 0.00057</math></p>
<p><b>Pas o 04:</b>  Determinar la deformación de diseño del Sistema FRP.  La deformación de diseño para una falla por delaminación (<math>\epsilon_{fd}</math>).   <math>\epsilon_{fd} = 0.132V (f'_c / (n E_f t_f)) \leq 0.9 \epsilon_{fu}</math></p>	<p><math>0.1323 \sqrt{f'_c / (n E_f t_f)} = 0.0071</math>   <math>0.9 \epsilon_{fu} = 0.0086</math>   <math>\epsilon_{fd} = 0.0071</math></p>
<p><b>Pas o 05:</b>  <i>Predicción del Modo de falla</i>   Falla A ó B: Fluencia del acero de refuerzo seguido de falla en el FRP  <math>\rho_f &lt; \rho_{fb}</math>  <i>si <math>\epsilon_{fd} = 0.9 \epsilon_{fu}</math> - Falla A</i>  <i>si <math>\epsilon_{fd} &lt; 0.9 \epsilon_{fu}</math> - Falla B</i>   Falla C: Fluencia del acero de refuerzo interior hasta aplastamiento del concreto sin falla del FRP.  <math>\rho_{fb} \leq \rho_f &lt; \rho_{fb, C}</math>   Falla D: Aplastamiento del concreto sin fluencia o falla en el FRP.  <math>\rho_f \geq \rho_{fb, C}</math></p>	<p>Para identificar Fallas A, B:  <math>\rho_{fb} = (0.85 \beta_1 f'_c d_f) * (\epsilon_{cu}) / (E_f \epsilon_{fd} d (\epsilon_{cu} + \epsilon_{fd} + \epsilon_{bi})) - \rho_f</math>  <math>\rho_{fb} = 0.71\%</math>   Para identificar Fallas C, D:  <math>\rho_{fb, C} = (0.85 \beta_1 f'_c) * (\epsilon_{cu}) / (E_f \epsilon_{fe} (\epsilon_{cu} + \epsilon_y)) - \rho_f</math>  Dónde:  <math>\epsilon_{fe} = \epsilon_{cu} (d_f - c) / c - \epsilon_{bi}</math> ;  <math>c = \epsilon_{cu} \cdot d / (\epsilon_{cu} + \epsilon_y)</math>   <math>\rho_f &lt; \rho_{fb}</math>   Para la configuración propuesta de 01 capa de 10 cm del sistema FRP, se predice una falla A ó B. Además <math>\epsilon_{fd} &lt; 0.9 \epsilon_{fu}</math>, por lo tanto se espera una falla tipo B, de Delaminación o despegue del sistema FRP de refuerzo.</p>

<p><b>Pas o 06:</b> SE estimar la altura del bloque de compresión "c".</p> <p>Por medio de un proceso iterativo como el punto medio se procede a calcular un valor de "c" que cumpla razonablemente con el equilibrio de cargas .</p>	<p>Luego de realizar 10 iteraciones por el método del punto medio, con "c" se ha obtenido: c = 7.98 cm</p> <p>Se chequeará el equilibrio como demostración del método.</p>
<p><b>Pas o 07:</b> Determinar el nivel de deformación en el sistema FRP: Falla Concreto: <math>\epsilon_{fe} = 0.003(df - c)/c - \epsilon_{bi} \leq \epsilon_{fd}</math> Controla FRP: <math>\epsilon_{fe} = \epsilon_{fd}</math></p> <p>Si controla el FRP, "<math>\epsilon_c</math>" debe calcularse: <math>\epsilon_c = (\epsilon_{fe} + \epsilon_{bi}) c / (df - c)</math> (falla FRP)</p>	<p>Suponiendo falla del concreto <math>\epsilon_{fe} = 0.0214</math> Suponiendo falla del FRP <math>\epsilon_{fe} = 0.0071</math></p> <p>Entonces : <math>\epsilon_{fe} = 0.0071</math></p> <p><i>Controla la falla del FRP</i></p> <p>Luego : <math>\epsilon_c = 0.0011</math></p>
<p><b>Pas o 08:</b> Cálculo de la deformación en el acero de refuerzo existente. Falla FRP: <math>\epsilon_s = (\epsilon_{fe} + \epsilon_{bi}) (d - c) / (df - c)</math></p> <p>Calcular el nivel de esfuerzos en el acero de refuerzo y en el FRP.</p> <p><math>f_s = E_s \epsilon_s \leq f_y</math></p> <p><math>f_{fe} = E_f \epsilon_{fe}</math></p>	<p>Deformación en el acero durante la falla del FRP: <math>\epsilon_s = 0.0069</math></p> <p><math>f_s = 4200 \text{ kg/cm}^2</math></p> <p><math>f_{fe} = 6919 \text{ kg/cm}^2</math></p>
<p><b>Pas o 09:</b> Calcular las características esfuerzo - deformación del concreto. Los factores del concreto se calcularán usando ACI 318-08. Los factores se basan en la distribución parabólica del esfuerzo-deformación para el concreto. <math>\beta_1 = (4\epsilon'_c - \epsilon_c) / (6\epsilon'_c - 2\epsilon_c)</math> <math>\alpha_1 = (3\epsilon'_c \epsilon_c - \epsilon_c^2) / (3\beta_1 \epsilon'_c^2)</math> Dónde <math>\epsilon'_c</math> es la deformación correspondiente a <math>f'_c</math> : <math>\epsilon'_c = 1.7 f'_c / E_c</math></p>	<p><math>\epsilon'_c = 0.0019</math></p> <p><math>\beta_1 = 0.71</math></p> <p><math>\alpha_1 = 0.65</math></p>

<p><b>Pas o 10:</b> Calcular las fuerzas internas y chequear el equilibrio interno de cargas . <u>Concreto:</u> <math>Cc = \alpha_1 f' c \beta_1 c b</math></p> <p><u>Acero:</u> <math>Ts = As .fs</math></p> <p><u>Fibras FRP:</u> <math>Tf = Af .ffe</math></p> <p>Finalmente la sumatoria de cargas debe ser cero, o con un error mínimo:</p>	<p>La fuerza de compresión en el concreto: <math>Cc = \alpha_1 f' c \beta_1 c b = 30869 \text{ kg}</math> <math>Ts = As .fs = 23940 \text{ kg}</math> <math>Tf = Af .ffe = 6919 \text{ kg}</math> <math>\text{error} = \sum F = 9 \text{ kg}</math> <math>\text{error} = 0.01 \text{ t}</math></p> <p>Se asume que es un error aceptable para la precisión esperada 0.01 t. y que el equilibrio está satisfecho, en caso contrario, e debe seguir iterando los valores de "c", hasta cumplir con el equilibrio.</p>
<p><b>Pas o 11:</b> Calcular las contribuciones a la resistencia por flexión:</p> <p>Contribución del acero: <math>Mn,s = As fs (d - \beta_1 c / 2)</math></p> <p>Contribución del FRP: <math>Mn,f = Af ffe (df - \beta_1 c / 2)</math></p>	<p><math>Mn,s = 13.5 \text{ t-m}</math></p> <p><math>Mn,f = 4.3 \text{ t-m}</math></p>
<p><b>Pas o 12:</b> Cálculo de la resistencia a la flexión de la sección.</p> <p>Selección del factor de reducción:</p> <p><i>Para <math>\epsilon_s \geq 0.005</math></i> <math>\Phi = 0.90</math></p> <p><i>Para <math>\epsilon_y &lt; \epsilon_s &lt; 0.005</math></i> <math>\Phi = 0.65 + 0.25 (\epsilon_s - \epsilon_y) / (0.005 \epsilon_y)</math></p> <p><i>Para <math>\epsilon_s \leq \epsilon_y</math></i> <math>\Phi = 0.65</math></p> <p>Selección del factor <math>\psi_f</math>: <math>\psi_f = 0.85</math></p> <p><math>\Phi Mn = \Phi (Mn,s + \psi_f Mn,f)</math></p>	<p>Factores de reducción:</p> <p><math>\Phi = 0.90</math> <math>\psi_f = 0.85</math></p> <p><math>\Phi Mn = \Phi (Mn,s + \psi_f Mn,f) = 15.4 \text{ t-m}</math></p> <p><i>Usar una capa de 10 cm de FRP</i></p>

Elaborado por el investigador

PARA SOLUCIONAR EL DEFICIT DE REFUERZO A FLEXION DEL TRAMO AB



Elaborado por el investigador.

## AUTORIZACION DE PUBLICACION DE TESIS

	<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b> <b>UCV</b>	Código : F08-PP-PR-02.02 Versión : 07 Fecha : 31-03-2017 Página : 1 de 1
---	--	---

Yo Marlon Joel Guerrera Fernandez, identificado con DNI N° 77.28.0572... egresada de la Escuela de Ingeniería Civil....., de la Universidad César Vallejo, autorizo (  ), No autorizo (  ) la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado: Análisis de la Resistencia y Ductilidad de Vigas de Concreto Armado con Reforzamiento de Fibras de Carbono.....

.....;

en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33.

Fundamentación en caso de no autorización:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

  
 FIRMA  
 DNI: 77 280572  
 FECHA: 17 de Diciembre..... del 2018

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

## ACTA DE APROBACION DE ORIGINALIDAD DE TESIS

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS</b>	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 08 Fecha : 12-09-2017 Página : 1 de 16
--	--	--

Yo, MAG. ING. JULIO BENITES CHERO, docente de la Facultad ingenierías y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo filial CHICLAYO, revisor (a) de la tesis titulada:

**"ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA Y DUCTILIDAD DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON REFORZAMIENTO DE FIBRAS DE CARBONO"**, del estudiante: **GUEVARA FERNANDEZ, MARLON JOEL**, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 26 de Julio de 2017



Firma

Mag. Julio Benites Chero

DNI: 16735658



Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

EP DE INGENIERÍA CIVIL

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

GUEVARA FERNANDEZ MARLON JOSE

INFORME TÍTULADO:

ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA Y DUCTILIDAD DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON REFORZAMIENTO DE FIBRAS DE CARBONO

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

---

SUSTENTADO EN FECHA: 04/12/2018

NOTA O MENCIÓN: DIECISEIS (16)

FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN