



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**Análisis Comparativo de vigas Reforzadas con Varillas de Fibra  
de Vidrio y Reforzadas con Acero**

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

**AUTOR:**

Poma Martel, Clinton Dugar (ORCID: 0000-0003-0627-0004)

**ASESOR:**

Mag. Arévalo Vidal, Samir Augusto (ORCID: 0000-0002-6559-0334)

**LINEA INVESTIGACION**

Diseño sísmico y estructural

**LIMA - PERÚ**

**2021**

### **Dedicatoria**

Dedicado a mis padres, sobre todo a mi madre Eusebia Martel Llagas que está en el cielo por su sacrificio y esfuerzo en darme una carrera profesional para mi futuro, la cual considero que es la mejor herencia recibida.

A mi hermana Rosa Luz Ortiz Martel por su constante apoyo moral en mi vida universitaria y en la elaboración de este proyecto.

A mi hermano Frank Douglas Poma Martel por ser mi motor y motivo para seguir el camino de la vida profesional.

## **Agradecimiento**

Aprovechar este espacio para agradecer a mis padres: Valerio Poma Quispe y Eusebia Martel Llagas; por su apoyo incondicional en todo el tiempo de mi etapa universitaria, así mismo en el desarrollo de este trabajo de investigación. Sin su apoyo hubiese sido difícil la culminación de este trabajo.

A mis hermanos: Rosa Luz Ortiz Martel y Frank Douglas Poma Martel, por sus consejos y apoyo incondicional para cumplir mis metas trazadas.

Finalmente un agradecimiento especial al Mag. Samir Arévalo Vidal, como mi asesor siempre recibí muestras de apoyo para con mi proyecto de tesis tanto en lo académico como en lo motivacional.

## ÍNDICE

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de Contenidos.....	iv
Índice de Tablas .....	v
Índice de Figuras .....	vi
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
I. INTRODUCCION .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	6
III. METODOLOGIA.....	23
3.1. Tipo y Diseño de Investigación .....	23
3.2. Variables y Operacionalización.....	23
3.3. Poblacion, Muestra y Muestreo .....	25
3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	26
3.5. Procedimientos .....	26
3.6. Método de Analisis de Datos .....	26
3.7. Aspectos Éticos .....	26
IV. RESULTADOS.....	27
V. DISUSIÓN.....	60
VI. CONCLUSIONES .....	64
VII. RECOMENDACIONES .....	67
REFERENCIAS.....	68
ANEXOS .....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	25
Tabla 2. Vigas de concreto reforzado con varillas de acero y fibras de vidrio.....	28
Tabla 3. Metrado de cargas muertas en vigas reforzadas con acero .....	43
Tabla 4. Metrado de cargas vivas en vigas reforzadas con acero .....	43
Tabla 5. Metrado de cargas muertas en vigas reforzadas con fibra de vidrio .....	50
Tabla 6. Metrado de cargas vivas en vigas reforzadas con fibras de vidrio.....	50
Tabla 7. Evaluación de costos de vigas reforzadas con acero.....	56
Tabla 8. Evaluación de costos de vigas reforzadas con fibras de vidrio.....	57
Tabla 9. Evaluación de costos de vigas reforzadas con acero.....	58
Tabla 10. Evaluación de costos de vigas reforzadas con fibras de vidrio.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de las fibras para refuerzo .....	12
Figura 2. Gráfico de esfuerzo deformación de algunos materiales compuestos de PRF .....	12
Figura 3. Composición de las fibras para refuerzo .....	15
Figura 4. Características de resistencia del acero .....	16
Figura 5. Características y propiedades de las varillas corrugadas en acero.....	17
Figura 6. Especificaciones mecánicas de las varillas corrugadas....	18
Figura 7. Diagrama de esfuerzo y tensión de la sección recrecida.....	20
Figura 8. Modelo de elementos de viga hexahedrales.....	28
Figura 9. Discretización del modelo de elementos finitos.....	29
Figura 10. Condiciones de borde considerado en el modelamiento.....	30
Figura 11. Deformada debido a la aplicación de cargas gravitacionales.....	30
Figura 12. Distribución de esfuerzos $s_{11}$ contenidos dentro de la viga.....	31
Figura 13. Distribución de esfuerzos cortantes dentro de la viga.....	31
Figura 14. Diagrama esfuerzo-deformación del concreto .....	32
Figura 15. Diagrama esfuerzo-deformación de las varillas longitudinales... ..	32
Figura 16. Diagrama esfuerzo-deformación del concreto confinado.....	33
Figura 17. Sección transversal y refuerzo longitudinal de 6mm de diámetro.....	33
Figura 18. Diagrama de momento curvatura de la sección de 15cm x 15cm reforzadas con varillas de 6mm.....	34
Figura 19. Sección transversal de viga de 15cm x 15cm reforzada con varillas de 12mm.....	34

Figura 20. Diagrama momento curvatura de la sección transversal reforzada con varillas de 12mm .....	35
Figura 21. Comparación del comportamiento de las vigas reforzadas con varillas de 6mm y 12mm.....	35
Figura 22. Modelo tridimensional con elementos finitos para vigas reforzadas con varillas de fibras de vidrio .....	36
Figura 23. Discretización del modelo de elementos finitos de vigas de concreto reforzados con varillas de fibras de vidrio.....	36
Figura 24. Condiciones de borde considerados en el modelamiento.....	37
Figura 25. Deformada debido a la aplicación de cargas gravitacionales. ....	37
Figura 26. Distribución de esfuerzos $s_{11}$ contenidos dentro de la viga.....	38
Figura 27. Distribucion de esfuerzos cortantes dentro de la viga .....	38
Figura 28. Diagrama esfuerzo deformación del concreto.....	39
Figura 29. Diagrama esfuerzo deformación de las varillas longitudinales. ....	39
Figura 30. Diagrama esfuerzo deformación de las varillas de fibra de vidrio.....	40
Figura 31. Diagrama momento curvatura de la sección reforzada con varillas de fibras de vidrio. ....	40
Figura 32. Comparativa de las vigas reforzadas con varillas de fibras de vidrio de 6mm y 12 mm .....	41
Figura 33. Vigas de concreto armado reforzado con varillas de 6mm de acero convencional y fibras de vidrio .....	42
Figura 34. Vigas de concreto armado reforzado con varillas de 12mm de acero convencional y fibras de vidrio .....	42
Figura 35. Diagrama momento curvatura de la viga reforzada con varillas de acero .....	46
Figura 36. Diagrama momento curvatura de la viga reforzada con varillas de acero .....	47

Figura 37.Diagrama momento curvatura de la viga analizada reforzada con varillas de acero.....	47
Figura 38.Diagrama momento curvatura de la viga analizada reforzada con varillas de acero.....	48
Figura 39.Diagrama momento curvatura de la viga analizada reforzada con varillas de acero.....	48
Figura 40.Diagrama momento curvatura de la viga analizada reforzada con varillas de acero.....	49
Figura 41.Modelo tridimensional de la viga de concreto reforzada con varillas de fibras de vidrio .....	53
Figura 42.Cargas gravitacionales aplicadas sobre la viga analizada.....	53
Figura 43.Distribucion de esfuerzos longitudinales debido a cargas aplicadas.....	54
Figura 44.Distribucion de esfuerzos de corte en vigas debido a las cargas gravitacionales.....	54
Figura 45.Máximas deflexiones debidas a la acción de cargas gravitacionales...	55
Figura 46.Diagrama momento curvatura de la viga analizada reforzada con varillas de acero.....	55
Figura 47.Comparativa entre el diagrama momento curvatura de la seccion reforzada con varillas de acero y fibras de vidrio.....	56
Figura 48.Diferencia de costos entre vigas de concreto reforzado con varillas de acero y reforzados con varillas de fibras de vidrio .....	57
Figura 49.Evaluacion del costo asociado a la fabricación de vigas de concreto armado reforzado con varillas de acero y fibras de vidrio.....	59

## Resumen

La presente investigación se titula Análisis comparativo de vigas reforzadas con varillas de Fibra de Vidrio y reforzadas con Acero. Se consideró una metodología, dentro del enfoque cuantitativo, de tipo aplicativo y con un diseño experimental; considerando, a su vez, materiales críticos para las simulaciones en el software SAP 2000. El objetivo general de esta investigación es determinar las diferencias del comportamiento estructural de las vigas de concreto, entre las reforzadas con varillas de fibra y las reforzadas con acero corrugado ASTM-615 grado 60.

En cuanto a los resultados obtenidos en esta investigación, se destacan los siguientes: que las varillas de fibras de vidrio poseen mayores niveles de resistencia que las varillas de acero, de hecho, de acuerdo con los resultados encontrados, la resistencia última de las vigas reforzadas con varilla de fibras de vidrio fue de 1.3 tn, mientras que el esfuerzo último de las vigas reforzada con varillas de acero fue de 0.5 tn; el esfuerzo de fluencia nominal del acero convencional es de 42000 t/m<sup>2</sup>, mientras que el esfuerzo ultimo de este material está en 65000 t/m<sup>2</sup>; mientras que los valores correspondientes en el caso de las varillas de fibra de vidrio fueron de 11000 t/m<sup>2</sup> y 22000 t/m<sup>2</sup>, respectivamente, así mismo para un momento flector de 18 t.m, las máximas deflexiones encontradas en el caso de las vigas reforzadas con varillas de acero estuvieron en el orden de 0.009 u, mientras que para la viga reforzada con varillas de fibra de vidrio, este valor estuvo en el orden de 0.015 u y finalmente se aprecia que el costo de las vigas de concreto reforzadas con varillas de fibras de vidrio es de aproximadamente 15 % el costo de las vigas de concreto reforzadas con varillas de acero.

Por lo que se concluye que las vigas de concreto armado reforzadas con varillas de fibras de vidrio presentan mayores niveles de resistencia última, al ser comparadas con las vigas de concreto armado reforzadas con varillas de acero convencional, sin embargo son las que mayor de deflactan y en cuanto al valor de la varilla de fibra de vidrio resulta ser elevado debido a la poca industrialización de esta actividad, sin embargo, se prevé que en unos pocos años los costos sean considerablemente menores a las varillas de acero.

**Palabras Clave:** Comportamiento estructural, vigas, flexión, fibra de vidrio, acero.

## Abstract

The present investigation is titled Comparative analysis of beams reinforced with fiberglass rods and reinforced with Steel. A methodology was considered, within the quantitative approach, of an applicative type and with an experimental design; considering, in turn, critical materials for simulations in SAP 2000 software. The general objective of this research is to determine the differences in the structural behavior of concrete beams, between those reinforced with fiber rods and those reinforced with ASTM corrugated steel -615 degree 60.

Regarding the results obtained in this research, the following stand out: that the fiberglass rods have higher levels of resistance than the steel rods, in fact, according to the results found, the ultimate resistance of the reinforced beams with fiberglass rod it was 1.3 tn, while the ultimate stress of the beams reinforced with steel rods was 0.5 tn; the nominal yield strength of conventional steel is 42000 t / m<sup>2</sup>, while the ultimate stress of this material is 65000 t / m<sup>2</sup>; while the corresponding values in the case of fiberglass rods were 11000 t / m<sup>2</sup> and 22000 t / m<sup>2</sup>, respectively, likewise for a bending moment of 18 tm, the maximum deflections found in the case of reinforced beams with steel rods they were in the order of 0.009 u, while for the beam reinforced with fiberglass rods, this value was in the order of 0.015 u and finally it is appreciated that the cost of concrete beams reinforced with fiber rods of glass is about 15% the cost of concrete beams reinforced with steel rods.

Therefore, it is concluded that reinforced concrete beams reinforced with fiberglass rods present higher levels of ultimate resistance, when compared to reinforced concrete beams reinforced with conventional steel rods, however they are the ones that deflate the most and As for the value of the fiberglass rod, it turns out to be high due to the little industrialization of this activity, however, it is expected that in a few years the costs will be considerably lower than that of steel rods.

**Keywords:** Structural behavior, beams, bending, fiberglass, steel.

## I. INTRODUCCION

La presente investigación abarca la problemática en torno al uso de materiales innovadores como la fibra de vidrio para ser implementado dentro de la industria de la construcción, con el propósito de garantizar la calidad de las infraestructuras a menores costos. De ese modo, el interés de la investigación surge de los análisis inherentes a estos nuevos materiales dentro del rendimiento que pueden ofrecer, así como las ventajas y desventajas asociadas a los mismos.

Teniendo como referencia que la fibra de vidrio es un material relativamente económico, en comparación con el acero, el mismo se considera importante de estudiar para determinar su viabilidad en obras civiles que requieran ser sometidas a cargas, como la construcción de puentes, edificios, viviendas habitaciones, carreteras, entre otros; bajo los criterios fundamentales de los análisis estructurales, donde se evalúan aspectos como resistencia a la compresión, momento flector y ductilidad de las vigas sometidas a flexión.

### **Realidad Problemática**

Las constantes investigaciones llevadas a cabo por la industria de la construcción han permitido la utilización de diferentes tratamientos con vistas a disminuir el efecto de la corrosión en las estructuras, pero dichas medidas solo logran retrasar un poco su aparición.

En la década de 1960 comienzan a utilizarse en países como Estados Unidos, Canadá, Japón y otros, materiales compuestos por fibras no metálicas, como los Polímeros Reforzados con Fibra (PRF), como alternativa para eliminar ese problema del armado en las estructuras de concreto y con la cual se busca incrementar la vida útil de las edificaciones. Dentro de esta gama, los más difundidos son los Polímeros Reforzados con Fibras de Vidrio (PRFV), con grandes prestaciones en cuanto a resistencia y economía de precios (Martínez J., Correa J., Díaz I., (2019).

Es preciso señalar que, no se puede hablar de construcción hoy en día si consideras el concreto armado como indispensable; al mismo tiempo, se señala que, el concreto está relacionado con las vigas, las mismas que conforman los elementos de carga necesarios para la edificación de estructuras. Estas vigas, por lo general están elaboradas de acero, el cual es un material común en las obras; sin embargo, este material viene presentando fallas que pueden afectar las estructuras, como su alto nivel de corrosión, este efecto se denomina, exfoliación, lo que debilita en forma progresiva las estructuras (Vila Carbajal, 2019).

Existen diversas posturas que señalan, la evolución de la ingeniería civil, en función de las nuevas exigencias de la modernización de las estructuras, dentro de los últimos avances se tiene, la combinación y creación de diversos materiales, que sirvan de refuerzo al concreto, teniendo presente que, se ha venido utilizando el acero, pero los estudios demuestran, que no siempre es tan eficiente, es en estos casos que debe utilizarse otros materiales que sirvan de refuerzo (Escamilla Hernández y Loza Vega, 2014).

Esta realidad, ha permitido profundizar en diversas investigaciones, en busca de alternativas, que presenten mejores condiciones físicas, químicas y mecánicas; también, en busca de opciones más económicas, de esta manera, surge la fibra de vidrio como una opción viable debido a su resistencia física, su peso, posee alta resistencia física y la más relevante es inmune a la corrosión (Vila Carbajal, 2019)

Uno de los problemas que estamos atravesando en la actualidad es la contaminación atmosférica, sumado a esto el gran impacto que genera la fabricación de acero debido al consumo de energía y materias primas, así como las emisiones de gases como las partículas de polvo, hollín, óxido de azufre, dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono. Así mismo en la fabricación de acero se llega a contaminar el agua con residuos sólidos.

La industria del acero es un importante generador de dióxido de carbono, así mismo estas fábricas de acero descargan un volumen muy grande de agua residual a ríos o quebrada, en algunos casos las aguas residuales se almacenan en estanques con fugas no herméticos las cuales pueden filtrarse y llegar a contaminar el suelo, las aguas subterráneas, la napa freática. Por lo que es un motivo más para reforzar la opción del uso de fibra de vidrio.

Teniendo presente lo antes mencionado, surge el interés de realizar un estudio que nos permita realizar una evaluación del comportamiento de la estructura de viga a flexión, reforzadas con varillas de fibras de vidrio en relación a las reforzadas con acero.

### **Formulación del problema**

#### **Problema General:**

- ¿Existen diferencias significativas en el comportamiento estructural de vigas de concreto, entre las reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM- 615 grado 60?

#### **Problemas específicos tenemos:**

- ¿Existen diferencias significativas en el diseño a flexión de vigas de concreto, entre las reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM-615 grado 60?
- ¿Existen diferencias significativas en la deflexión de vigas de concreto, entre las reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM-615 grado 60?
- ¿Cuál es la diferencia de costos entre las vigas, reforzadas con varillas de fibra de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM-615 grado 60?

#### **Justificación de la investigación:**

Desde un punto de vista práctico, el estudio ofrece alternativas que pueden ser interpretadas en cierta forma, como amigables con el ambiente; asimismo, pueden ser una alternativa viable para sustituir a los materiales convencionales, además de ser poco vulnerables a la corrosión, estos materiales poseen ciertas características específicas, se pueden mencionar algunos, las fibras de carbono, fibras de vidrio, basalto, etc. En este mismo orden de ideas, se señala que, el acero es cotizado a nivel mundial como uno de los materiales de construcción más utilizados; pero, este recurso está catalogado dentro de los no renovables, debe entonces consumirse de forma, moderada, de allí la necesidad de encontrar otras alternativas viables.

Es imprescindible mencionar, el auge que está teniendo la fibra de vidrio en diversos mercados internacionales, además estar presente en el ámbito de la construcción. Al incrementarse su utilización, en la construcción de edificaciones, debe reglamentarse su utilización, así como la elaboración; en este sentido, es válido señalar que el país carece de este tipo de normativa que regule la utilización de fibras de vidrio en el área de la ingeniería civil.

Desde el aspecto teórico, este estudio servirá como fuente de información y referencia, para otras investigaciones; de igual forma, aportará datos importantes que servirán de sustento para la elaboración de parámetros de uso de la fibra de vidrio en construcciones. Desde el punto de vista científico, la investigación se convierte en un aporte para el campo de la ingeniería civil y el área de la construcción de las edificaciones, sentando un precedente que puede dar origen a otras investigaciones.

**Objetivo general:**

- Determinar las diferencias significativas en el comportamiento estructural de vigas de concreto, entre las reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM- 615 grado 60.

**Objetivos específicos tenemos:**

- Determinar las diferencias significativas en el diseño a flexión de vigas de concreto, entre las reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM – 615 grado 60.
- Determinar las diferencias significativas en la deflexión de vigas de concreto, entre las reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM - 615 grado 60.
- Determinar la diferencia de costos entre las vigas de concreto reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM -615 grado 60.

**Hipótesis general:**

- Es probable que existan diferencias significativas en el comportamiento estructural de vigas de concreto entre las reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM- 615 grado 60.

**Hipótesis específicas:**

- Es probable que existan diferencias significativas en el diseño a flexión de vigas de concreto entre las reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM-615 grado 60.
- Es probable que existan diferencias significativas en la deflexión de vigas de concreto entre las reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM-615 grado 60.
- Es probable que la diferencia de costos entre las vigas reforzadas con varillas de fibra de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM-615 grado 60 sean significativas.

## II. MARCO TEORICO

### **Como antecedentes internacionales tenemos a:**

Lalvay (2017) en una tesis para optar el título de Ingeniero Civil de titulada: Análisis, comportamiento y comparación de varillas corrugadas de fibra de vidrio, en relación a las varillas convencionales; conjuntamente en componentes estructurales de concreto, la cual fue presentada en la Universidad de Azuay, tuvo como objetivo analizar las propiedades mecánicas y físicas de la varilla de fibra de vidrio, se busca adquirir datos sobre sus características y poseer un conocimiento mucho más amplio sobre este novel material para la construcción, fue un análisis comparativo, las conclusiones señalaron que:

En la prueba a tracción se logró precisar características como el punto de quiebre de cada una de las varillas y el módulo de elasticidad, obteniéndose a manera de resultado que la varilla de fibra de vidrio muestra una curva esfuerzo deformación y un módulo de elasticidad diferente para cada diámetro de varilla; en tanto que el acero obtuvo la misma curva de esfuerzo deformación y módulo de elasticidad con la que se ha estado utilizando en estas épocas. Así mismo, en la fibra se verifico que a menor diámetro mayor esfuerzo; además en esta prueba las corrugas se desprendieron de la varilla de fibra de vidrio lo que produjo que falle por aplastamiento en las mordazas.

En la prueba a compresión se pudo fijar el esfuerzo a la compresión con su correspondiente deformación; obteniendo como resultado que el acero tiene una curva esfuerzo deformación diferente a la varilla de fibra de vidrio.

En las pruebas nombradas anteriormente la varilla de fibras de vidrio solo las que alcanzaron poseer un comportamiento por encima a la del acero fueron las de 6 y 8 mm de diámetro, mientras que la de 12 mm de diámetro mostraron características muy por debajo a la del acero.

En las varillas de fibras de vidrio se pudo evidenciar un comportamiento enormemente interesante, todo lo contrario al acero; puesto que al instante de apartar la carga de compresión la varilla recupero su figura inicial, sin embargo presentó diminutas fisuras.

La varilla de fibra de vidrio posee un ángulo de limitación de aproximadamente 60 grados, en el momento que esta es superada se fractura ya que es un componente demasiado rígido que no tolera dobleces muy altas.

En el estudio a flexión, las vigas obtuvieron una deformación muy por encima a la calculada; en las vigas de fibra de vidrio la deformación excedió en unos 10 mm esto se debió a que la varilla de fibra de vidrio posee un módulo de elasticidad muy bajo, mientras que la deformación del acero de la viga excedió en unos 3 mm aproximadamente.

El estudio correspondiente de las vigas y de las columnas se efectuó con las fórmulas del acero; pero, aquellas no se ajustaron a la varilla de fibra de vidrio, esto se debió a que las pruebas mostraron discrepancias en deformación y carga; en la carga pudo tolerar entre el 10 – 15 % más que la calculada y en deformaciones un 8 % más.

La adherencia de la varilla de fibra de vidrios resulto ser diminuta, por ello en el estudio a flexión éste mostró desplazamiento en la viga; así mismo, cuando la carga que se aplico estaba cerca del 90% sus corrugas se desprendieron lo que ha generado una baja adherencia entre el concreto y la varilla.

La varilla de fibra de vidrio de origen ruso con el que se laboró, tiene cierto comportamiento parecido que la española la cual se analiza en la teoría estudiada para el actual trabajo; sin embargo, esta varilla española se diferencia de la rusa ya que si tolera su doblez.

Rivadeneira (2016) en una tesis para optar el título de Ingeniero Civil titulada: Correlación entre vigas de concreto armado con varillas de acero y con varillas de Fibra Reforzada con Polímero FRP sometidas a esfuerzos de flexión en los tercios del claro, presentada en la Universidad Central del Ecuador, tuvo como objetivo realizar el análisis del empleo de la Fibra Reforzada con Polímero (FRP) para ser una opción al uso del acero en el concreto armado sometido a esfuerzos de flexión. Se concluye que:

El uso de las varillas de Plástico Reforzado con Fibras de Vidrio o Glass-Fiber Reinforced Plastic (GFRP) como refuerzo del concreto armado se obtiene un Módulo de Rotura de 14,43 MPa, en tanto que, el Módulo de Rotura del concreto armado con varillas de acero es de 12,81 MPa. Es decir, mejora la calidad de este sometido a esfuerzos de flexión.

Por medio de las pruebas realizadas, se evidencia que ambos componentes de refuerzo proporcionaron resistencia al concreto que se encuentra sometido a

esfuerzos de flexión, el GFRP es quién ha brindado una contribución superior ante los esfuerzos de flexión, teniendo al acero como el que proporciona con una resistencia superior a la del concreto en edades iniciales y tomando en cuenta de que el concreto se aproxima a la edad en la cual alcanza la resistencia de diseño a la compresión.

Se llevó a cabo el estudio económico empleando ambos componentes a manera de refuerzo del concreto armado, en la cual, mediante la Tabla N°12 se evidencia, puesto a que tiene un mejor precio por MPa alcanzado, el acero sigue siendo el material más recomendable para su uso.

Se pudo demostrar, mediante el desarrollo de la investigación, la contribución del GFRP a manera de un componente de refuerzo al concreto armado sometido a esfuerzos de flexión, es muy favorable para el progreso de la ingeniería civil favoreciendo a su contribución a dichas solicitaciones, adecuado a su rigidez y a su gran resistencia a la tracción, lo cual se ha probado tras la ejecución de las pruebas de rotura de vigas.

El uso de la tecnología en la elaboración del FRP en el país, proporciona una innovación al uso del acero como refuerzo del concreto armado.

Díaz y Wainshtok (2016), en un estudio titulado: diseño de viga continua de concreto armado con barras de Polímeros Reforzados con Fibras de Vidrio (PRFV) presentada en la Universidad Tecnológica de la Habana, José Antonio Echeverría. Concluyen:

Es posible crear un diseño híper-reforzado, para el caso de una viga continúa reforzada con PRFV incrementando la cuantía de diseño para la sección de momento negativo (momento máximo) con respecto a la que se considera para momento positivo ( $\rho f(inic) = 1.1\rho fb$ ).

La elección del peralte por discernimiento de deformación implica a diseños amplios en el cumplimiento de los estados límites últimos de flexión ( $d_{real} > d_{min}$  y  $M_u \ll \emptyset Mn$ ) y cortante ( $S_{máx} \ll S_{req}$ ), en especial en el diseño de la sección para momento positivo, el que corrobora que los estados límites de servicio llegan a regir los diseños para este tipo de refuerzo.

El diseño conduce al empleo de un menor número de barras de refuerzo a pesar que el diseño de la viga continúa reforzado con barras de PFV necesita de

un peralte mayor y congruentemente a bajos precios totales, aumentando una ventaja más a las ya conocidas, como su bajo precio y su elevada resistencia a la corrosión, etc.

### **Como antecedentes nacionales tenemos a:**

Vila (2019) en una Tesis para optar el título de Ingeniero Civil titulada: Análisis comparativo del comportamiento estructural a flexión, entre vigas reforzadas con varillas de fibra de vidrio frente a las reforzadas con acero, presentada a la Universidad Federico Villarreal, tuvo como objetivo realizar un análisis comparativo del comportamiento de la estructura a flexión, entre vigas reforzadas con varillas de acero frente a las reforzadas con fibras. El enfoque de la investigación fue cuantitativo, diseño no experimental, se basó en el análisis sistemático, las investigaciones más relevantes para el análisis de la información fueron Almada, Bárcena y Enciso (2015) y Almerich (2010). Concluye:

Ambas vigas en tensión reforzadas con GFRP, el componente falla por rotura del concreto mas no por rotura de las varillas de GFRP. La falla se da por rotura del concreto, por lo que se cumple la relación cuantía / cuantía balanceada  $> 1$ . Así mismo, las expresiones utilizadas en el estudio de flexión en viga reforzadas con acero, al ser utilizadas para las vigas reforzadas con otro componentes como las varillas GFRP, proporciona resultados de momentos teóricos internos muy cercanos a lo práctico realizado por Almerich (2010).

Se ha precisado, que la ductilidad de las vigas reforzadas en tensión con GFRP ( $\varnothing$  16 mm), no experimentan el momento de fluencia, por consiguiente, no es viable encontrar la ductilidad de forma directa en el gráfico de momento curvatura. Razón por la cual es preciso el empleo de otra teoría de diseño de vigas con varillas de GFRP.

Se ha precisado que, teniendo el momento de servicio como referencia, el esfuerzo a compresión del concreto es de 20.53Tn, 21.35 Tn y 19.40 Tn en la viga N°01, N°02 y N°03 respectivamente, comprendiendo la viga N°02 y N°03 una diferencia de 4 % y -6 % con relación a la viga N°01. Así como también, se ha definido de acuerdo a la tabla N° 19 y teniendo como referencia el momento de servicio, el esfuerzo a tensión del concreto en la viga N° 01, N° 02 y N° 03 es de 0.76 Tn, 0.20 Tn y 0.18 Tn respectivamente, obteniendo la viga N°02 y N°03 una

diferencia de -74 % y - 76 % con relación a la viga N°01. Por poseer el menor esfuerzo de compresión y tensión del concreto, la viga N° 03 es la que soporta mayor carga.

Se ha precisado que las deflexiones que produce una idéntica carga en las vigas N° 02 y N° 03, con respecto a la viga N° 01 posee un aumento del 300% aprox. Lo que nos deja llegar a la conclusión que el criterio de deflexión es más fundamental que la resistencia en un diseño de viga con GFRP. Conforme al gráfico N° 10, los resultados obtenidos en la deflexión por los resultados experimentales realizado por Almerich (2010) y por la ecuación de Branson, en una viga con GFRP reforzada doblemente, son de muy cercanos entre sí, por lo que se da como valederas el diseño y el análisis de deflexión llevados a cabo en la actual tesis.

Se ha precisado que los refuerzos tienen un precio de S/. 137.82, S/. 183.04 y S/. 167.97 de las vigas N° 01, N° 02 y N° 03 respectivamente, lo que significa un aumento del precio del refuerzo de las vigas N° 02 y N° 03 en un 33 % y 22 % con relación a la viga N° 01. No obstante, si tenemos en consideración el precio de conservación de los refuerzos en un medio agresivo como el salitre, resultaría muy económico emplear barras de GFRP por tener una alta inmunidad a la corrosión.

Bazán (2015), en una Tesis para optar el grado de Maestro titulada: Estudio experimental y numérico del comportamiento de flexión de vigas de concreto armado reforzadas con bandas de FRP, de la Universidad Nacional de Ingeniería, tuvo como objetivo realizar el análisis del comportamiento de vigas de concreto armado reforzadas externamente con método FRP (Fiber Reinforced Polimer), fue un estudio experimental. Concluye que;

Los diversos ensayos permitieron evidenciar nuevas líneas de investigación, que permitirán la optimización y mejoras en el detallado sismo-resistente del reforzamiento externo con materiales compuestos FRP de los componentes estructurales con comportamiento a flexión, así mismo se logró establecer las diferentes características mecánicas, se observó una respuesta favorable en el Momento-Curvatura de la sección transversal, se propuso diseñar las configuraciones y características específicas, energía de deformación, abocado a un diseño sismo-resistente del reforzamiento externo con FRP.

### **Como bases teóricas:**

- **Fibra de vidrio:**

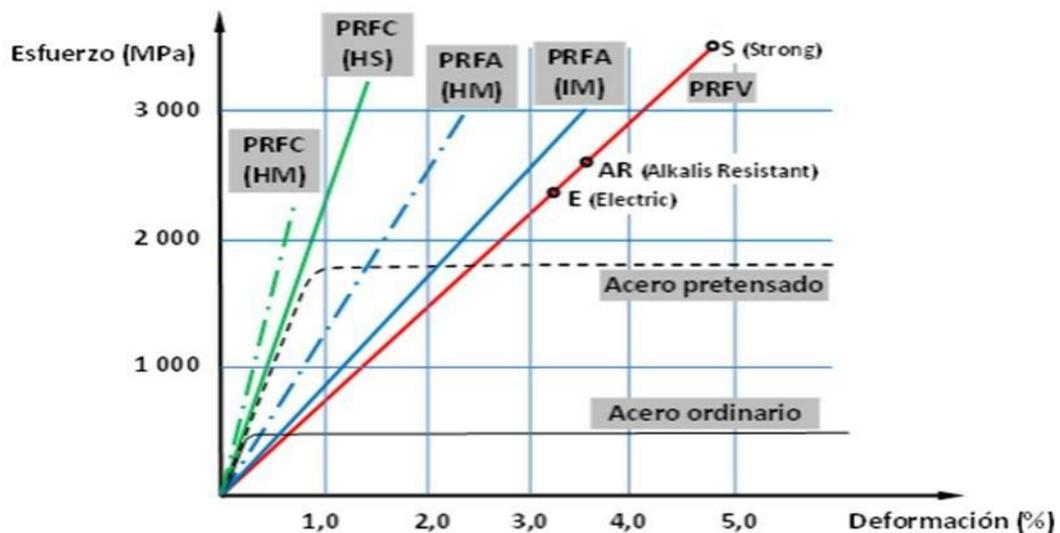
Con relación a la fibra de vidrio se puede decir que, es considerado un material fibroso, que se obtiene al fundir el vidrio y hacerlo fluir por piezas de agujeros finos, para que al volverse solidas sean muy flexibles y puedan utilizarse como fibras. (Villamudria Rivera, 2014). Es importante también acotar que: “Son las más utilizadas como refuerzo en los composites aplicados a la construcción, debido, fundamentalmente, a la excelente relación existente entre características y precio” (Olivares, M; Galán, C; Roa, J, 2003). Dentro de las propiedades más nombradas se tiene el aislamiento térmico, soporta grandes temperaturas y es inerte ante los ácidos. Se puede decir que, estas propiedades y los bajos costos de elaboración o materia prima, le han otorgado popularidad, además de usos de tipo industrial. (Villamudria Rivera, 2014)

Es pertinente señalar que, las fibras están elaboradas con materia prima de vidrio, lo que varía es la cantidad de componentes que se desea obtener, dependiendo del tipo de fibra que se requiera. Para la preparación se procede a mezclar y triturar hasta lograr una mezcla homogénea que se lleva al horno a temperatura de 1550 °C, para pasarlo a un estado líquido (Olivares, M; Galán, C; Roa, J, 2003). Otro aspecto significativo a mencionar es que, la matriz que posee la fibra de vidrio denominada polimería: “Esta matriz es la encargada de unir las fibras de vidrio y mantenerlas compactas, también es la encargada de transmitir a las fibras los esfuerzos que se producen alrededor de ella...” (Lalvay Llivigañay, 2017).

**Figura 1.** Composición de los diferentes tipos de fibras.

Componentes		Sílice SiO <sub>2</sub>	Alumina Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cal CaO	Magnesio MgO	Óxido de Boro B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fluor F	Óxido de Sodio	Óxido de Zirconio	Óxido de Potasio	Óxido de Hierro	Óxido de Titanio	Óxido de Zinc	Fluoruro cálcico F <sub>2</sub> Ca
Tipos vidrios														
Polival.	E	53-54	14-15,5	20-24 sumados		6,5-9	0-0,7	Total # 1					-	-
Resistent. a ácidos	A	70-72	0-2,5	5-9	4-1	0-0,5	-	12-15	-	1	-	-	-	-
	C	60-65	2-6	14	1-3	2-7	-	8-10	-	-	-	-	-	-
Resistentes a álcalis		65-70	-	4-8	-	-	-	14-20	-	0-3	-	6-12	-	-
		62-75	0-6	-	-	0-6	-	13-21	7-17	-	0-5	0-4	1-10	0-2
Alta resistenc. mecánica	R	60	25	6	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S	62-65	20-25	-	10-15	0-1,2	-	0-1,1	-	-	-	-	-	-
Dieléctr.	D	73-74	-	0,5-0,6 sumados		22-23	-	1,3	-	1,5	-	-	-	-

**Figura 2.** Gráfico de esfuerzo deformación de algunos materiales compuestos de PRF.



Fuente. (Martínez J., Correa J., Díaz I., 2019).

### Tipos de fibras:

Los tipos de fibra varían en función de los componentes, es decir, al porcentaje o cantidad, cada tipo presenta características distintas, en función de la preparación. A continuación, se explican los tipos de fibras más comunes.

- **Fibra de vidrio A:**

Contiene una gran cantidad de sílice, se usa a manera de reforzante y posee una alta fortaleza química, es resistente a ambientes alcalinos; sus características

mecánicas son bajos, posee un módulo menor que el vidrio E, (Olivares, M; Galán, C; Roa, J, 2003).

- **Fibra de vidrio E:**

Es la más empleada, representando el 90% del refuerzo empleado en los composites. Además se empleada en la industria textil. Posee excelentes cualidades eléctricas. Es duradero y de bajo costo, escasa permeabilidad de humedad (Olivares, M; Galán, C; Roa, J, 2003).

- **Fibra de vidrio S:**

Es borosilicato de calcio y pequeña cantidad de álcalis, de alta resistencia, tiene extraordinarias cualidades eléctricas (Olivares, M; Galán, C; Roa, J, 2003).

- **Fibra de vidrio C:**

Tiene gran resistencia química. Es un vidrio que se encuentra entre el A y el E. Empleada en elementos de envolturas superficiales expuestos a la corrosión o de estructuras anticorrosión. (Olivares, M; Galán, C; Roa, J, 2003).

- **Fibra de vidrio R:**

Posee una gran resistencia mecánica, teniendo su módulo de elasticidad y su resistencia a la tracción muy por encima a los otros vidrios. Se utiliza, principalmente, en las áreas de armamento, aviación, aeronáutica y, en general, cuando se necesita componentes muy resistentes a la humedad, la fatiga y temperatura. (Olivares, M; Galán, C; Roa, J, 2003).

- **Fibra de vidrio D:**

Posee una gran propiedad dieléctrica ya que su uso es aconsejado en la fabricación de componentes electrónicos, de comunicación y como elemento penetrable a las ondas electromagnéticas. Se emplea en la elaboración de ventanas electromagnéticas y radares. (Olivares, M; Galán, C; Roa, J, 2003).

### **Propiedades de las varillas corrugadas de fibra de vidrio:**

En las estructuras, se emplean diversos materiales, los cuales han evolucionado a través del tiempo, en busca de mayor durabilidad, resistencia, costo, etc., dentro de las alternativas viables se encuentra la fibra de vidrio. Es importante entonces, considerar las propiedades de las fibras de vidrio, dentro de ellas están, dilatación térmica, resistencia a la tracción, densidad, resistencia a la

compresión, módulo de elasticidad y resistencia a la fatiga, los cuales se explican a continuación:

- **Densidad:**

Esta propiedad es de gran relevancia debido a que la varilla de fibra de vidrio es muy ligera. Tienen una densidad de  $1250 \text{ kg/m}^3$  -  $2100 \text{ kg/m}^3$ , en cambio el acero posee una densidad de  $7850 \text{ kg/m}^3$ , lo que implica que la varilla de fibra es mucho más ligera que la de acero corrugado. (Escamilla Hernández y Loza Vega, 2014).

- **Dilatación Térmica:**

Es importante mencionar que, la varilla de fibra de vidrio muestra propiedades anisotrópicas, por tanto, no presenta un solo coeficiente al dilatarse; pero tiene, un coeficiente denominado lineal y otro transversal, teniendo como base las propiedades de la resina que se emplea para elaborarla. La dilatación longitudinal tiene un valor cercano a  $6 - 10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ; mientras que, la dilatación transversal entre  $21-23 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , en cambio el acero presenta características denominadas isotrópico, por tanto, el valor del coeficiente de dilatación es de  $11.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ . (Escamilla Hernández y Loza Vega, 2014).

- **Resistencia a la tracción:**

La resistencia a tracción varía, dependiendo del diámetro que posea cada varilla de fibra de vidrio, lo que, si es importante acotar, es que, esta disminuye en relación al aumento del diámetro. Es necesario mencionar que, las varillas del exterior se afectan primero dejando libre las internas, debe considerarse la propiedad anisotropía de la varilla, por tal motivo presenta gran variabilidad de resistencia y dependerá también de la proporción de materiales que se utilice.

- **Resistencia a la compresión:**

La varilla de fibra de vidrio posee buena resistencia a compresión, de allí que soporta entre 40% y 60% en tracción, siendo un gran aporte para el diseño de estructuras, existen otros elementos que puede ser combinado con las varillas para mejorar aún más su resistencia a tracción. “A diferencia del esfuerzo a tensión, el esfuerzo a compresión es muy bajo, en estudios éste ha llegado a ser del 55% del esfuerzo a tensión por lo que no se recomienda su utilización como refuerzo a compresión” (Escamilla Hernández y Loza Vega, 2014).

- **Resistencia a la fatiga:**

“La fatiga dinámica es cuando el esfuerzo aplicado no es mayor del 50% de su resistencia a rotura, y se encuentra actuando en el mismo sentido que la matriz, el comportamiento bajo carga dinámica es óptimo” (Escamilla Hernández y Loza Vega, 2014).

- **Módulo de elasticidad:**

De acuerdo a investigaciones, el comportamiento de la varilla de fibra de vidrio desde la propiedad elástica lineal, para determinar su ruptura de módulo es menor que el acero (205 GPa) y el límite elástico (550 GPa) al compararlos, lo que implica una limitante, pues el aviso de falla puede no ser oportuno. Es aproximadamente el 20%, y que el rango del valor del módulo de elasticidad de varilla de fibra de vidrio a tracción oscila entre 35 a 55GPa, y que la compresión es mucho menor al de tracción aproximadamente entre el 83% al 89% de la tracción. (Lalvay Llivigañay, 2017).

**Figura 3.** Composición de las fibras para refuerzo.

**Tabla 1** Composición de algunas fibras de vidrio para refuerzo (Reproducido de la pg 486 del libro “Ciencia de materiales para ingenieros” tercera edición)

Designación	Característica	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	otros
Vidrio A	sosa común-cal sílice	72	<1	10	-	14	-	3
Vidrio AR	Resistente al álcali (para reforzado de concreto)	61	<1	5	<1	14	3	15
Vidrio C	Resistente a la corrosión química	65	4	13	3	8	2	5
Vidrio E	Composición eléctrica	54	15	17	5	<1	<1	7
Vidrio S	Alta resistencia y módulo	65	25	-	10	-	-	-

Fuente: (Escamilla Hernández y Loza Vega, 2014).

### **El acero:**

En su connotación más esencial el acero es un metal, cuya composición integra varios componentes, de allí su resistencia, estos también pueden variar. El acero es una combinación de distintos componentes como: carbono, cromo, magnesio, vanadio, níquel, silicio y vanadio. El carbono es el fundamental y el que precisa sus propiedades mecánicas” (Harmsen, 2002). Es importante señalar que, depende de la utilización que se otorgue al acero, sus propiedades varían.

### **Características de las varillas corrugadas de acero:**

Es pertinente mencionar que, el acero se utiliza de múltiples formas, en la construcción, su utilización más comúnmente conocido es corrugado, para hacerlo más adherente y así compactarse con el concreto. Estas varillas presentan características particulares son corrugadas en la superficie, circulares. También es necesario considerar que, deben contener requisitos mínimos para que el ingeniero autorice su implementación en una obra estructural, se señalan 3 aspectos, grado 40, grado 60 y grado 75, pero el más utilizado es el de grado 60. (Harmsen, 2002). A continuación, se muestran estas medidas.

**Figura 4.** Características de resistencia del acero.

	$f_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$f_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Grado 40	2800	4900
Grado 60	4200	6300
Grado 75	5300	7000

Fuente: (Harmsen, 2002)

Dónde:  $f_y$ : Esfuerzo de fluencia de acero.

$f_s$ : Resistencia mínima a tracción a la rotura.

Las varillas corrugadas convencionales que se encuentran en el mercado peruano son de los siguientes diámetros 6 mm, 8 mm, 3/8", 12 mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1", 1 1/8" y usualmente tienen una longitud de 9 metros. (Harmsen, 2002).

### **Características y propiedades físicas de las varillas corrugadas de acero:**

Las características de las vigas con varillas de acero pueden denominarse universales, sin embargo, cada país establece sus estándares de calidad en Perú existes varias empresas que se dedican a la elaboración y distribución del acero, una de esa empresa es Aceros Arequipa, la cual, define el acero como: material que soporta perfectamente las fuerzas que lo comprimen. En cambio, es blando ante las fuerzas que lo alargan. En consecuencia, a una estructura de concreto es

preciso incorporar varillas de acero, de acuerdo al tipo de estructura, con el fin de que la estructura tenga resistencia al alargamiento (Aceros Arequipa, 2019).

Dentro de sus características de varillas de acero se tiene que, las más empleadas en una vivienda son las de diámetros de 6 mm, 3/8", 1/2" y 5/8". Además se elaboran en diámetros de 8 mm, 12 mm, 3/4", 1" y 1 3/8". La densidad específica del acero en promedio es 7900 kg/m<sup>3</sup>, siendo en cantidades considerables un material pesado, para su transporte (Aceros Arequipa, 2019).

De acuerdo a sus características geométricas las varillas de acero corrugado que se hallan en el mercado peruano son los siguientes:

**Figura 5.** Características y propiedades de las varillas corrugadas de acero

PESO (kg/m) SEGÚN DIÁMETRO			
DIÁMETRO DEL FIERRO.	ÁREA NOMINAL mm <sup>2</sup>	PESO NOMINAL kg/mt	PESO MÍNIMO* kg/mt
6 mm	28	0.222	0.207
8 mm	50	0.395	0.371
3/8"	71	0.56	0.526
12 mm	113	0.888	0.835
1/2"	129	0.994	0.934
5/8"	199	1.552	1.459
3/4"	284	2.235	2.101
1"	510	3.973	3.735
1 3/8"	1006	7.907	7.433

Fuente: (Aceros Arequipa, 2019)

### **Características y propiedades mecánicas de las varillas corrugadas de acero:**

Las propiedades mecánicas están referidas a la capacidad de los cuerpos para soportar fuerzas sin romperse, estas varían dependiendo del material, la fuerza que se ejerza y el diámetro del material. Dentro de las fuerzas más comunes a utilizar se tiene la tracción, torsión y compresión. (Lalvay Llivigañay, 2017). A

continuación, se muestran las especificaciones mecánicas de las varillas corrugadas.

**Figura 6.** Especificaciones mecánicas de las varillas corrugadas.

ENSAYO		UNIDAD	GRADO DE ACERO	
			A 28	A 42
Tracción (a)	Límite de fluencia, mínima	daN/mm <sup>2</sup>	27,5(28)	41,2(42)
	Resistencia máximo, mínimo	daN/mm <sup>2</sup>	43,2(44)	61,8(63)
	Alargamiento, mínimo (b)	%	22	15
Doblado a 180° (c)	$d \leq 14$	mm	D = 3d	D = 3,5d
	$16 \leq d \leq 22$	mm	D = 3,5d	D = 5d
	$25 \leq d \leq 32$	mm	D = 5d	D = 7d
(a) entre paréntesis: valor aproximado en kgf/mm <sup>2</sup> (b) ensayo con probeta de $L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$ (ver nota 1) (c) d = diámetro de la varilla en mm D = diámetro del mandril en mm				

Fuente. (Allauca, 2011) (Lalvay Llivigañay, 2017)

- **Maleabilidad:**

Es la propiedad que presenta un material en estado sólido de presentar una deformación mediante una compresión sin que el material presente fracturas. (Lalvay Llivigañay, 2017).

- **Ductilidad:**

Es una propiedad mecánica muy importante en las varillas de acero, “La ductilidad es la propiedad que tiene un material para soportar grandes deformaciones sin fallar bajo esfuerzos de tensión altos” (McCormac y Csernalaska, 2012). Cuando se realiza un ensayo de tensión de una varilla corrugada con bajo contenido de carbono, en la sección transversal se presenta una reducción considerable y un gran alargamiento en el punto de falla; una varilla que no presente esta propiedad probablemente será dura y frágil, que al momento de someterla a una tensión pequeña se romperá. (Lalvay Llivigañay, 2017).

- **Elasticidad:**

La elasticidad se evidencia por medio de la ley de Hooke, los materiales sufren deformaciones, de acuerdo a las cargas que se le aplican, entendiendo que, una vez que la carga es retirada el material debe volver a su estado natural, sin

presentar variaciones o deformaciones. Las pruebas de elasticidad contemplan evaluar las deformaciones en caso que existan, es decir, esperar a que, una vez terminado el proceso de tracción el grado de variación que presente el material se denomina deformación, si es muy fuerte, puede llegar a la ruptura. (Lalvay Llivigañay, 2017).

- **Tenacidad:**

La tenacidad implica el grado de absorción de energía en grandes cantidades, ante la ruptura y se evidencia o representa bajo la curva de tensión, esta es expresada en Julios. Se puede asegurar que, el valor de tenacidad de un material presenta variaciones, pues no es único, depende, de las características de los materiales, la forma de aplicación de la carga y otro elemento esencial es la temperatura. (Lalvay Llivigañay, 2017).

#### **Diseño de vigas a flexión simple:**

- **Resistencia nominal a flexión**

El concreto no logrará desarrollar una fuerza de compresión superior a su resistencia  $f'c$ .

El concreto posee una resistencia a la tracción baja y se agrieta más o menos cuando este obtiene un 10 % de su resistencia  $f'c$  por lo que se ignora en los cálculos de análisis y diseño, por lo que se considera que el acero coge toda la fuerza total en tracción.

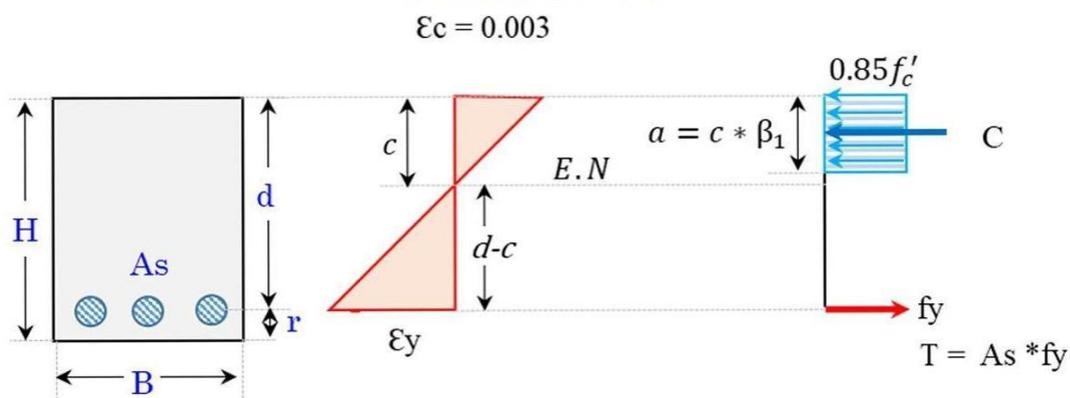
La relación esfuerzo deformación del concreto se estima lineal solo hasta alrededor del 50 % de su resistencia.

Predomina la suposición de Bernoulli en la que las secciones planas antes de la flexión continúan planas y perpendiculares al eje neutro después de la flexión.

La deformación unitaria del concreto en la rotura es:  $\epsilon_{cu} = 0.003$ .

De acuerdo con el método de factores de carga y resistencia, para el diseño nos atrae comprender cómo se encuentra la sección en el estado de falla, a continuación explicamos esta condición para una sección simplemente reforzada.

**Figura 7.** Diagrama de deformación y tensión de la sesión recrecida.



Fuente. (Chavez, 2006)

El valor de  $\beta_1$  si la resistencia del concreto es inferior que 280 kg/cm<sup>2</sup> es 0.85, si ella no es el caso este reducirá en 0.05 por cada aumento de 70 kg/cm<sup>2</sup> en la resistencia del concreto, no siendo su valor menor a 0.65.

El código ACI toma como un valor límite de seguridad una deformación unitaria máxima del concreto de 0.003, para el cual el concreto falla.

- **Diseño por flexión**

En el diseño por flexión se debe conocer que el tipo de falla deseable es la falla dúctil con la que la sección ha desarrollado grandes deformaciones.

El código ACI establece los límites de cuantía para el diseño:

**Cuantía máxima:**

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

Para zonas sísmicas se asumirá como cuantía máxima el valor de  $0.5\rho_b$ .

**Cuantía mínima:**

Se asumirá el mayor valor de las dos siguientes expresiones:

$$\rho_{min} = \frac{14}{f'y} \quad \rho_{min} = 0.8 \frac{\sqrt{f'c}}{f'y}$$

Dónde:  $f'c$  y  $f'y$  están en kg/cm<sup>2</sup>.

Manteniendo estas consideraciones, escogemos un valor para la cuantía con el cual dimensionaremos la sección:

Sabemos:

$$M_U = \phi \rho b d \left( \frac{f_y}{f_c} \right) f'_c \left( d - 1.5 \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b} \right)$$

Luego:  $M_u = \phi M_n = \phi A_s f_y (d - a/2)$

Finalmente:  $M_u = \phi b d^2 f'_c w (1 - 0.59w)$

Esta última fórmula es la fórmula de dimensionamiento, donde los valores desconocidos son “b” y “d”, los cuales el diseñador elegirá adecuadamente.

**Cálculo del acero:**

Una vez determinada la sección, el cálculo del acero se efectúa simplemente haciendo una interacción entre las siguientes dos expresiones:

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

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

Se sugiere como aproximación que “a” sea igual a “d/5”.

**Definición de términos:**

**Concreto armado:** Posee armaduras de acero en su interior, debidamente calculadas y distribuidas, este concreto es capaz de soportar esfuerzos de tracción y compresión. (Glosario de Términos de ingeniería, 2019).

**Corrosión:** Se describe como el deterioro de un material como resultado de un ataque electroquímico por su ambiente. (Glosario de Términos de ingeniería, 2019).

**Curva de tracción:** Curva en planta que favorece la circulación progresiva desde un recorrido rectilíneo a una curva circular, o entre dos circulares de radio diferente. (Glosario de Términos de ingeniería, 2019).

**Ductilidad:** Capacidad de deformación una vez rebosado el límite de proporcionalidad. En ingeniería sísmica capacidad que posee los componentes de

un sistema estructural de hacer incursiones alternantes en el dominio inelástico sin pérdida apreciable de su capacidad resistente. (Glosario de Términos de ingeniería, 2019).

**Esfuerzo Cortante:** Es una fuerza exterior que se coloca de manera vertical a la sección que se está estudiando, podría ser una columna, viga u otro componente estructural, el esfuerzo aplicado pretende cortar el componente en el lugar donde se aplica la fuerza. (Glosario de ingeniería Civil, 2019).

**Tensión:** Es una fuerza que pretende alargar un elemento, el acero es un componente que tolera enormes fuerzas de este tipo, pero el concreto no tolera este tipo de fuerzas. (Glosario de ingeniería Civil, 2019).

**Varilla:** Componente de acero que se usan como refuerzo en la elaboración de componentes de concreto como, trabes, columnas, zapatas, losas etc., las varillas soportan fuerzas de tensión, y esta característica es la que les deja ser utilizadas como refuerzo del concreto. (Glosario de ingeniería Civil, 2019).

**Vigas:** Elemento estructural alargado que se coloca en forma horizontal, se apoya en trabes y la dimensión varía dependiendo de la separación entre las trabes de apoyo. (Glosario de ingeniería Civil, 2019).

### III. METODOLOGIA

#### 3.1. Tipo y Diseño de investigación:

El método deductivo: “Va de lo general a lo particular, parte del estudio de principios generales, leyes o teorías, para deducir por medio de razonamiento lógico suposiciones y llegar a la observación y registro de datos” (Palomino Orizano, Peña Corahua, Zevallos Ypanaqué, y Orizano Quedo, 2015). Es decir, esta investigación se desarrollará dentro del método deductivo. El enfoque del estudio es cuantitativo, de diseño experimental, de acuerdo con Carrasco (2017): “Se denomina tipos de diseños experimentales de la investigación a las diferentes formas de resolver problemas de interés científico en el campo experimental” (p. 62). Es pertinente señalar que, el nivel de la investigación es explicativo debido a que, este nivel se distingue por que, “Se aplica un nuevo sistema, modelo, tratamiento, programa, método o técnica para mejorar y corregir la situación problemática, que ha dado origen al estudio de investigación” (Carrasco, 2017).

De acuerdo al diseño muestral y atendiendo a las características del estudio, es decir, el diseño experimental, se seleccionan los datos necesarios para realizar el modelamiento en el software SAP, los cuales se detallan a continuación:

Datos de materiales a utilizar:

Concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 - 280 \text{ Kg/cm}^2$ .

Varillas de fibra de vidrio de 2 m de diámetros 6, 12 mm.

Varillas de acero de 2 m de diámetros 6, 12mm”

#### 3.2. Variables y Operacionalización:

- Como variable independiente:

Vigas reforzadas con varillas de fibra de vidrio:

- Como variable dependiente:

Vigas reforzadas con varillas de acero.

#### Operacionalización de variables:

##### Definición conceptual:

**Variable independiente:** vigas reforzadas con varillas de fibra de vidrio

Es un tipo de viga con un reforzamiento con material nuevo en nuestro país con la cual se busca reemplazar a las vigas reforzadas con acero, su empleo en las construcciones traería muchos beneficios tanto económico como estructuralmente.

**Variable dependiente:** vigas reforzadas con varillas de acero

Son las vigas convencionales usadas en casi la totalidad de las construcciones en nuestro país, con una buena distribución de aceros puede llegar a ser muy resistente ante los eventos sísmicos.

**Definición operacional:**

**Variable independiente:** vigas reforzadas con fibras de vidrio

El uso de las fibras de vidrio en nuestro país es nula por lo que su empleo en la construcción nos traería un avance significativo en el campo de la ingeniería civil, por lo que deberá ser evaluado mediante los ensayos en laboratorio y posterior implementación de una norma técnica que lo regule para su fabricación y empleo.

**Variable dependiente:** vigas reforzadas con varillas de acero

Son vigas de materiales muy conocidos en nuestro país sus características físico – químicos ya han sido evaluados mediante ensayos de laboratorio y han sido normadas mediante la norma ASTM y NTP.

**Tabla 1.** Operacionalización de las variables.

VARIABLE (S)	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<p><b>Variable Independiente:</b> Vigas reforzadas con varillas de fibra de vidrio</p>	Es un tipo de viga con un reforzamiento con material nuevo en nuestro país con la cual se busca reemplazar a las vigas reforzadas con acero, su empleo en las construcciones traería muchos beneficios tanto económico como estructuralmente.	El uso de las fibras de vidrio en nuestro país es nula por lo que su empleo en la construcción nos traería un avance significativo en el campo de la ingeniería civil, por lo que deberá ser evaluado mediante el software SAP 2000 y posterior implementación de una norma técnica que lo regule para su fabricación y empleo.	Modelamiento digital	SAP 2000
<p><b>Variable Dependiente:</b> vigas reforzadas con acero</p>	Son las vigas convencionales usadas en casi la totalidad de las construcciones en nuestro país, con una buena distribución de aceros puede llegar a ser muy resistente ante los eventos sísmicos.	Son vigas de materiales muy conocidos en nuestro país sus características físico – químicas ya han sido evaluados mediante ensayos de laboratorio y han sido normadas mediante la norma ASTM y NTP.	Modelamiento digital	SAP 2000

Fuente. Elaboración propia

Escala de medición: se va utilizar la escala de medición del intervalo

### 3.3 Población, muestra y muestreo

**Población:** Para el presente proyecto de investigación se considera como población, a las vigas reforzadas con varillas de fibra de vidrio y a las vigas reforzadas con varillas de acero.

**Muestra:** Para seguir un proceso de selección de un grupo representativo de la población, se realiza el muestreo no probabilístico intencionado por el investigador. Este muestreo se rige bajo los criterios e interés de los objetivos y experimentación en el desarrollo del trabajo del investigador. (Valderrama, 2002, p.185).

La muestra seleccionada para el presente proyecto de investigación son las vigas reforzadas con varillas de fibra de vidrio de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ,  $210 \text{ kg/cm}^2$  y vigas reforzadas con varillas de acero de  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  y  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos:**

Dentro de las técnicas de recolección de datos, se tiene como primera alternativa la observación, la cual es una de las técnicas más utilizadas en los diversos estudios, consiste en utilizar los sentidos para percibir la realidad o fenómeno abordada, en este caso el investigador estará presente en cada una de las pruebas o simulación que se realicen en el software SAP 2000. Asimismo, el estudio por ser experimental permite realizar simulaciones con sección de vigas a escala y a sección típicas de vigas. En este caso se realizarán medidas preliminares que se llevarán en forma ordenada por el investigador, atendiendo a las propiedades mecánicas y físicas de cada viga o varilla.

### **3.5 Procedimientos:**

Los datos se recolectaran de las simulaciones que se realizará en el software SAP 2000 con la cual se viene programando los trabajos de simulación a realizarse para obtener los resultados requeridos para esta investigación.

### **3.6 Método de análisis de datos:**

Para el procesamiento de la información se utilizarán gráfico y tablas, utilizando la estadística descriptiva, para comparar el comportamiento estructural de cada viga o varilla; así como las variaciones de las propiedades al ser sometidas a flexión, pudiendo determinar las propiedades de resistencia de tracción, compresión y deflexión de cada una de las vigas, partiendo del diámetro que cada una posea y los criterios de ductilidad y esfuerzo. Para la estadística inferencial se observará el comportamiento de los datos y posteriormente se seleccionará el método estadístico más apropiado

### **3.7 Aspectos éticos:**

Dentro de los aspectos éticos el investigador garantizará que los resultados reúnan todas las condiciones de un método científico, siguiendo la rigurosidad del mismo.

## IV. RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados obtenidos del modelamiento de cuatro vigas de concreto armado reforzadas con varilla de acero convencional y varillas de fibras de vidrio. Asimismo se muestran las curvas de comportamiento de los materiales usados en el modelamiento, tales son, por ejemplo, el concreto de 280 kg/cm<sup>2</sup>, las varillas de acero grado 60 y las fibras de vidrio.

Es importante tener en cuenta que el estudio de las vigas de concreto armado se ha distribuido en dos partes, siendo el primero el estudio de las vigas reforzadas con varillas de acero convencional de 6 mm de diámetro y 12 mm de diámetro.

La segunda parte de este capítulo estudia el comportamiento estructural de las vigas de concreto reforzadas con varillas de fibras de vidrio, al igual que el caso anterior, los diámetros fueron de 6mm y 12 mm de diámetro.

Finalmente, los resultados obtenidos son comparados, para así analizar los efectos que tiene en el comportamiento mecánico el uso de fibras de vidrio con respecto de las fibras de acero.

### **Casos de estudio**

El estudio de comportamiento estructural de las vigas reforzadas con varillas de acero y fibras de vidrio se han realizado mediante el estudio de cuatro especímenes. Las primeras dos vigas de concreto están reforzadas con varillas de acero de 6mm y 12mm de diámetro. Asimismo, se están estudiando dos especímenes reforzados con varillas de fibras de vidrio de 6mm y 12 mm de diámetros. Un resumen de estos y sus características se muestran en la Tabla 2.

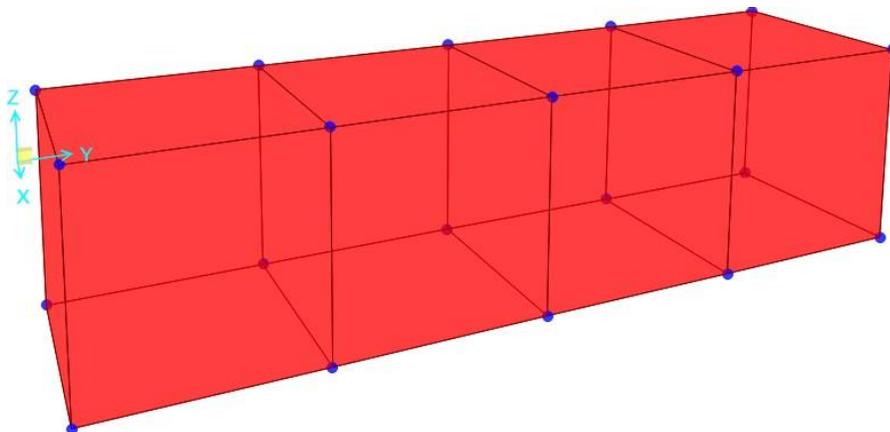
**Tabla 2:** Vigas de concreto reforzados con varillas de acero y fibras de vidrio.

Elemento	Base	Alto	Largo	fc	Refuerzo	Diámetro
C6mm	15	15	60	280	Acero	6
C12mm	15	15	60	280	Acero	12
F6mm	15	15	60	280	Fibra	6
F12mm	15	15	60	280	Fibra	12

Fuente. Elaboración propia

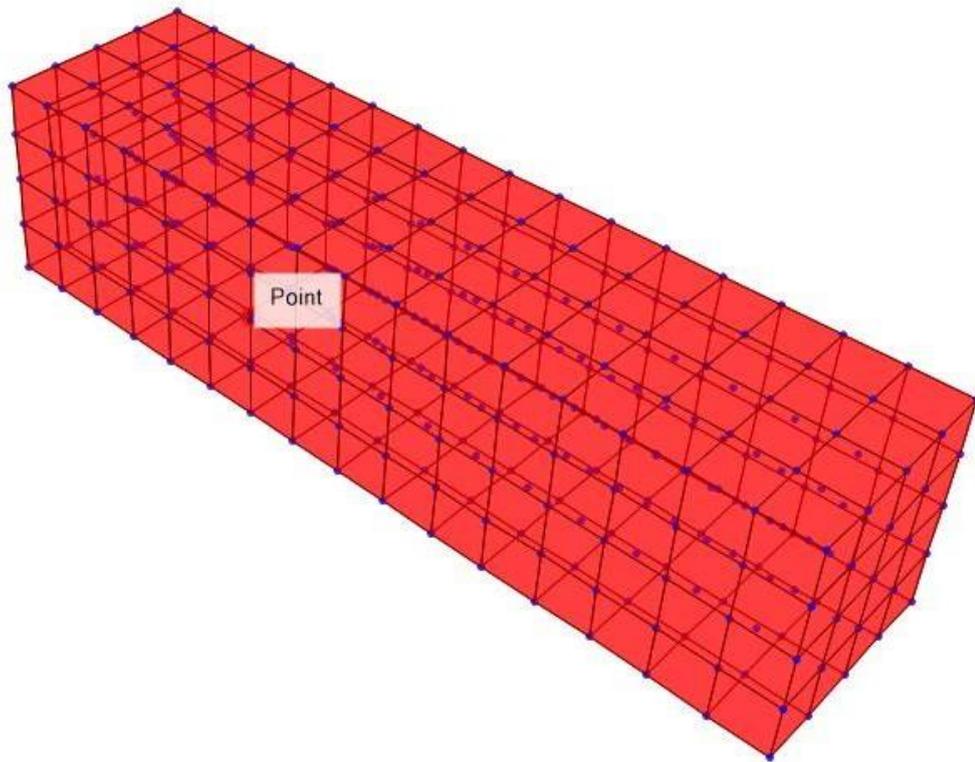
### Viga con refuerzo de acero convencional

Se da inicio a esta sección con el modelado de la viga reforzada con acero convencional de 6mm de diámetro. A continuación se muestra el modelado realizado y el mallado de elementos finitos.



**Figura 8:** Modelo de elementos de la viga analizada usando elementos hexahedrales

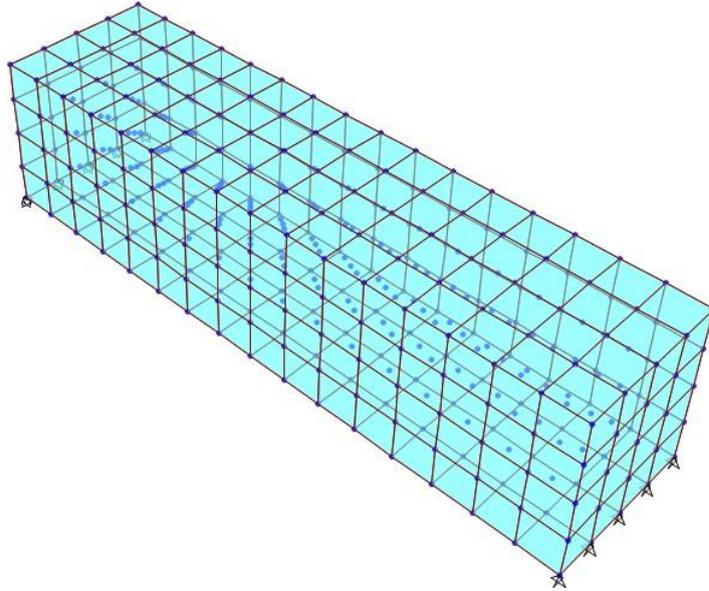
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 9:** Discretización del modelo de elementos finitos.

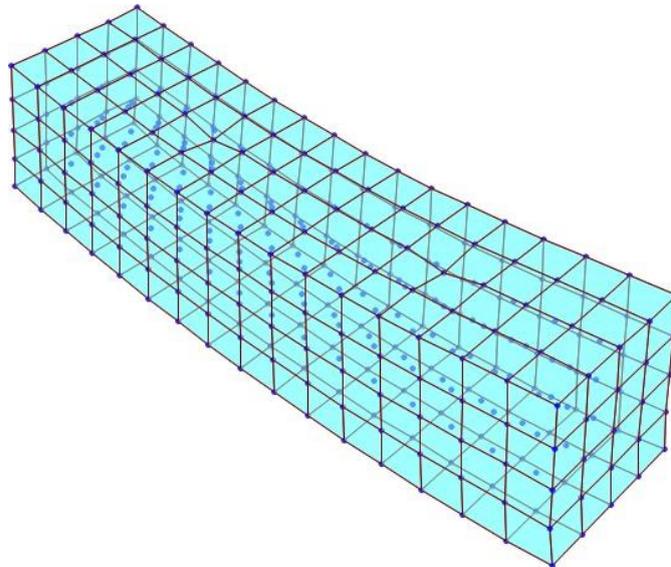
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez realizado el mallado se colocan las condiciones de borde del problema analizado. Esto implica indicar que grados de libertad se restringen dentro de la modelación. Es importante entender que esta parte del proceso debe tratar de representar las condiciones de apoyo del problema, tal como se muestra a continuación.



**Figura 10:** Condiciones de borde considerados en el modelamiento.

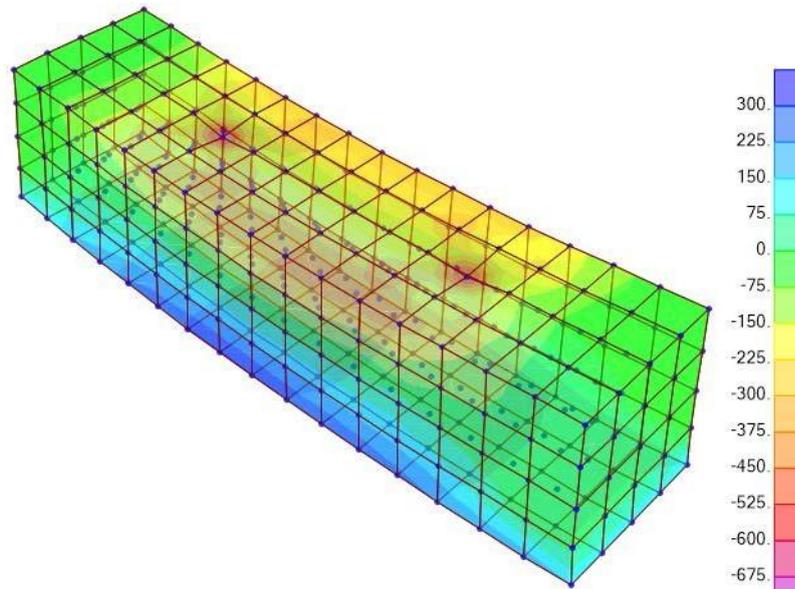
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 11:** Deformada debido a la aplicación de las cargas gravitacionales.

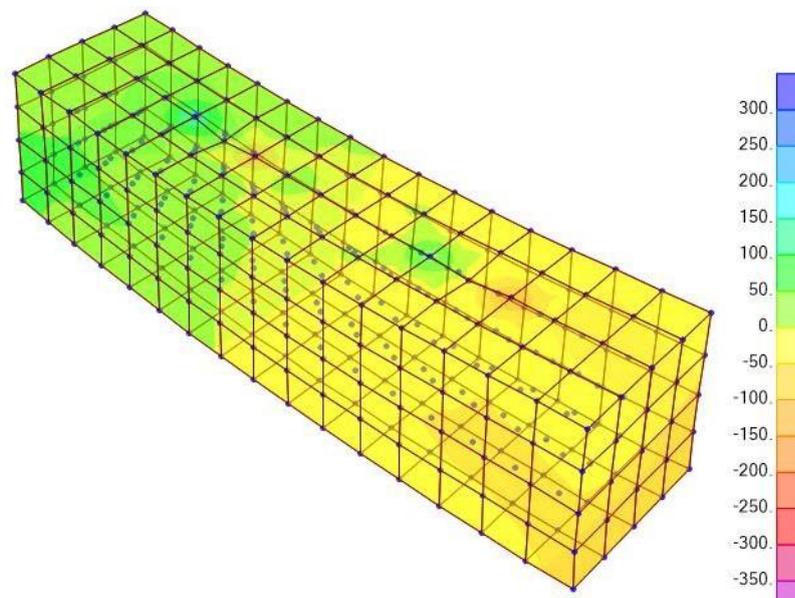
Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados del análisis estructural realizado se muestran a continuación. Como se puede observar, la distribución de esfuerzos dentro de la viga muestra que los mayores esfuerzos se presentan en la fibra inferior.



**Figura 12:** Distribución de esfuerzos S11 contenidos dentro de la viga.

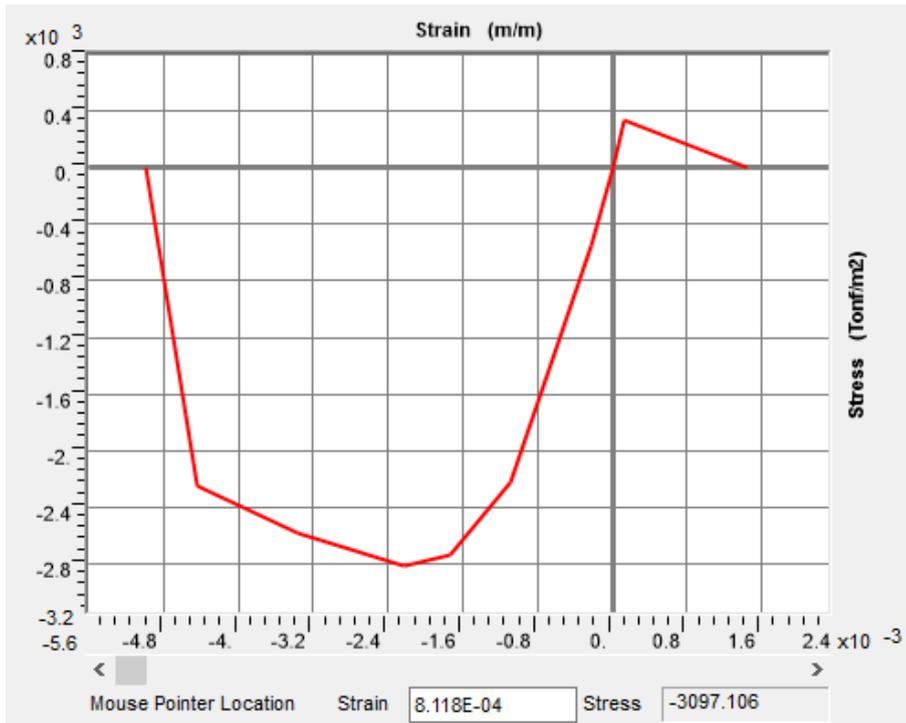
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 13:** Distribución de esfuerzos cortantes dentro de la viga.

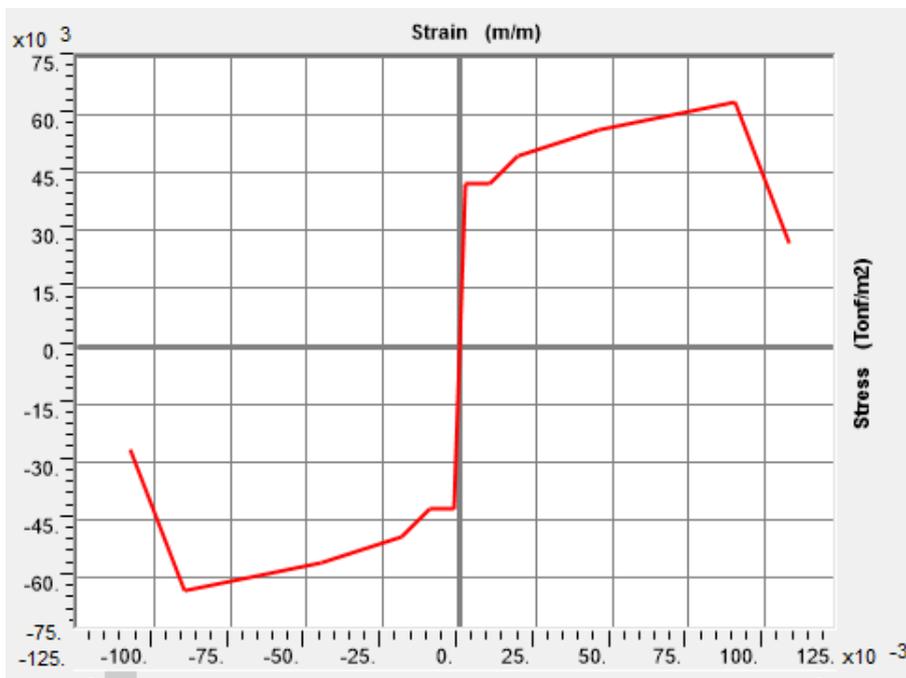
Fuente: Elaboración Propia.

A continuación se muestran las curvas esfuerzo deformación de los materiales considerados en la modelación.



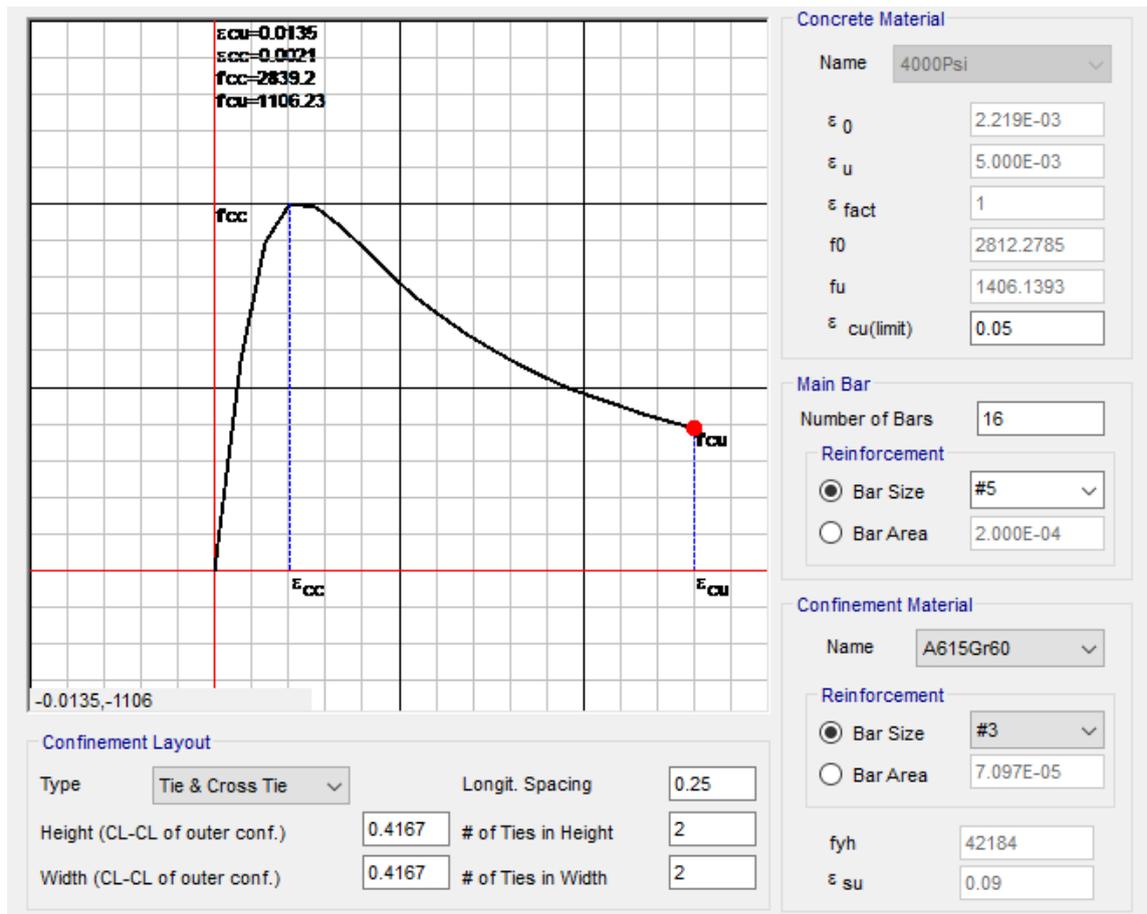
**Figura 14:** Diagrama esfuerzo deformación de concreto.

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 15:** Diagrama esfuerzo deformación de las varillas longitudinales.

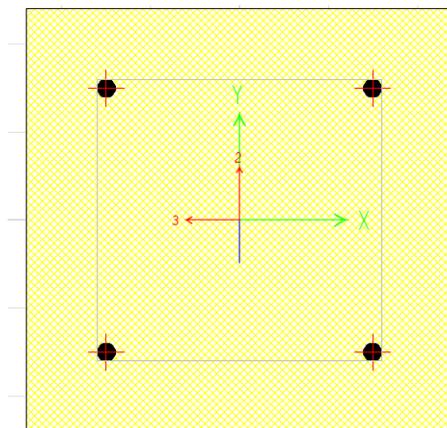
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 16:** Diagrama esfuerzo deformación del concreto confinado.

Fuente: Elaboración Propia.

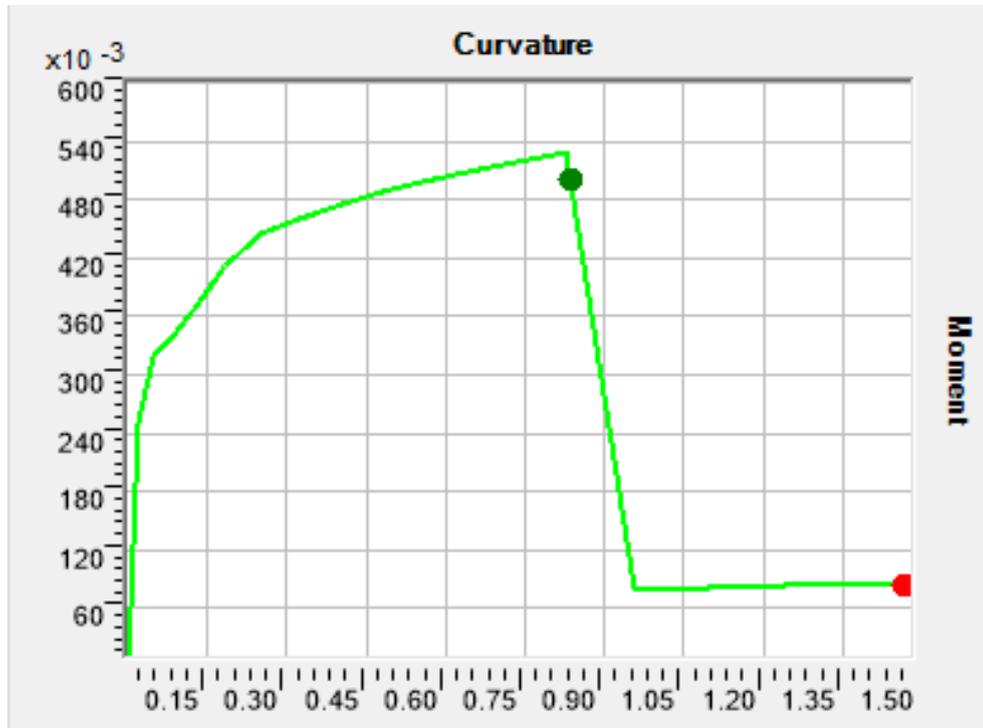
Ahora se muestra la sección transversal de la viga analizada. Conviene recordar que la sección transversal de esta es de 15cmx15cm y reforzadas con varillas de acero convencional de 6mm.



**Figura 17:** Sección transversal y refuerzo longitudinal de 6mm de diámetro.

Fuente: Elaboración Propia.

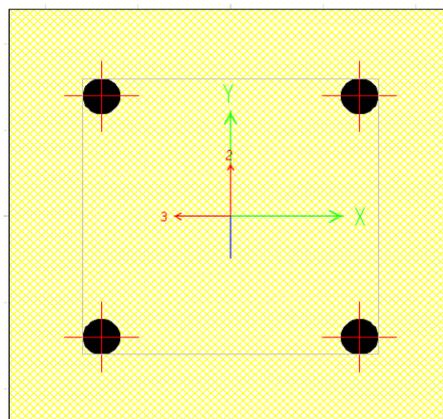
El resultado del análisis nos muestran los diagramas momento curvatura de las vigas analizadas. Como se puede observar del grafico siguiente, la viga analizada tuvo un momento máximo de 0.54 t, con una curvatura de 0.90.



**Figura 18:** Diagrama momento curvatura de la sección de 15cmx15cm reforzada con varillas de 6mm.

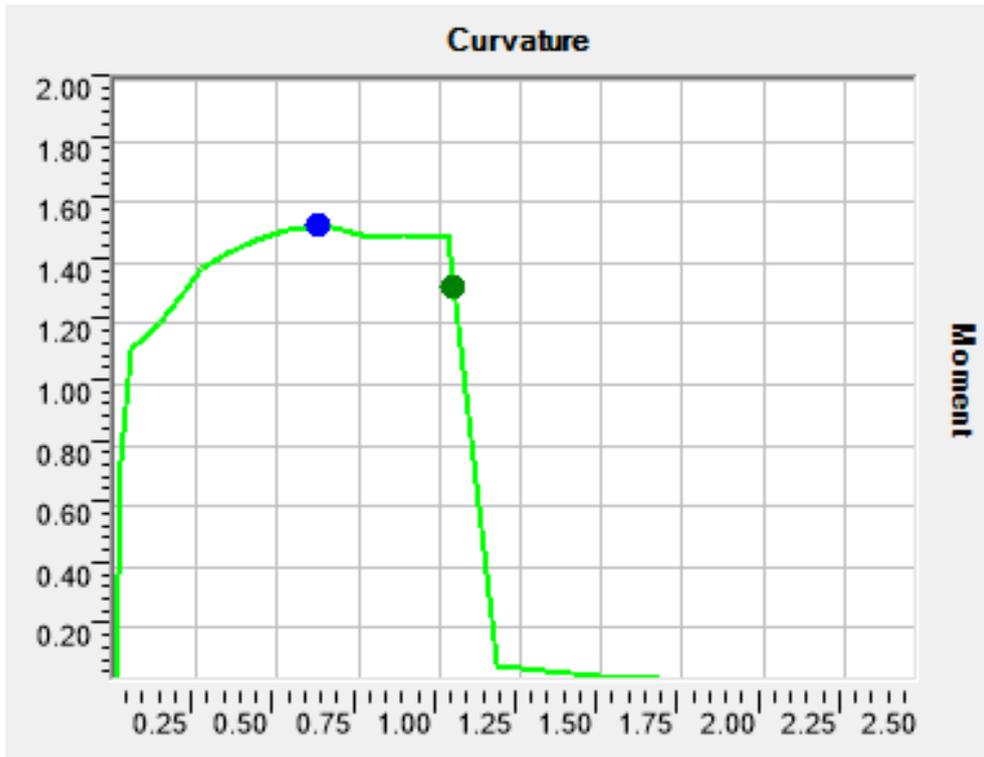
Fuente: Elaboración Propia.

Ahora se muestra la sección transversal de la viga de 15cmx 15cm con refuerzo de acero convencional de 12mm diámetro.



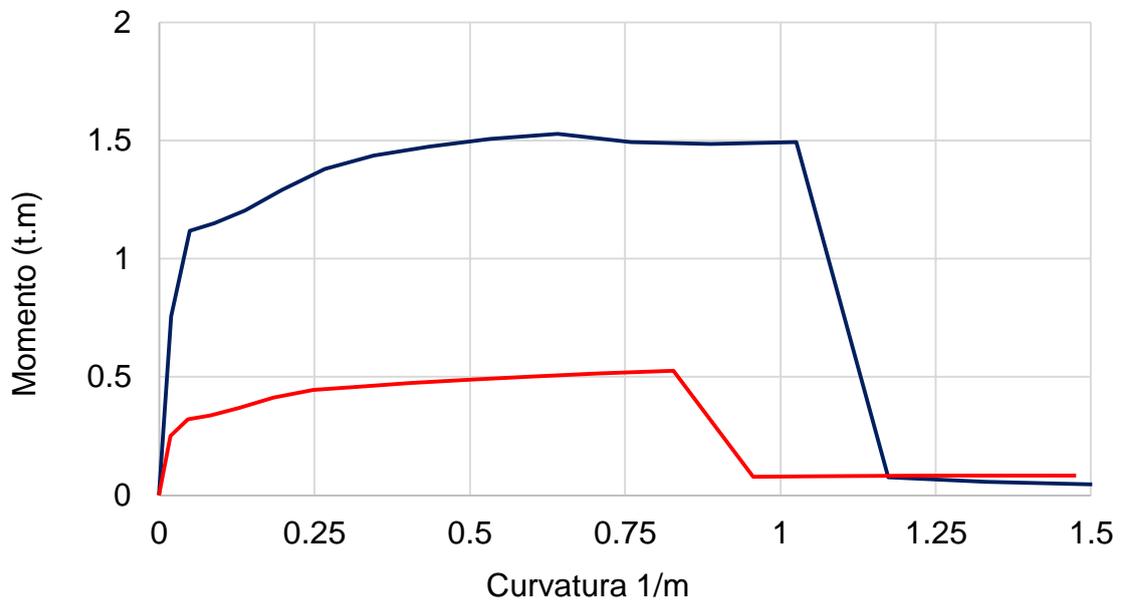
**Figura 19:** Sección transversal de viga de 15x15 reforzada con varillas de 12mm.

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 20:** Diagrama momento curvatura de la sección transversal reforzada con varillas de 12mm.

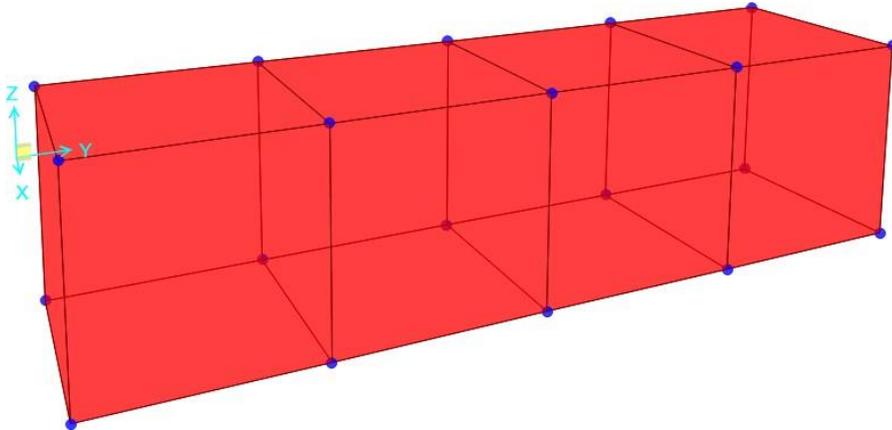
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 21:** Comparación del comportamiento de las vigas reforzadas con varillas de 6mm y 12mm.

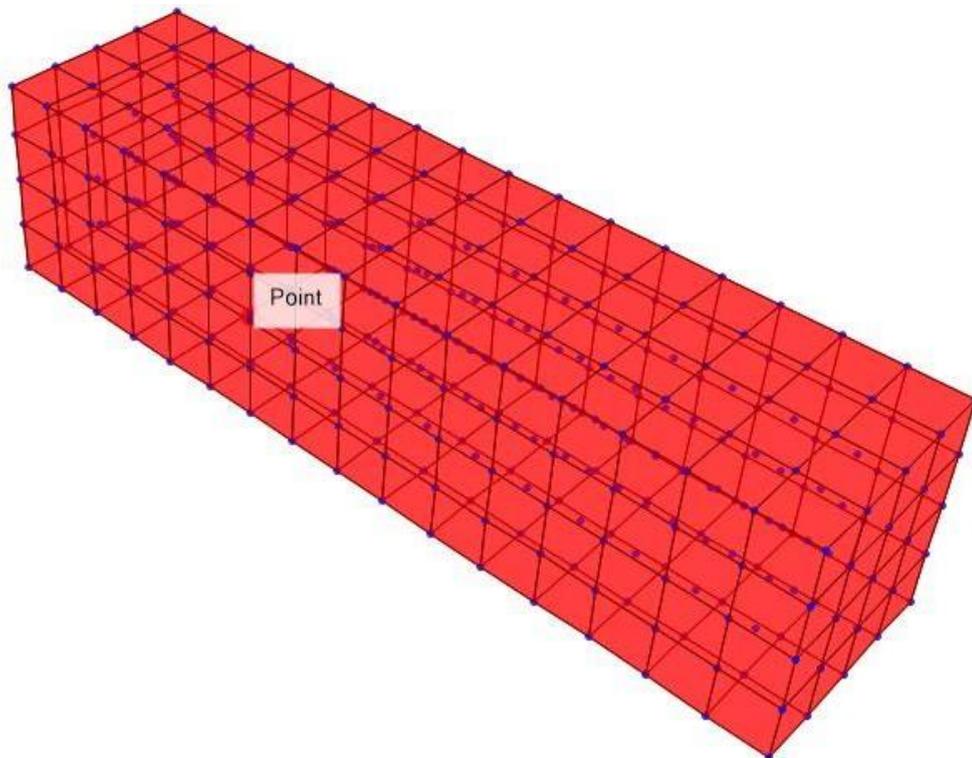
Fuente: Elaboración Propia.

## Viga con refuerzo de varillas de vidrio



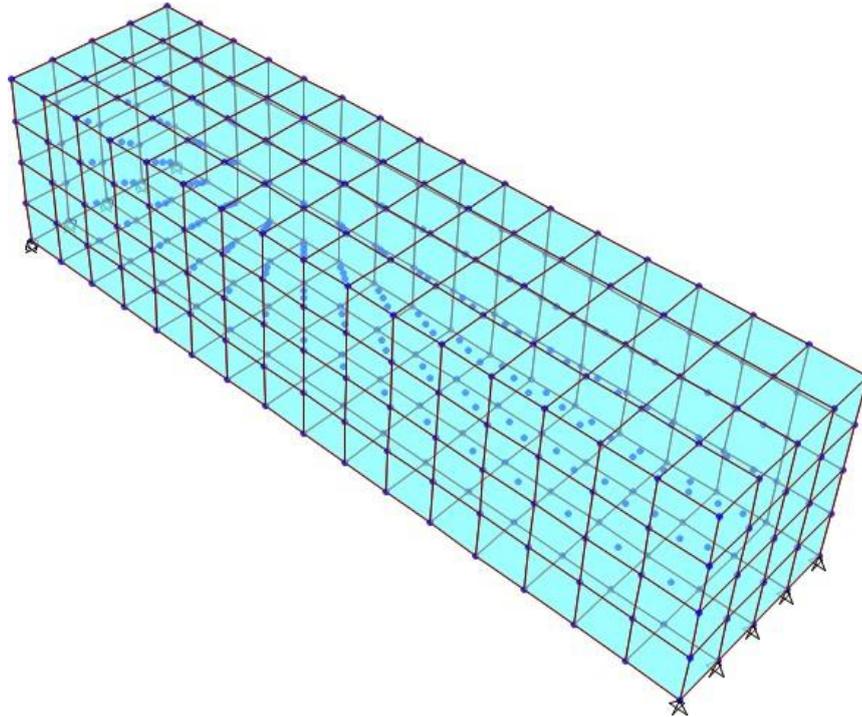
**Figura 22:** Modelo tridimensional con elementos finitos para vigas reforzadas con varillas de fibras de vidrio.

Fuente: Elaboración Propia.



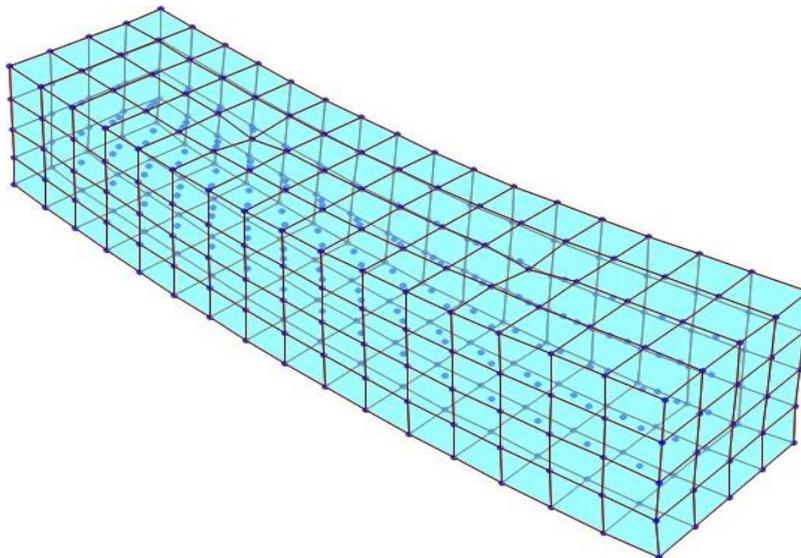
**Figura 23:** Discretización del modelo de elementos finitos de la viga de concreto reforzada con varillas de fibras de vidrio.

Fuente: Elaboración Propia.



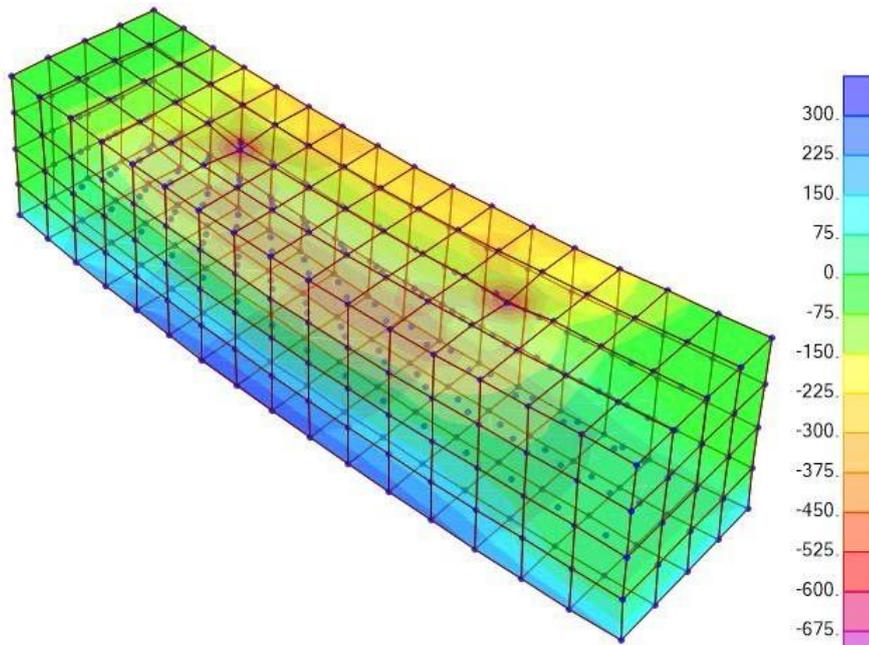
**Figura 24:** Condiciones de borde considerados en el modelamiento.

Fuente: Elaboración Propia.



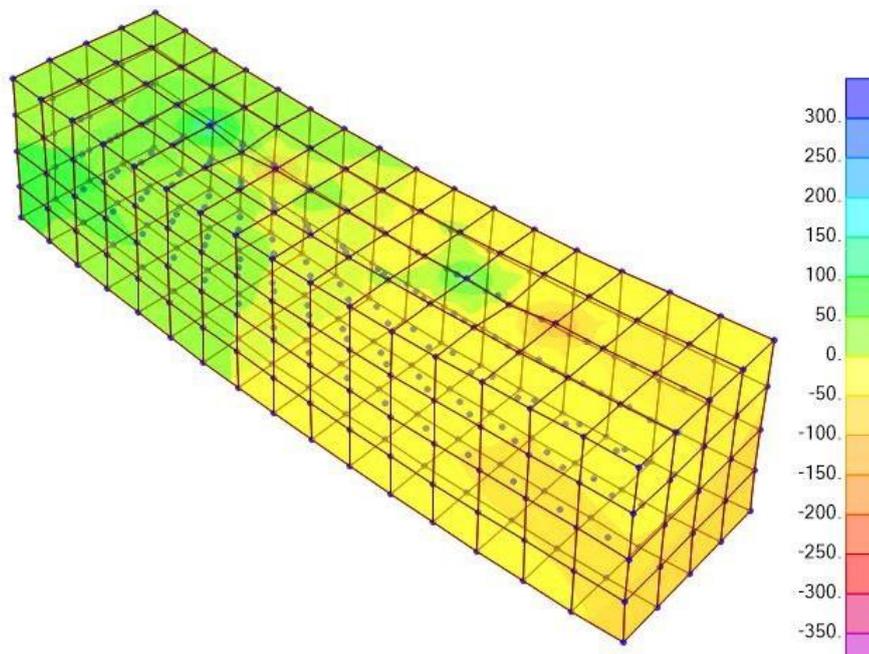
**Figura 25:** Deformada debido a la aplicación de las cargas gravitacionales.

Fuente: Elaboración Propia.



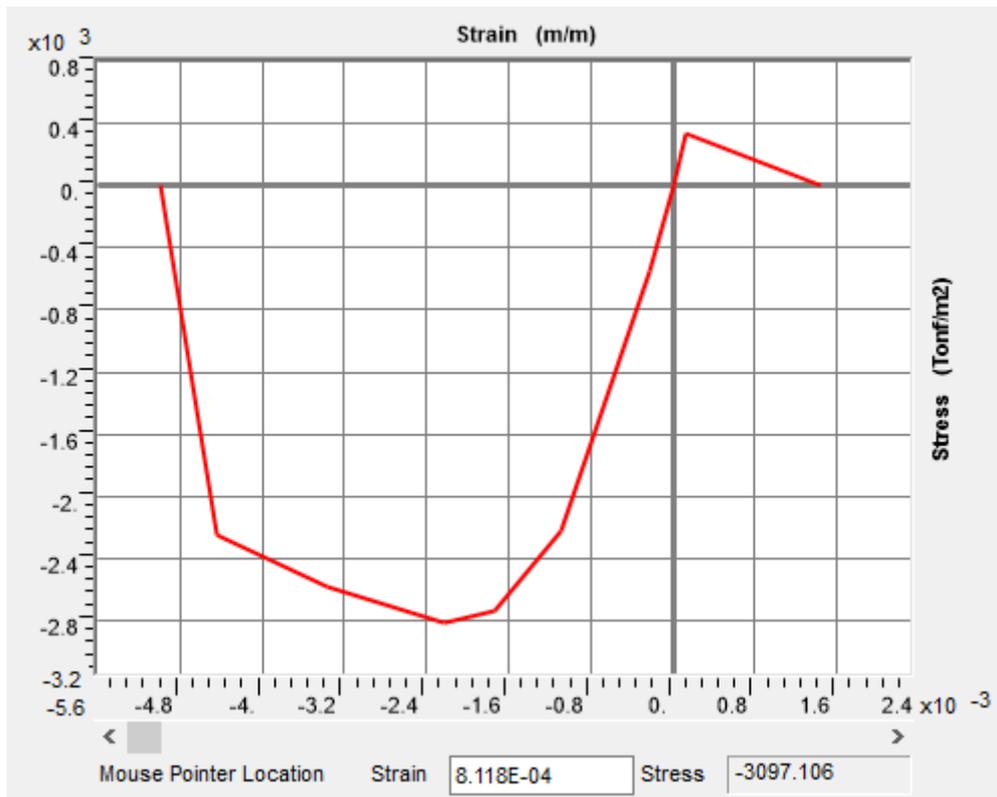
**Figura 26:** Distribución de esfuerzos S11 contenidos dentro de la viga.

Fuente: Elaboración Propia.



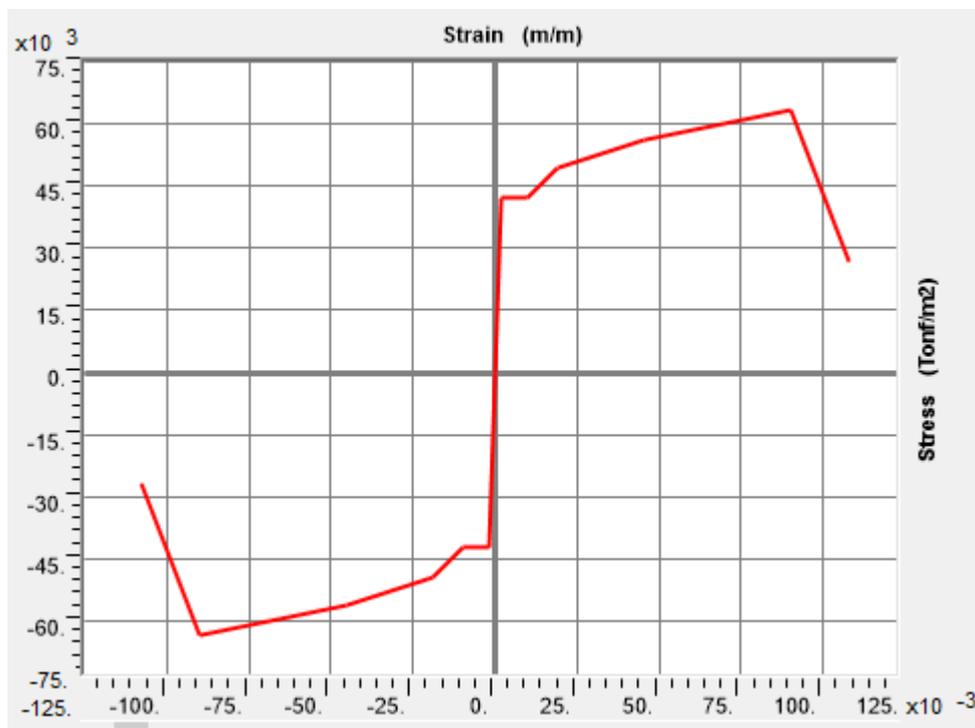
**Figura 27:** Distribución de esfuerzos cortantes dentro de la viga.

Fuente: Elaboración Propia.



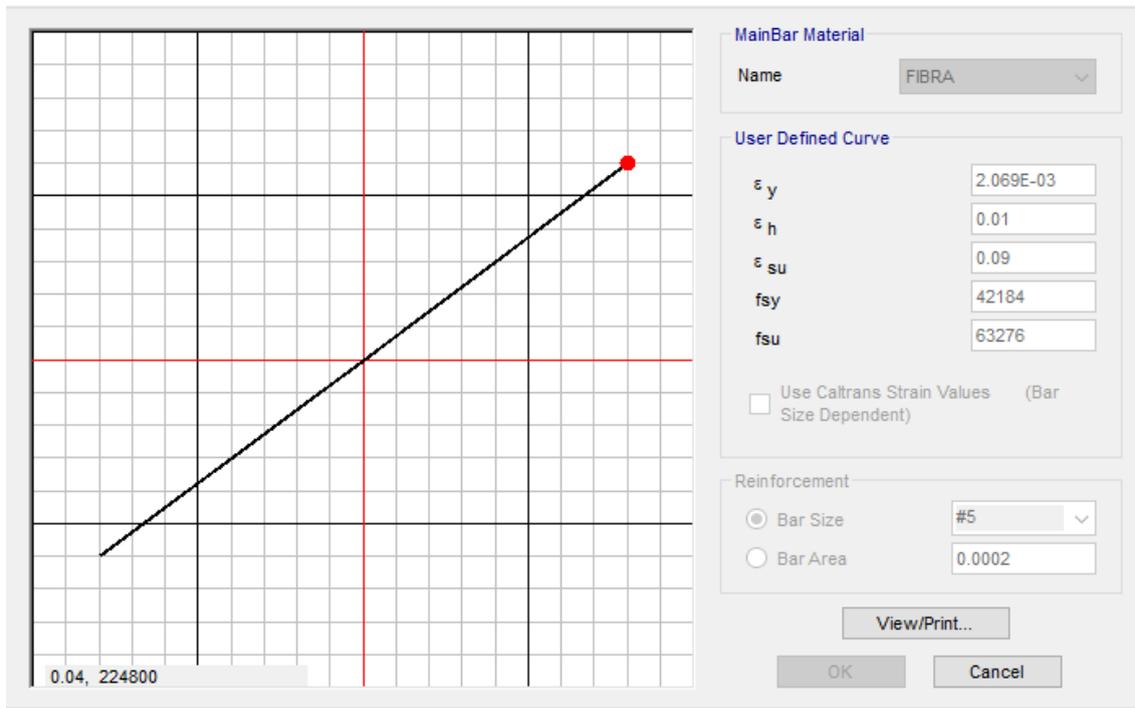
**Figura 28:** Diagrama esfuerzo deformación de concreto.

Fuente: Elaboración Propia.



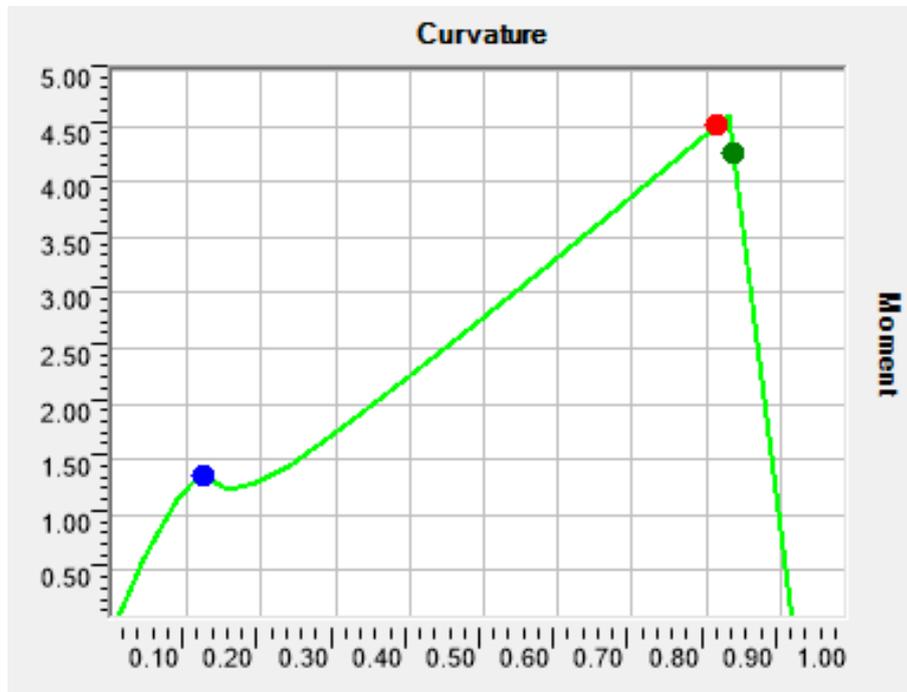
**Figura 29:** Diagrama esfuerzo deformación de las varillas longitudinales.

Fuente: Elaboración Propia.



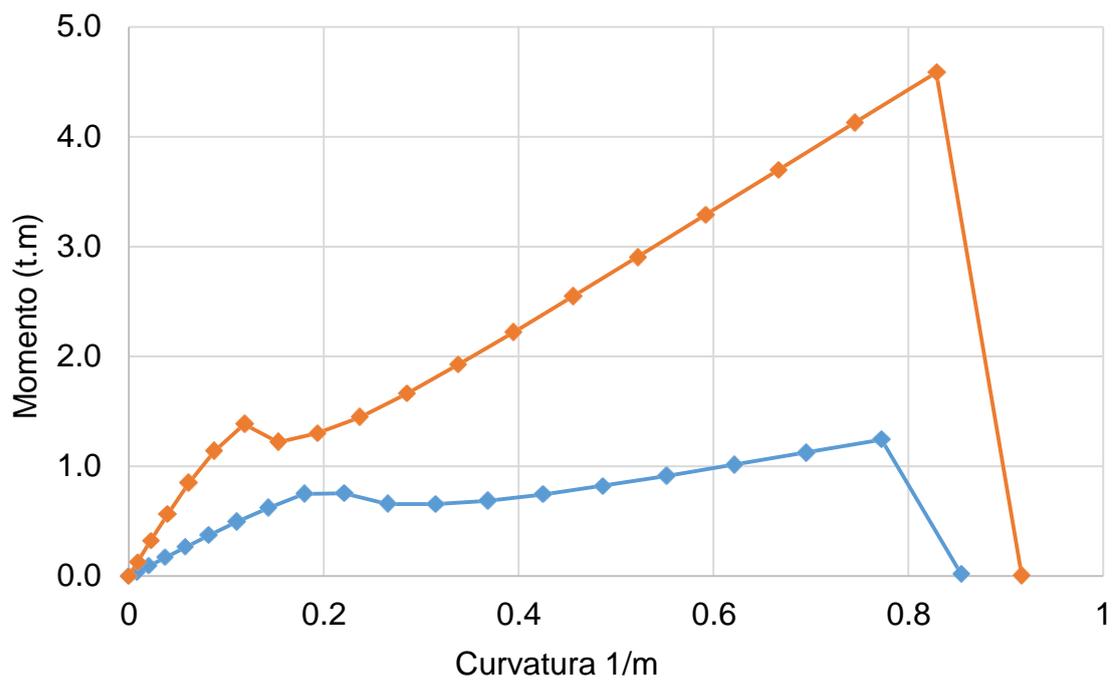
**Figura 30:** Diagrama esfuerzo deformación de las varillas de fibras de vidrio.

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 31:** Diagrama momento curvatura de la sección reforzada con varillas de fibras de vidrio.

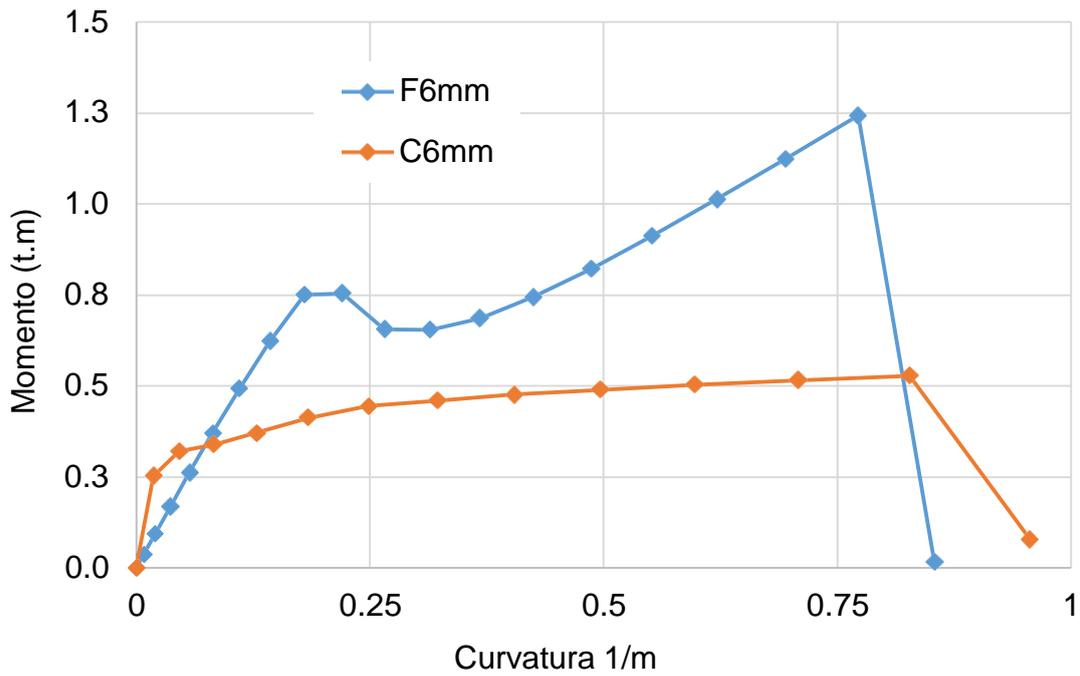
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 32:** Comparativa de las vigas reforzadas con varillas de fibras de vidrio de 6mm y 12mm.

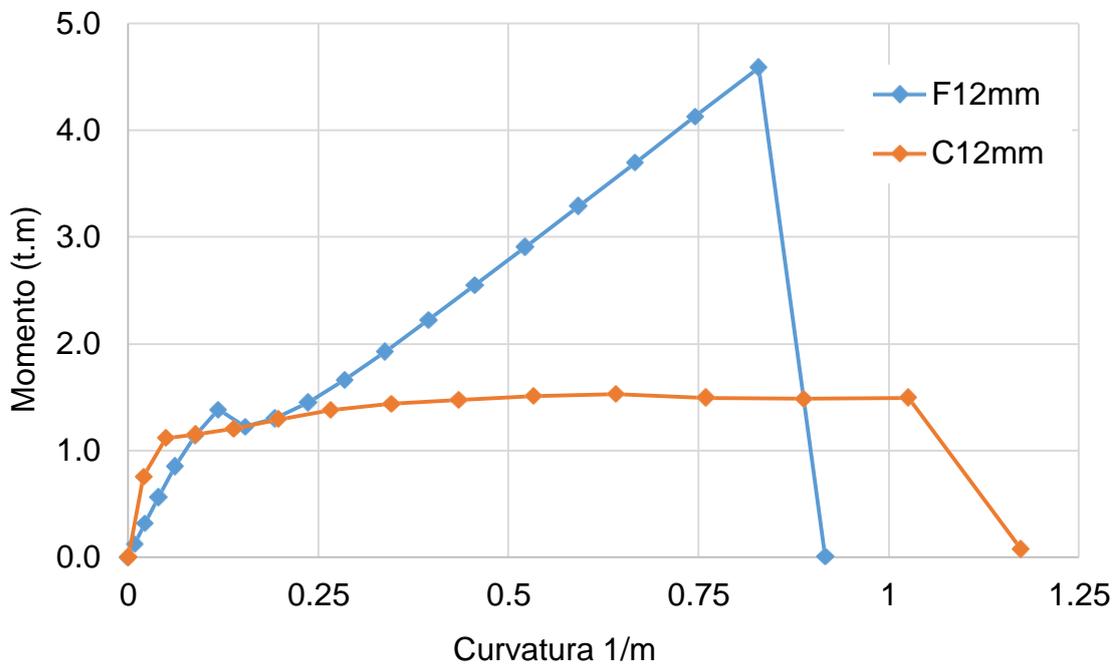
Fuente: Elaboración Propia.

### ANALISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS



**Figura 33:** Vigas de concreto armado reforzadas con varillas de 6mm de acero convencional y fibras de vidrio.

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 34:** Vigas de concreto armado reforzadas con varillas de 12mm de acero convencional y fibras de vidrio.

Fuente: Elaboración Propia.

### **Análisis de viga típica de concreto armado con acero convencional**

En esta sección se presentan los resultados del análisis y diseño de una viga típica en una edificación de concreto armado. Se eligió estudiar el comportamiento mecánico de una viga de 5m de luz y ancho tributario de 5m, para el caso de un edificio multifamiliar. Es importante tener en cuenta que las sobrecargas para el caso de viviendas son de 200 kg/m<sup>2</sup>, de acuerdo con el reglamento de cargas.

**Tabla 3:** Metrado de cargas muertas actuantes en la viga analizada, así como las cargas actuantes en el modelo de elementos finitos.

Elemento	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Ancho tributario (m)	Carga por metro lineal (kg/m)	Carga por metro cuadrado (kg/m <sup>2</sup> )
Losa	300	5	1500	6000
Acabados	200	5	1000	4000
Total	500	5	2500	10000

Fuente. Elaboración propia

**Tabla 4:** Metrado de cargas vivas actuantes en la viga analizada, así como las cargas actuantes en el modelo de elementos finitos.

Elemento	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Ancho tributario (m)	Carga por metro lineal (kg/m)	Carga por metro cuadrado (kg/m <sup>2</sup> )
Sobrecargas	200	5	1000	4000
Total	200	5	1000	4000

Fuente. Elaboración propia

El principal objetivo de este trabajo de investigación es establecer las diferencias existentes en el comportamiento mecánico de vigas de concreto reforzadas con varillas de acero convencional y varillas de fibras de vidrio, por tal motivo bastara estudiar el comportamiento mecánico de una viga simplemente apoyada.

En este sentido se estudiarán dos vigas de concreto armado, una reforzada con varillas de acero convencional, y otra reforzada con varillas de fibras de vidrio.

En este acápite se muestra el análisis y diseño estructural de tal viga, misma que posteriormente se estudiara mediante un modelado con elementos finitos, usando elementos hexaédricos con modos incompatibles.

Máximos momentos flectores en la viga

El máximo momento flector en una viga simplemente apoyada y sometida a la acción de las cargas gravitacionales uniformemente repartidas es igual a la siguiente expresión.

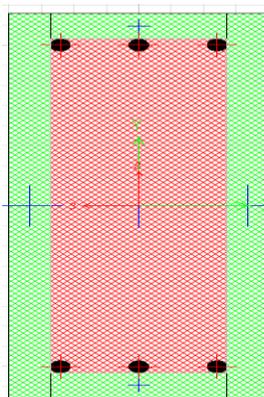
$$M_D = \frac{1}{8} w_d L^2 = \frac{1}{8} 2500 * 25 = 7812.5 \text{ kg.m} = 7.81 \text{ t.m}$$

$$M_L = \frac{1}{8} w_L L^2 = \frac{1}{8} 1000 * 25 = 3125 \text{ kg.m} = 3.125 \text{ t.m}$$

$$M_L = 1.4M_L + 1.7M_L = 16 \text{ t.m}$$

La cuantía de acero requerida para tolerar estas cargas se obtiene por el método de resistencia. A continuación, se presenta el diseño realizado para este caso.

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis, se puede observar que la demanda de acero está en el orden de 7.62cm<sup>2</sup>. Esta cuantía de acero deberá ser provista por un conjunto de varillas de acero, elegidas de tal forma que el área de tales secciones transversales sea, por lo menos, el área indicada del cálculo. Para este caso específico se ha elegido usar varillas de 3/4" de diámetro, por lo que se requieren al menos, tres varillas de estas. A continuación, se presenta el armado elegido.



## Diseño de vigas sísmicas

Geometría y materiales

$$b := 25 \cdot \text{cm}$$

$$h := 60 \cdot \text{cm}$$

$$r := 6 \cdot \text{cm}$$

$$f_{co} := 210 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f_y := 4200 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Cuantía y area de acero mínima

$$\rho_{min} := \frac{0.70 \cdot \sqrt{f_{co} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}}{f_y} = 0.002$$

$$A_{smin} := \rho_{min} \cdot b \cdot h = 3.62 \text{ cm}^2$$

Cuantía de acero balanceada y máxima

$$\beta := 0.85 \quad e_{cu} := 0.003 \quad E := 2.1 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad e_s := \frac{f_y}{E} = 0.002$$

$$\rho_b := 0.85 \cdot \beta \cdot \frac{f_{co}}{f_y} \cdot \left( \frac{e_{cu}}{e_{cu} + e_s} \right) = 0.0217$$

$$A_{smax} := 0.5 \cdot \rho_b \cdot b \cdot (h - r) = 14.6 \text{ cm}^2$$

Calculo del acero requerido

Factor de reducción

$$\phi := 0.9$$

Momento ultimo

$$M_u := 16 \cdot \text{tonf} \cdot \text{m}$$

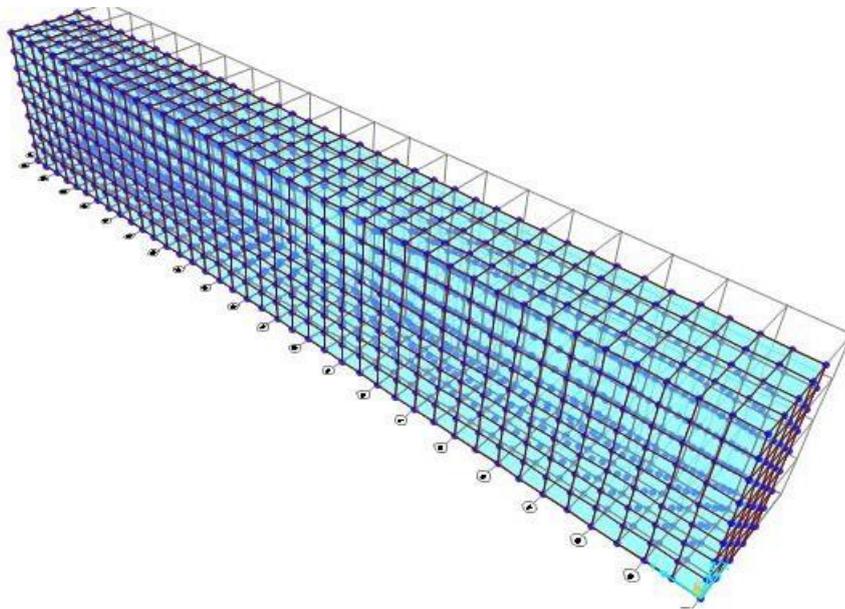
$$w := 1.7 \cdot \frac{f_{co}}{f_y} \cdot b \cdot (h - r) = 114.75 \text{ cm}^2$$

$$A_s := 0.5 \cdot w \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot M_u}{\phi \cdot f_y \cdot w \cdot (h - r)}} \right) = 7.62 \text{ cm}^2$$

## Modelado de la viga peraltada

Una vez definidas las dimensiones de la viga, los materiales involucrados y las cuantías de acero, se procede al estudio del comportamiento mecánico de las vigas de concreto. Para esto se hará uso del modelamiento numérico de tales elementos. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del modelamiento numérico.

El primer paso consiste en definir la geometría de la viga de interés, esto es, definir las dimensiones del elemento, materiales, y cuantías. El resultado de tal proceso se muestra a continuación.

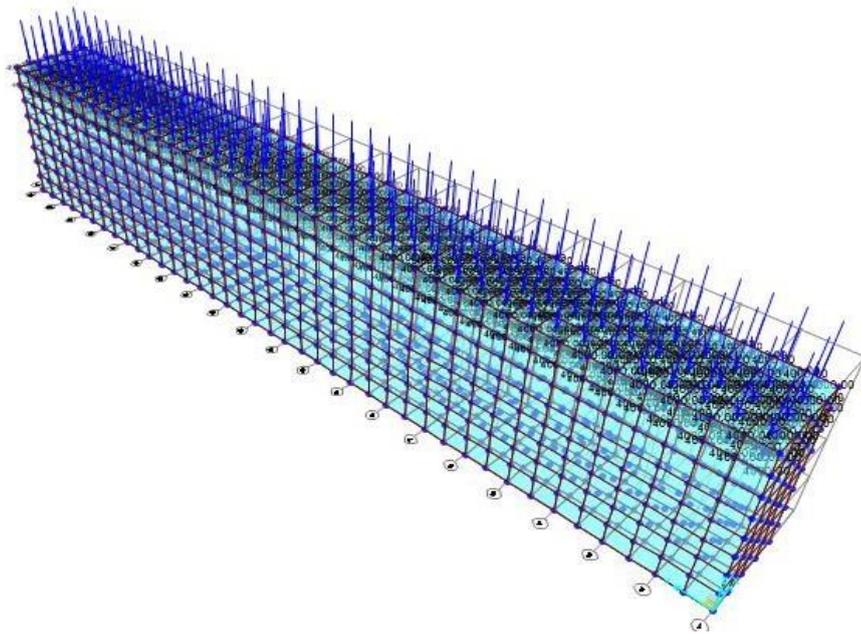


**Figura 35:** Diagrama momento curvatura de la viga analizada reforzada con varillas de acero.

Fuente: Elaboración propia.

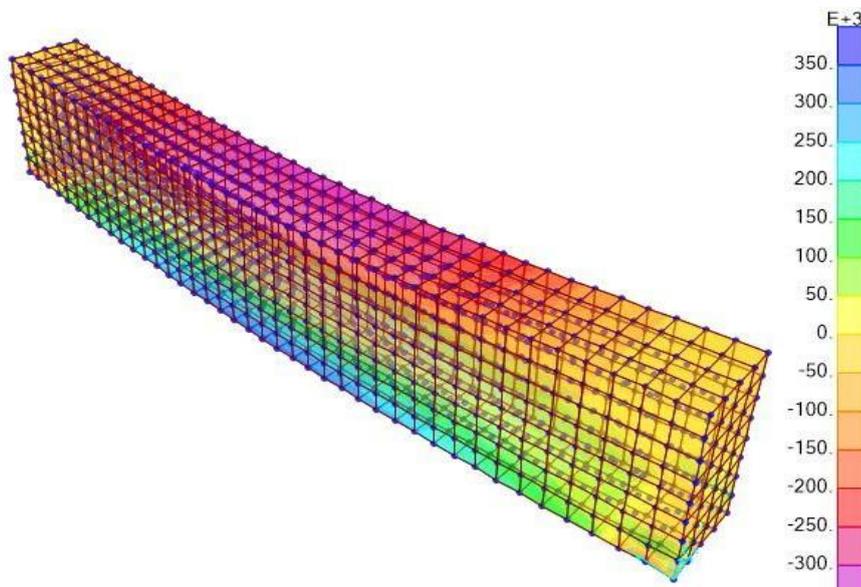
Como se puede observar de la figura anterior, se ha discretizado el elemento viga modelado. Para esto se han usado elementos finitos paralelepípedicos, con una formulación basada en modos incompatibles, tal como recomienda Wilson (2005). Es importante notar, además, que se ha presentado y usado un mallado de elementos finitos considerablemente refinada. Esto se ha hecho así con la finalidad de poder obtener mayor precisión y detalle en el modelado. Una vez definidos los parámetros anteriores, se debe definir las cargas gravitacionales actuantes sobre

el elemento. Estas se han aplicado a modo de cargas distribuidas por unidad de área, tal como muestra el grafico siguiente.



**Figura 36:** Diagrama momento curvatura de la viga analizada reforzada con varillas de acero.

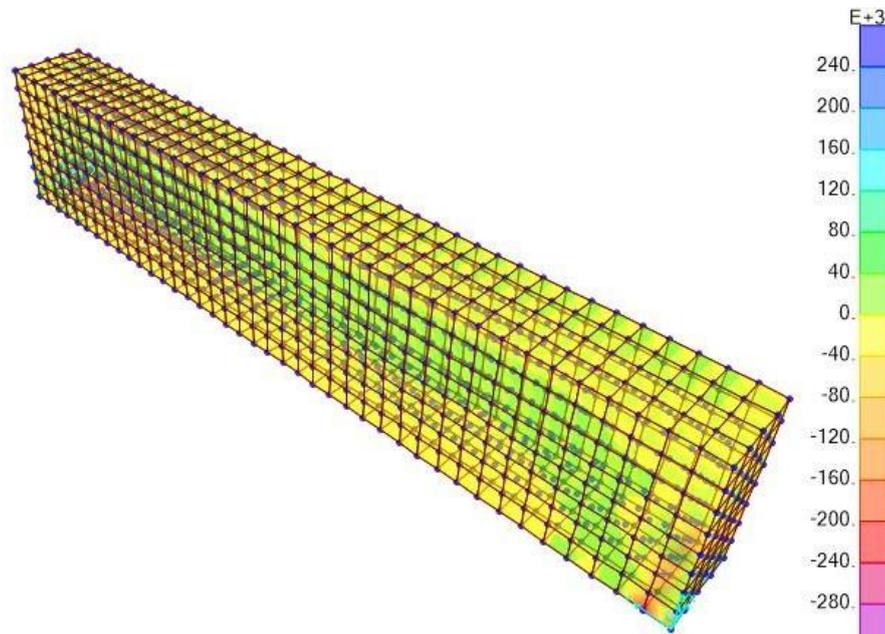
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 37:** Diagrama momento curvatura de la viga analizada reforzada con varillas de acero.

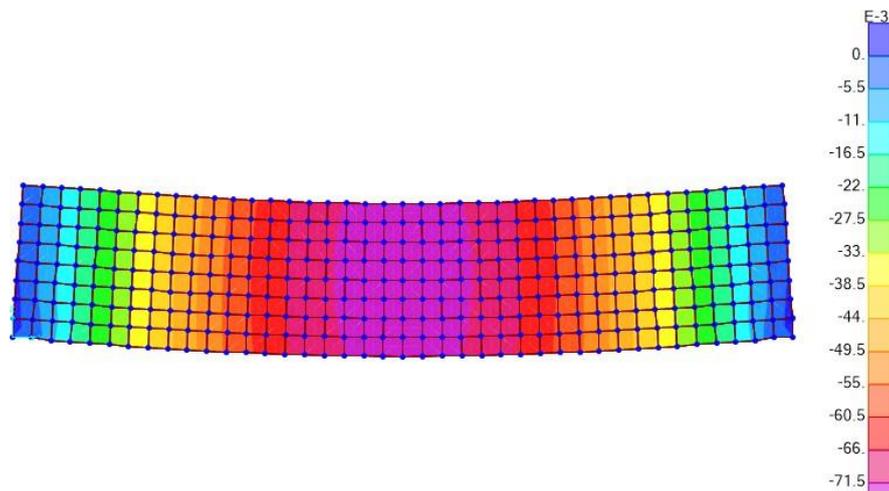
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis estructural se muestran en las siguientes figuras. Como se aprecia en la **Figura 39**, las máximas deflexiones obtenidas estuvieron en el orden de 7cm.



**Figura 38:** Diagrama momento curvatura de la viga analizada reforzada con varillas de acero.

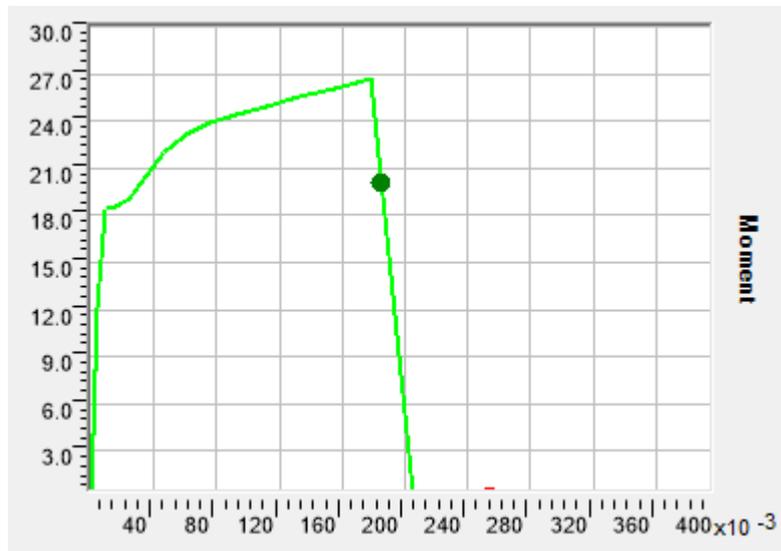
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 39:** Diagrama momento curvatura de la viga analizada reforzada con varillas de acero.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los máximos esfuerzos longitudinales encontrados, se puede apreciar que el máximo valor encontrado fue de 350 t/m<sup>2</sup>, en las fibras inferiores, mientras que el máximo esfuerzo de corte encontrado fue de 80 t/m<sup>2</sup>.



**Figura 40:** Diagrama momento curvatura de la viga analizada reforzada con varillas de acero.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la **Figura** se aprecia el diagrama momento curvatura de la sección analizada. Como se puede observar de este gráfico, el máximo momento flector que la viga es capaz de realizar alcanza un valor de 27 t.m. Este es un resultado notable, pues la viga se diseñó para resistir un momento flector último de 16 t.m, lo que nos da una sobre-resistencia de 1.69.

## **Análisis de viga típica de concreto armado con refuerzo de fibras de vidrio**

En esta sección se presentan los resultados del análisis y diseño de una viga típica en una edificación de concreto armado. Se eligió estudiar el comportamiento mecánico de una viga de 5m de luz y ancho tributario de 5m, para el caso de un edificio multifamiliar. Es importante tener en cuenta que las sobrecargas para el caso de viviendas son de 200 kg/m<sup>2</sup>, de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Sin embargo, a diferencia del caso anterior, el refuerzo usado en esta sección será fibra de vidrio.

Aunque el metrado de cargas es el mismo en el caso de las vigas reforzadas con varillas de acero y fibras de vidrio se presentan los mismos resultados de manera independiente.

**Tabla 5:** Metrado de cargas muertas actuantes en la viga analizada, así como las cargas actuantes en el modelo de elementos finitos.

Elemento	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Ancho tributario (m)	Carga por metro lineal (kg/m)	Carga por metro cuadrado (kg/m <sup>2</sup> )
Losa	300	5	1500	6000
Acabados	200	5	1000	4000
Total	500	5	2500	10000

**Tabla 6:** Metrado de cargas vivas actuantes en la viga analizada, así como las cargas actuantes en el modelo de elementos finitos.

Elemento	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Ancho tributario (m)	Carga por metro lineal (kg/m)	Carga por metro cuadrado (kg/m <sup>2</sup> )
Sobrecargas	200	5	1000	4000
Total	200	5	1000	4000

Al igual que el caso anterior, el principal objetivo de este trabajo de investigación es establecer las diferencias existentes en el comportamiento mecánico de vigas de concreto reforzadas con varillas de acero convencional y varillas de fibras de vidrio, por tal motivo bastara estudiar el comportamiento mecánico de una viga simplemente apoyada.

En este acápite se muestra el análisis y diseño estructural de una viga reforzada con varillas de fibra de vidrio. Es importante entender que tanto la teoría de vigas de concreto reforzado con varillas de acero como las reforzadas con otras varillas son idénticas, pues ambas se establecen en el rango elástico lineal, aunque deberá resultar evidente que tanto el módulo elástico de las varillas como el limite de fluencia en el caso del acero deberán sustituirse adecuadamente por los valores que correspondan al caso de las varillas de fibras de vidrio.

Máximos momentos flectores en la viga

El máximo momento flector en una viga simplemente apoyada y sometida a la acción de las cargas gravitacionales uniformemente repartidas es igual a la siguiente expresión.

$$M_D = \frac{1}{8} w_d L^2 = \frac{1}{8} 2500 * 25 = 7812.5 \text{ kg.m} = 7.81 \text{ t.m}$$

$$M_L = \frac{1}{8} w_L L^2 = \frac{1}{8} 1000 * 25 = 3125 \text{ kg.m} = 3.125 \text{ t.m}$$

$$M_L = 1.4M_L + 1.7M_L = 16 \text{ t.m}$$

La cuantía de acero requerida para tolerar estas cargas se obtiene por el método de resistencia. A continuación, se presenta el diseño realizado para este caso.

## Diseño de vigas sísmicas

Geometría y materiales

$$b := 25 \cdot \text{cm}$$

$$h := 60 \cdot \text{cm}$$

$$r := 6 \cdot \text{cm}$$

$$f_{co} := 210 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f_y := 100000 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}^2} = (9.072 \cdot 10^3) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Cuantía y area de acero mínima

$$\rho_{min} := \frac{0.70 \cdot \sqrt{f_{co} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}}{f_y} = 0.001$$

$$A_{smin} := \rho_{min} \cdot b \cdot h = 1.68 \text{ cm}^2$$

Cuantía de acero balanceada y máxima

$$\beta := 0.85 \quad e_{cu} := 0.003 \quad E := 5.62 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}^2} \quad e_s := \frac{f_y}{E} = 0.018$$

$$\rho_b := 0.85 \cdot \beta \cdot \frac{f_{co}}{f_y} \cdot \left( \frac{e_{cu}}{e_{cu} + e_s} \right) = 0.0024$$

$$A_{smax} := 0.5 \cdot \rho_b \cdot b \cdot (h - r) = 1.6 \text{ cm}^2$$

Calculo del acero requerido

Factor de reducción

$$\phi := 0.9$$

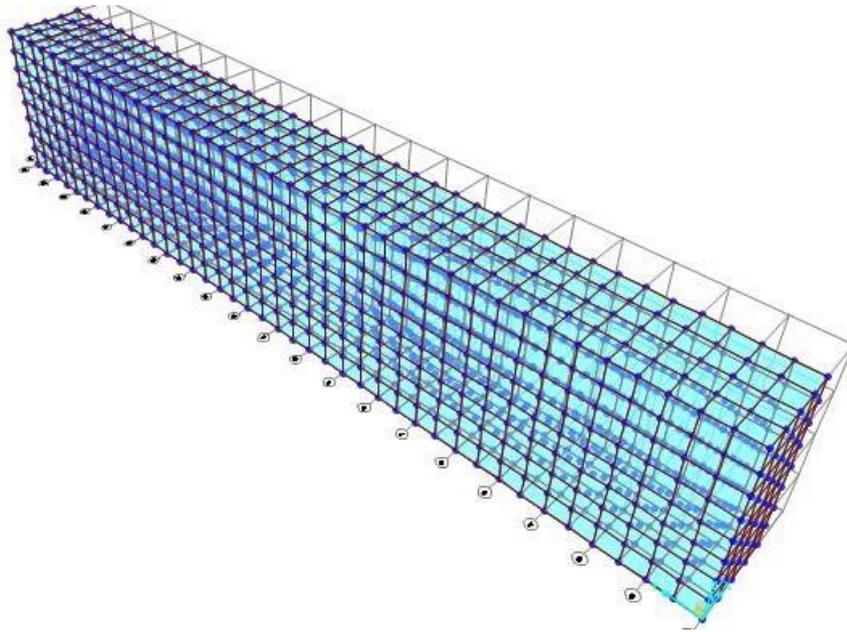
Momento ultimo

$$M_u := 16 \cdot \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$w := 1.7 \cdot \frac{f_{co}}{f_y} \cdot b \cdot (h - r) = 53.126 \text{ cm}^2$$

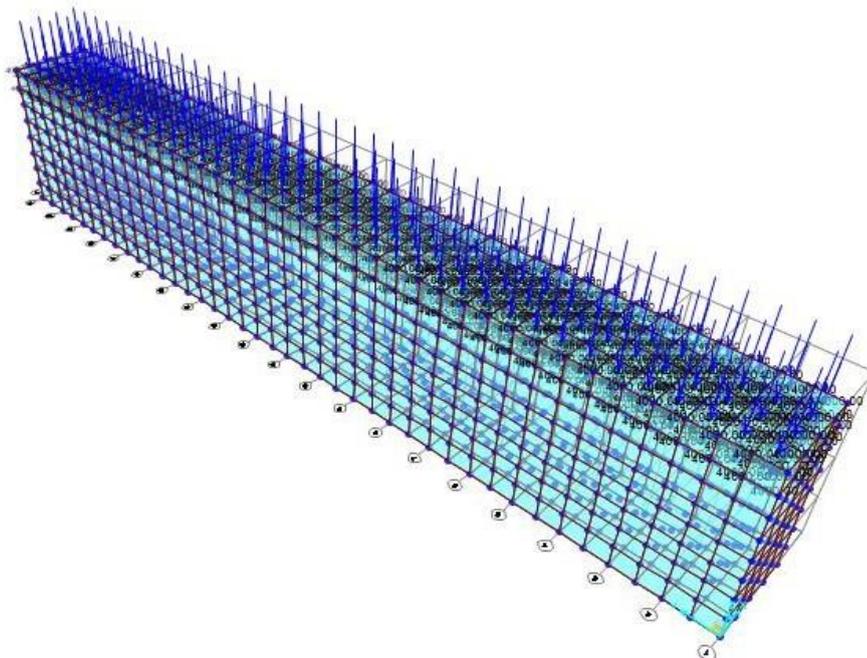
$$A_s := 0.5 \cdot w \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot M_u}{\phi \cdot f_y \cdot w \cdot (h - r)}} \right) = 3.53 \text{ cm}^2$$

## Modelado de la viga peraltada



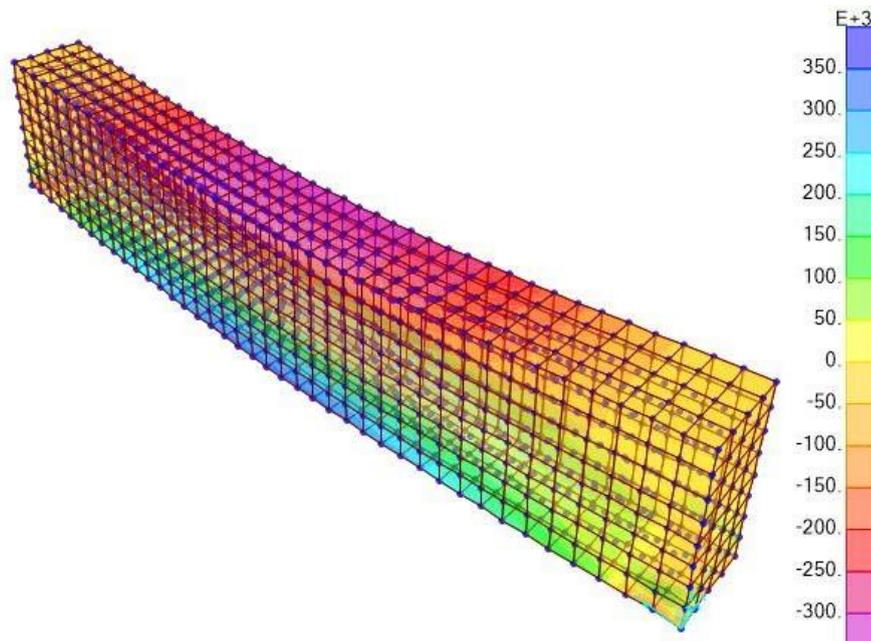
**Figura 41:** Modelo tridimensional de la viga de concreto reforzada con varillas de fibra de vidrio.

Fuente: Elaboración propia.



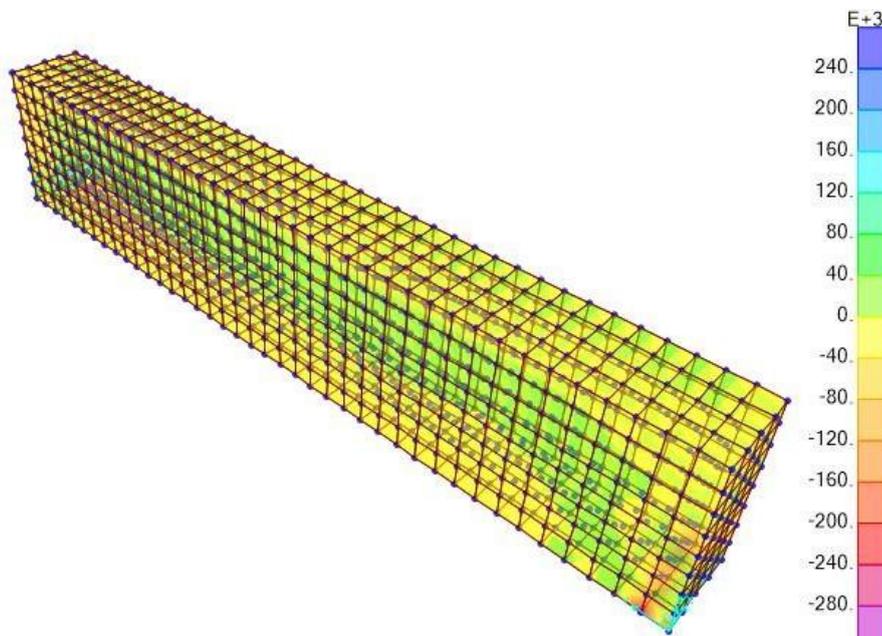
**Figura 42:** Cargas gravitacionales aplicadas sobre la viga analizada.

Fuente: Elaboración propia.



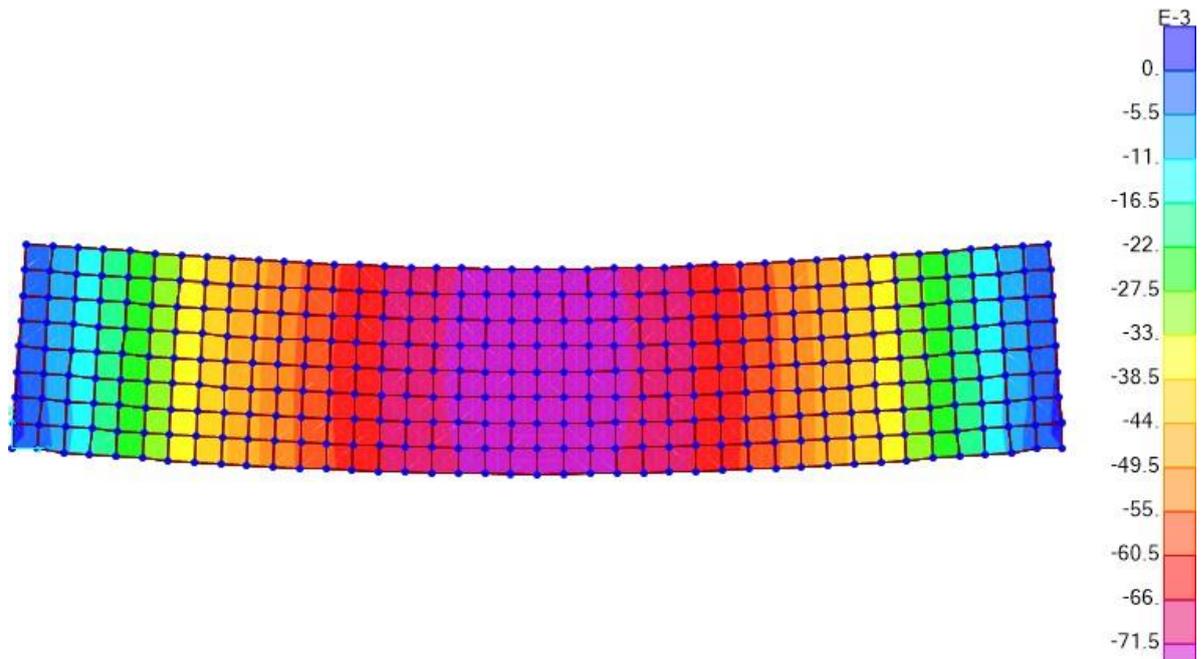
**Figura 43:** Distribución de esfuerzos longitudinales debidos a las cargas aplicadas.

Fuente: Elaboración propia.

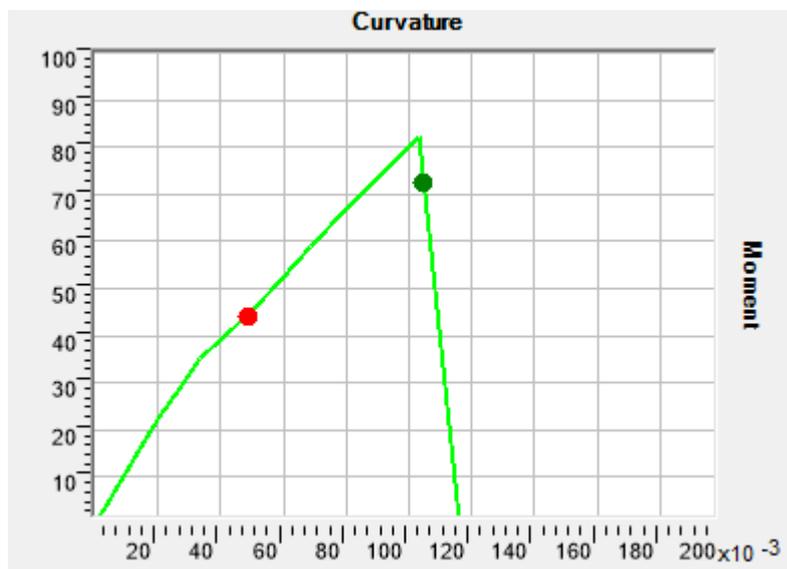


**Figura 44:** Distribución de esfuerzos de corte en vigas, debida a las cargas gravitacionales.

Fuente: Elaboración propia.

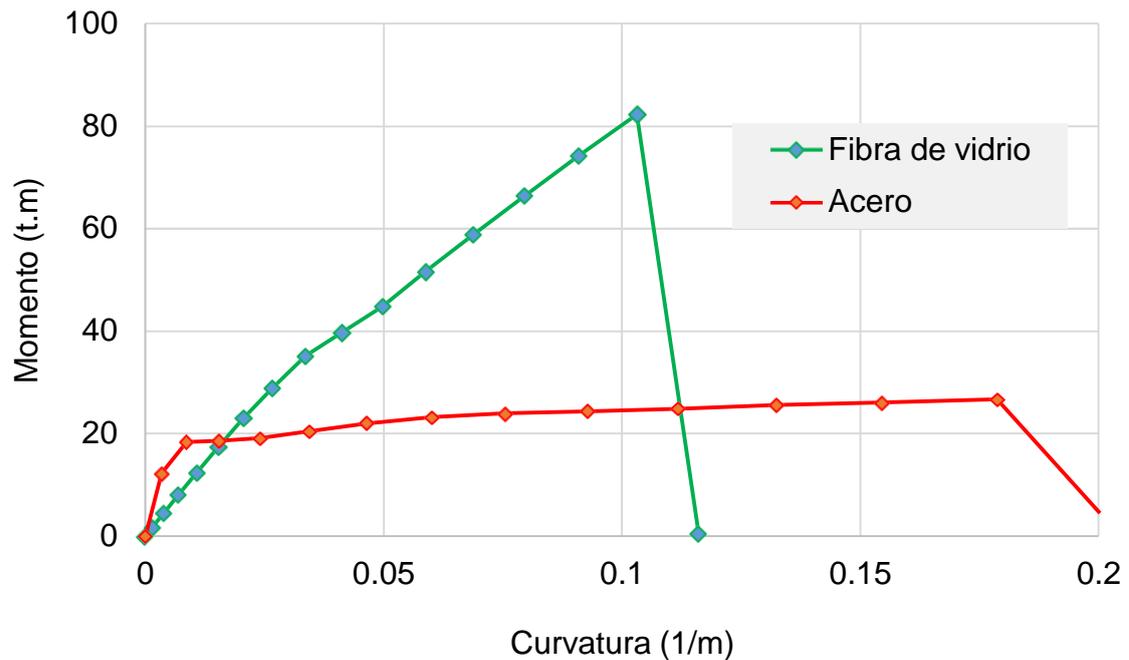


**Figura 45:** Máximas deflexiones debidas a la acción de cargas gravitacionales.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 46:** Diagrama momento curvatura de la viga analizada reforzada con varilla de acero.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 47:** Comparativa entre el diagrama momento curvatura de la sección reforzada con varillas de acero y fibras de vidrio.

Fuente: Elaboración propia.

### Evaluación de los costos

Uno de los parámetros más importantes a evaluar dentro de la ingeniería es la estimación de costos y su organización.

**Tabla 7:** Evaluación de costos de vigas reforzadas con varillas de acero Fuente:

Elemento	B(m)	H(m)	L(m)	V(m <sup>3</sup> )	Cu (S./m <sup>3</sup> )	C.T.
Concreto	0.15	0.15	0.6	0.0135	360	5
Varillas de acero	1				15	15
Total						20

Elaboración propia.

En las tablas anteriores se muestran los costos asociados a los materiales involucrados a las vigas de secciones transversales de 0.15mx0.15m, tanto para el

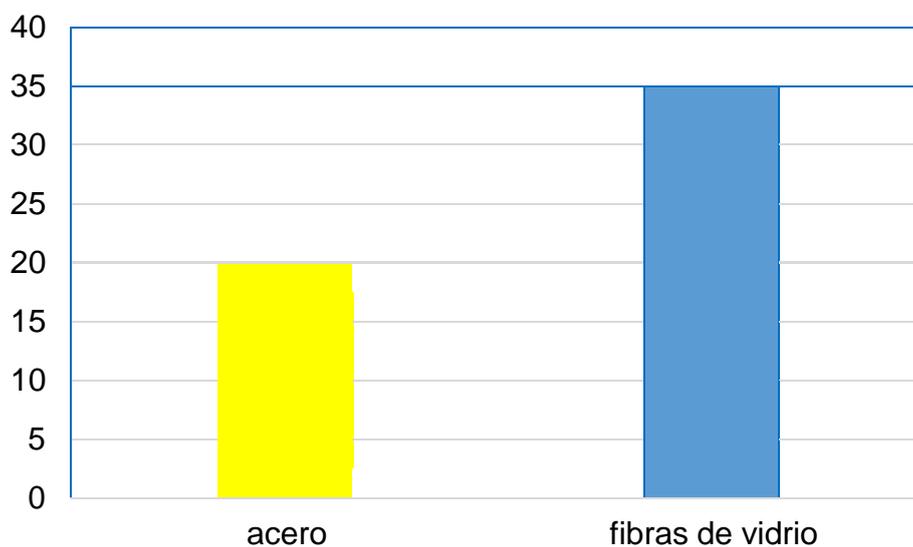
caso de la viga reforzada con varillas de acero como las varillas reforzada con varilla de fibras de vidrio.

Los costos encontrados, muestran que el costo de las vigas reforzadas con varilla de acero fue de s/20, mientras que el costo de las vigas reforzadas con varillas de fibras de vidrio fue de s/35. Esto muestra que el costo de la viga reforzada con varilla de acero es aproximadamente de 1.75 veces las varillas reforzadas con varilla de acero, demostrando que las varilla de fibras de vidrio son aun costosas.

**Tabla 8:** Evaluación de costos de viga reforzada con varilla de fibras de vidrio.

Elemento	B(m)	H(m)	L(m)	V(m3)	Cu (S./m3)	C.T.
Concreto	0.15	0.15	0.6	0.0135	360	5
Varillas de fibra	1				30	30
Total						35

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 48:** Diferencia de costos existentes entre viga de concreto reforzado con varilla de acero y fibras de vidrio.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9:** Evaluación de costos de vigas reforzadas con varillas de acero.

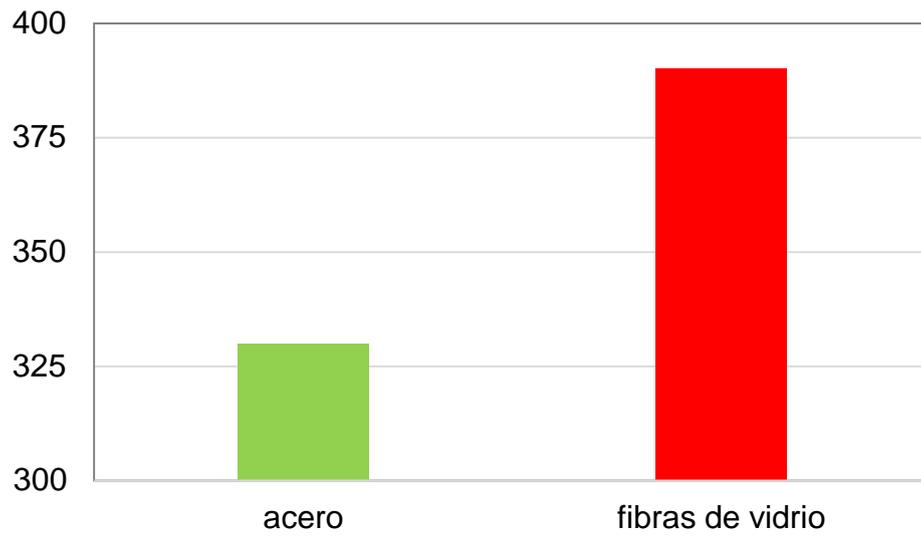
Elemento	B(m)	H(m)	L(m)	V(m3)	Cu (S./m3)	C.T.
Concreto	0.25	0.60	5	0.75	360	270
Varillas de acero	6		5	4	15	60
Total						330

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10:** Evaluación de costos de vigas reforzadas con varillas de fibras de vidrio.

Elemento	B(m)	H(m)	L(m)	V(m3)	Cu (S./m3)	C.T.
Concreto	0.25	0.60	5	0.75	360	270
Varillas de acero	6		5	4	30	120
Total						390

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 49:** Evaluación del costo asociado a la fabricación de viga de concreto reforzada con varilla de acero y varilla de fibras de vidrio

Fuente: Elaboración propia.

## V. DISCUSIÓN

### Objetivo específico 01

Determinar las diferencias significativas en el diseño a flexión de vigas de concreto entre las reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM grado 60.

### Análisis y discusión de los resultados

Los resultados encontrados muestran que existen diferencias fundamentales entre el comportamiento mecánico de la viga reforzada con varillas de acero con respecto de aquellas que son reforzadas usando varillas de fibras de vidrio. Por lo que existirán diferencias en el diseño estructural de viga reforzada con varilla de fibras de vidrio y varillas de acero estructural.

En principio se debe recordar que el diseño de vigas de concreto armado se hace por el método resistencia, es decir, se hace en el estado de falla. Sin embargo, se debe recordar que tanto el concreto como el acero ya han incursionado notablemente en el rango no lineal.

Conviene recordar que el acero estructural tiene un comportamiento idealizado elastoplástico, por lo que su límite es el esfuerzo de fluencia. En el caso de las varillas de fibras de vidrio ocurre algo diferente, pues como se sabe esta se comporta de manera elástica lineal durante todo su rango de operación, esto representa una diferencia sustancial con respecto del acero.

Es decir, a diferencia del acero, las varillas de fibra de vidrio no presentan una meseta de fluencia bien definida por lo que resulta complicado extrapolar las ecuaciones de resistencia del concreto armado a las vigas de concreto armado con fibras de vidrio. Es, por tanto, necesario evaluar y definir puntos notables de las varillas de fibra de vidrio comparables con el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último de las varillas de acero.

Es así que en el trabajo se ha considerado el límite de operación razonable de las varillas como el 50% de la capacidad máxima de las varillas de fibras de vidrio, misma que resulto ser de 225000 t/m<sup>2</sup>. En efecto, el esfuerzo de fluencia usado en

este trabajo de investigación para el análisis y diseño se ha considerado como 10000 t/m<sup>2</sup>.

Evidentemente esto no representa un límite físico, sino más bien, un límite de diseño. Con esto garantizamos que en caso de alcanzar este límite de diseño, la viga aun posea cierta capacidad de deformación. En este sentido, conviene aclarar que una viga diseñada con este criterio puede llamarse dúctil.

De acuerdo con Rivadeneira (2016) y Vila (2019), es posible diseñar una viga de concreto armado reforzado con varillas de fibras de vidrio usando las clásicas ecuaciones de resistencia, considerando los valores de fluencia definidos, y que el módulo de elasticidad es diferente al caso del acero. De hecho, de acuerdo con las investigaciones presentadas por Bazán (2015) y Diaz (2016), las varillas de fibras de vidrio presentan menores valores de rigidez axial que el acero, por lo que un diseño basado únicamente en resistencia podría no brindar los resultados deseados.

#### Objetivo específico 02

Determinar las diferencias significativas en la deflexión de vigas de concreto entre la reforzada con varilla de fibras de vidrio y la reforzada con varillas de acero corrugado ASTM grado 60.

#### Análisis y discusión de los resultados

De acuerdo con los resultados obtenidos al estudiar el comportamiento mecánico de cuatro casos de estudio, en general, se observó que las vigas de concreto armado reforzadas con varillas de fibras de vidrio presentaron menores niveles de rigidez a la deflexión, es decir, se encontró que la viga de concreto reforzada con varilla de fibras de vidrio se deflectan mucho más con los mismos niveles de carga.

Empezamos analizando los resultados encontrados en el caso de la viga de sección transversal 0.15m x 0.15m reforzada con varillas de 6mm de diámetro, para el caso de varilla de acero y varilla de fibras de vidrio. Los resultados muestran, a primera vista, un comportamiento mecánico marcadamente diferente entre ambos especímenes. De la figura 33 se puede observar que la viga reforzada con varillas de acero presentan mayores niveles de rigidez, siendo este hecho claro al observar

que para un momento de 0.3 t.m, la deformación obtenida fue de 0.018 u para el caso de la viga reforzada con varillas de acero convencionales, mientras que en el caso de vigas reforzadas con varillas de vidrio, las máximas deformaciones fueron de 0.05 u, es decir que, la viga reforzada con varillas de fibras de vidrio se han deformado casi tres veces el caso de la viga reforzada con varillas de acero convencional.

Resultados similares se han encontrado en el caso de la viga de sección transversal 0.15x0.15 y reforzada con varillas de 12mm de diámetro, tanto de varillas de acero convencional, como de varillas de fibras de vidrio. Los resultados muestran que al igual que en el caso anterior, las vigas reforzadas con varilla de acero convencional presentan mayores rigideces que las reforzadas con varilla de fibras de vidrio. Otro punto importante a tener en cuenta es la resistencia de tales elementos. Como se muestran en la figura 34, la resistencia a la flexión máxima de la viga reforzada con varillas de fibra de vidrio alcanzo un valor de 4.6 t.m, mientras que la resistencia a la flexión de la viga reforzada con acero convencional alcanzado un valor máximo de 0.6 t.m. Esto ocurre debido a que mientras que el acero alcanza su límite con la fluencia del material, en el caso de la fibra de vidrio, estas siguen incrementado su resistencia de manera sostenida, hasta alcanzar su valor de resistencia ultima.

### Objetivo específico 03

Determinar la diferencia de costos entre las vigas de concreto reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM-615 grado 60.

### Análisis y discusión de los resultados

De acuerdo con los resultados encontrados en las secciones correspondientes, se aprecia que el costo de las vigas de concreto reforzadas con varillas de fibras de vidrio es de aproximadamente 18% más el costo de las vigas de concreto reforzadas con varillas de acero.

Este resultado puede ser desalentador, en un principio, sin embargo, se debe recordar de estos resultados adicionales, que las fibras de vidrio poseen mayores resistencias que las varillas de acero. Por lo que en teoría requieren de menores

cuantías a la hora de afrontar iguales niveles de resistencia, esto las hace más ventajosas.

Además, se debe comentar que los altos precios de las varillas de fibras de vidrio se deben a la poca industrialización de esta actividad, sin embargo, se prevé que en unos pocos años los costos sean considerablemente menores a las varillas de acero, teniendo en cuenta además que, las varillas de fibras de vidrio no son susceptibles de corrosión.

## V. CONCLUSIONES

### **Sobre el objetivo general**

*Determinar las diferencias significativas en el comportamiento estructural de vigas de concreto entre las reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM- 615 grado 60.*

Las vigas de concreto armado reforzado con varillas de fibra de vidrio presentan mayores niveles de resistencia última, al ser comparadas con las vigas de concreto armado reforzado con varilla de acero convencional. De acuerdo a los resultados obtenidos, para los primeros especímenes se encontró que la resistencia última de vigas reforzadas con fibras de vidrio y acero estuvieron en el orden de 1.3 t y 0.5t, es decir, la resistencia última de las vigas reforzadas con varillas de fibras de vidrio fue de casi 2.5 veces la resistencia a la flexión de las vigas reforzadas con varillas de acero convencional. En el caso del segundo grupo de especímenes, este ratio estuvo en el orden de 3, es decir, la resistencia última de las vigas reforzadas con varillas de fibra de vidrio fue del triple de las reforzadas con varillas de acero convencional. Esto ocurrió así, puesto que las varillas de fibras de vidrio poseen mayores niveles de resistencia que las varillas de acero, de hecho, de acuerdo con los resultados encontrados, el esfuerzo último de las varillas de fibras de vidrio fue de 224000 ton/m<sup>2</sup>, mientras que el esfuerzo último de las varillas de acero fue de 65000 t/m<sup>2</sup>.

### **Sobre el primer objetivo específico**

*Determinar las diferencias significativas en el diseño a flexión de vigas de concreto entre la reforzada con varillas de fibras de vidrio y la reforzada con varillas de acero corrugado ASTM grado 60.*

Las principales diferencias encontradas a la hora de diseñar vigas de concreto armado reforzada con varilla de acero y reforzada con varilla de fibras de vidrio fueron las características mecánicas de los materiales, a decir, esfuerzo de fluencia, esfuerzo último y módulo de elasticidad. En este punto conviene recordar que el esfuerzo de fluencia nominal del acero convencional es de 42000 kg/m<sup>2</sup>, mientras que el esfuerzo último de este material está en 65000 t/m<sup>2</sup>; mientras que los valores correspondientes en el caso de la varilla de fibras de vidrio fueron de 11000

kg/m<sup>2</sup> y 22000 t/m<sup>2</sup>, respectivamente. Eso muestra claramente la diferencia existente entre las varillas de fibra de vidrio y varillas de acero convencional.

### **Sobre el segundo objetivo específico**

*Determinar las diferencias significativas en la deflexión de vigas de concreto entre las reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM grado 60.*

De acuerdo con los valores numéricos obtenidos, para un momento flector de 0.3 t.m, se encontró que en el primer juego de especímenes la deformación de las vigas de concreto reforzadas con varillas de fibra de vidrio fue de 0.06 u, mientras que la deformación correspondiente a la reforzada con acero fue de 0.02 u; esto indica que la viga reforzada con varilla de fibra de vidrio se deflectaron tres veces los valores encontrados en la viga reforzada con varilla de acero convencional.

En el caso del segundo juego de especímenes se encontró que para un momento flector demandado de 1.10 t.m, la viga reforzada con varilla de fibra de vidrio se deformaron un total de 0.09u, mientras que, en el caso del refuerzo con acero convencional, este valor fue de 0.05u; es decir, las deflexiones máximas en el caso de viga reforzada con fibras de vidrio fue de casi el doble de las deflexiones en el caso de la viga reforzada con varilla de acero convencional. De hecho, de acuerdo con los resultados presentados en las secciones anteriores, se ha observado que las vigas con fibras de vidrio se deflectaron casi el doble que las vigas con varillas de acero.

Finalmente, en el caso práctico analizado dentro de la presente investigación, se encontró que para un momento flector de 18 t.m, las máximas deflexiones encontradas en el caso de la viga reforzada con varilla de acero estuvieron en el orden de 0.009 u, mientras que para la viga reforzada con varilla de fibras de vidrio, este valor estuvo en el orden de 0.015 u. Esto resultó en que la viga con varilla de fibras de vidrio se deflectaron 1.7 veces la viga reforzada con varillas de acero convencional.

### ***Sobre el tercer objetivo específico***

*Determinar la diferencia de costos generados entre las vigas de concreto reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM grado 60.*

De acuerdo con los resultados analizados, los costos de fabricación de la viga reforzada con varilla de fibras de vidrio resultaron ser superiores al de las vigas de concreto reforzada con varilla de acero convencional. Se aprecia que el costo de la viga de concreto reforzada con varilla de fibras de vidrio es de aproximadamente 18% más el costo de las vigas de concreto reforzadas con varillas de acero. Esto ha ocurrido debido a que los costos de las varillas de fibras de vidrio resultaron ser más elevadas que las varillas de acero. De acuerdo con la investigación realizada, a la fecha el costo de las fibras de vidrio de 1/4" fue de s/30 por unidad, mientras que una varilla de acero tuvo un costo de s/.15.

## **VII. RECOMENDACIONES**

### **Sobre el objetivo general**

Determinar las diferencias significativas en el comportamiento estructural de viga de concreto entre la reforzada con varilla de fibras de vidrio y la reforzada con varillas de acero corrugado ASTM- 615 grado 60.

Se recomienda estudiar el comportamiento de columnas de concreto reforzados con varilla de fibras de vidrio. Ya que estos elementos están sometidos a la acción conjunto de fuerzas axiales, cortantes y momentos flectores.

### **Sobre el primer objetivo específico**

Determinar las diferencias significativas en el diseño a flexión de vigas de concreto entre la reforzada con varillas de fibras de vidrio y la reforzada con varillas de acero corrugado ASTM grado 60.

Se recomienda el estudio de vigas reforzadas con varillas de fibra de vidrio de manera experimental, sometidos a cargas incrementales. Esto permitirá observar con detalle el modo de falla encontrado.

### **Sobre el segundo objetivo específico**

Determinar las diferencias significativas en la deflexión de vigas de concreto entre las reforzadas con varillas de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM grado 60.

Se recomienda estudiar el efecto del confinamiento basado en varilla de fibras de vidrio, ya que en este trabajo solo se ha estudiado el efecto de las varillas longitudinales de fibras de vidrio.

### **Sobre el tercer objetivo específico**

Determinar la diferencia de costos generados entre las vigas de concreto reforzada con varilla de fibras de vidrio y las reforzadas con varillas de acero corrugado ASTM grado 60. Se recomienda explorar otras alternativas existentes a las varillas de fibras de vidrio, como las varillas de basalto, ya que en algunos casos pueden tener menor costo y exhibir comportamientos mecánicos sofisticados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceros Arequipa. (2019). *Procesos de producción*. . Obtenido de <http://www.acerosarequipa.com/procesos-de-produccion.html>
- Almerich Chulia, A. I. (2010). *Diseño, según estados límites, de estructuras de hormigón armado con redondos de fibra de vidrio GFRP*. Valencia - España: Universidad Politécnica Valencia.
- Bazan Serrano, J. L. (2015). *Estudio experimental y numérico del comportamiento de flexión de vigas de concreto armado reforzadas con bandas de FRP*. (Tesis). Lima - Perú.
- Carrasco, D. S. (2017). *Metodología de la investigación científica*. Lima - Perú: San Marcos.
- Díaz Pérez, I. D., & Wainshtok Rivas, H. R. (2018). *diseño de viga continua de concreto armada con barras de polímeros reforzados con fibras de vidrio (PRFV)*. (Tesis)(La Habana - Cuba ).
- Escamilla Hernández, L. A., & Loza Vega, J. Ó. (2014). *Estado del Arte en Varillas Corrugadas de Fibra de Vidrio "GFRP" Para Refuerzo en Elementos de Concreto*. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural México. Obtenido de Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural: [http://www.smie.org.mx/SMIE\\_Articulos/co/co\\_13/te\\_02/ar\\_16.pdf](http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_13/te_02/ar_16.pdf)
- Glosario de ingeniería Civil . (2019). Obtenido de [https://glosarios.servidor-alicante.com/ingenieria-civil#terminos\\_F](https://glosarios.servidor-alicante.com/ingenieria-civil#terminos_F)
- Glosario de Terminos de ingeniería. (2019). Obtenido de [https://www.academia.edu/7799970/GLOSARIO\\_DE\\_TERMINOS\\_Ingenier%C3%ADa\\_civil](https://www.academia.edu/7799970/GLOSARIO_DE_TERMINOS_Ingenier%C3%ADa_civil)
- Harmsen, T. (2002). *Diseños de estructuras d econcreto armado*. Lima -Perú : Pontificia Universidda Católica del Perú .
- Lalvay Llivigañay, B. H. (2017). *Análisis, comportamiento y comparación de varillas corrugadas en fibra de vidrio, con relación a las varillas convencionales;*

conjuntamente en elementos estructurales de hormigón. (Tesis)(Cuenca - Ecuador).

Martínez J., Correa J., Díaz I., (2019). Reforzamiento de vigas de concreto armado empleando varillas de Polímeros Reforzados con Fibras de Vidrio (PRFV). *Revista de Arquitectura e Ingeniería* 13 (2). Recuperado desde: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1939/193960058007/html/index.html>

McCormac, J., & Csernalaska, S. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero*. México: Alfaomega.

Olivares , M; Galán , C; Roa, J. (2003). *Los composites: características y aplicaciones en la edificación*. Obtenido de [https://www.academia.edu/35267871/LOS\\_COMPOSITES\\_CARACTER%C3%8DSTICAS\\_y\\_APLICACIONES\\_EN\\_LA\\_EDIFICACI%C3%93N\\_COMPOSITES\\_CHARACTERISTICS\\_AND\\_APPLICATIONS\\_IN\\_BUILDING\\_CONSTRUCTION](https://www.academia.edu/35267871/LOS_COMPOSITES_CARACTER%C3%8DSTICAS_y_APLICACIONES_EN_LA_EDIFICACI%C3%93N_COMPOSITES_CHARACTERISTICS_AND_APPLICATIONS_IN_BUILDING_CONSTRUCTION)

Palomino Orizano, J. A., Peña Corahua, J. D., Zevallos Ypanaqué, G., & Orizano Quedo, L. A. (2015). *Metodología de la investigación. Guía para la elaborar un proyecto en salud y educación*. Lima- Perú: San Marcos.

Rivadeneira Benítez, G. F. (2016). *Correlación entre vigas de concreto armadas con varillas de acero y con varillas de fibra reforzada con polímero FRP sometidas a esfuerzos de flexión en los tercios del claro*. (Tesis).

Vila Carbajal, E. G. (2019). *Análisis comparativo del comportamiento estructural en flexión, entre vigas reforzadas con varillas de vidrio frente a las reforzadas con acero*. (Tesis).

Villamudria Rivera, S. (2014). *Modificación de las Propiedades del Hormigón al ser Reforzado con Fibra de Vidrio AR*. (Tesis de Master). Oviedo - España : Universidad de Oviedo .

## ANEXOS

### Cotización de Fibra de vidrio

<b>FIBRA SANCHEZ S.A.C. - PISAS S.A.C.</b> CAR. CENTRAL KM. 11.2 URB. SANTA CLARA ATE - LIMA - MMA		FACTURA ELECTRONICA RUC: 20604924201 E001-33		
Fecha de Vencimiento Fecha de Emisión : <b>16/10/2020</b> Señor(es) : <b>CONSORCIO GUADALUPE</b> RUC : <b>20605464352</b> Establecimiento del Emisor : CAR. CENTRAL - URB. SANTA CLARA KM. 11.2 LIFGA-LIMA-ATE Tipo de Moneda : <b>SOLES</b> Observación				
Cantidad	Unidad Medida	Descripción	Valor Unitario	ICBPER
3.00	UNIDAD	VARILLAS DE FIBRA DE VIDRIO 2 M X 6 MM	30.00	0.00
Valor de Ventas Operaciones Gratuitas <span style="float: right; border: 1px solid black; padding: 2px;">S/ 0.00</span>			Sub Total Ventas *	S/ 90.00
			Anticipos :	S/ 0.00
			Descuentos :	S/ 0.00
			Valor Venta:	S/ 90.00
			ISC :	S/ 0.00
			IGV :	S/ 0.00
			ICBPED :	S/ 0.00
			Otros Cargos *	S/ 0.00
			Otros Tributos	S/ 0.00
			Importe Total *	S/ 90.00
<b>SON: NOVENTA Y 00/100 SOLES</b>				
<i>Este es una representación impreso de lo facturo electrónico, penerodo en el Sistema de LUNAT. Puede ser forlo uti/izondo sa c/o e SOL.</i>				

Cotización de materiales

DISTRIBUIDORA CRISLE S.A.C.

20602611877

Huanuco - Leoncio Prado - Rupa-Rupa

Av. Raymondi Nro. 856 - Tingo Maria

Cel: 942123684 942123684

PROFORMA N° : 0001-00000226

Cliente: JOSE CABRERA JUMP

Número Doc: 11111111

Puntos acumulados: 483721.00

Dirección: -

Fecha y Hora: 2020-10-07

Cant	U.M	Descripción	P.U	Importe
1		BLS CEMENTO NACIONAL PORTLAND TIPO 1	23.00	23.00
1		UND BOLSA DE YESO	12.00	12.00
1		KG ALAMBRE # 8	4.50	4.50
1		KG ALAMBRE # 16	4.50	4.50
1		VAR FIERRO CORRUGADO DE 1/2 ARCELORMITTAL	26.80	26.80
1		UND CODO DESAGUE DE 4X90 EN PAVCO	7.00	7.00
4		UND PEGAMENTO PVC X 1/4 ORTEY DORADO	27.00	108.00
1		UND TUBO DESAGUE DE 4" PAVCO	23.00	23.00

Total S/ 208.80

Son: DOSCIENTOS OCHO (80/100) Soles

SOLICITE SU COMPROBANTE DE PAGO CORRESPONDIENTE

¡GRACIAS POR SU COMPRA - DIOS LO BENDIGA!

VIRTUALFACT PERU - CONTACTENOS AL 931306986

## Cotización de agregados



# AGREGADOS SALINAS



<b>COTIZACIÓN VENTA DE AGREGADOS</b>				
FECHA	14/10/2020	Nº	540	
<b>Cliente:</b> <b>MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LEONCIO PRADO</b>				
<b>Dirección:</b> <b>AV. ALAMEDA PERU Nº 525 - TINGO MARIA</b>				
ITEM	UNID.	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO UNITARIO S/.
1	M3	Piedra Grande de 8"	1	60.00
2	M3	Piedra Mediana de 6"	1	65.00
3	M3	Hormigón	1	75.00
4	M3	Arena Fina	1	90.00
5	M3	Arena Gruesa	1	85.00
6	M3	Piedra Chancada de 1/2"	1	85.00
7	M3	Piedra Chancada de 3/4"	1	90.00
8	M3	Grava de 3/4"	1	90.00
9	M3	Afirmado (Material de Cantera)	1	35.00
10	M3	Tierra de Chacra o Vegetal	1	20.00

TRABAJO A REALIZAR	SEGÚN COORDINACIÓN
LUGAR DE ENTREGA	PUESTO EN OBRA

**NOTA:** LOS COSTOS NO INCLUYE I.G.V.

-----  
Cruz Cose, María Luisa  
RUC: 10230143426

TINGO MARIA: Carretera Tingo María – Huánuco Km 3.5 – CPME. Afilador CEL: 985159594

# Fierro Corrugado

ASTM A615 - GRADO 60  
NTP 341.031 - GRADO 420



  
**ACEROS  
AREQUIPA**

LA **SEGURIDAD**  
DE UN **FIERRAZO**

# Fierro Corrugado

## ASTM A615 - GRADO 60 / NTP 341.031 - GRADO 420

### DENOMINACIÓN:

Fierro Corrugado ASTM A615-Grado 60 / NTP 341.031 - Grado 60.

### DESCRIPCIÓN:

Barras de acero rectas de sección circular, con resaltes Hi-bond de alta adherencia con el concreto.

### USOS:

Se utiliza en la construcción de edificaciones de concreto armado de todo tipo en viviendas, edificios, puentes, obras industriales, etc.

### NORMAS TÉCNICAS:

Composición Química, Propiedades Mecánicas y Tolerancias Dimensionales:

Norma internacional ASTM A615 Grado 60.

Norma Técnica Peruana NTP 341.031:2018 Grado 420.

NTE E.060:2009 CONCRETO ARMADO.

### PRESENTACIÓN:

Se produce en barras de 9 m y 12 m de longitud en los siguientes diámetros: 6mm, 8mm, 3/8", 12mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1", 1 3/8". Previo acuerdo, se puede producir en otros diámetros y longitudes requeridos por los clientes.

Se suministra en paquetes de 2 toneladas y en varillas.

### DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES:

DIÁMETRO DE BARRA		SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )	PERÍMETRO (mm)	PESO NOMINAL (kg/m)
Pulg.	mm			
-	6	28	18.8	0.222
-	8	50	25.1	0.395
3/8	-	71	29.9	0.560
-	12	113	37.7	0.888
1/2	-	129	39.9	0.994
5/8	-	199	49.9	1.552
3/4	-	284	59.8	2.235
7/8	-	387	69.8	3.042
1	-	510	79.8	3.973
1 3/8	-	1,006	112.5	7.907

### PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia (fy) = 420 MPa (4, 280 kg/cm<sup>2</sup>) mínimo

Resistencia a la Tracción (R) = 620 MPa (6, 320 kg/cm<sup>2</sup>) mínimo

Relación R/fy ≥ 1.25 (sismo resistencia).

Alargamiento en 200 mm:

Diámetros:

6mm, 8mm = 11% mínimo(\*).

3/8", 12 mm, 1/2", 5/8" y 3/4" = 14% mínimo(\*).

1" = 12% mínimo.

1 3/8" = 12% mínimo.

Doblado a 180° = Bueno en todos los diámetros

(\* El alambroón corrugado y las barras enderezadas obtenidas por el alambroón, pueden tener valores de alargamiento menores, pero siempre cumplen con el 9% mínimo requerido por la norma ASTM A615 Grado 60.

Los diámetros de doblado especificados por las Normas Técnicas para la pueba de doblado son:

DIÁMETRO BARRA (d)	6 mm	8 mm	3/8"	12 mm	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 3/8"
DIÁMETRO DOBLADO	3d	3d	3d	3d	3d	3d	5d	5d	7d
mm	18	24	28.6	36	38.1	47.6	95.3	127	244.5

"d" - se considera el diámetro de la barra establecido por la norma ASTM A615

### IDENTIFICACIÓN:

Los fierros son identificados por marcas de laminación en alto relieve que indican el fabricante, el diámetro, la norma, el grado del acero y el país de fabricación.



QCQA01-F100 / 06 / JUN19



ISO 9001:2015

CERTIFICATE N° 57219



ISO 14001:2015

CERTIFICATE N° 57220



ISO 45001:2018

CERTIFICATE N° 57221

### CERTIFICACIÓN Y ACREDITACIÓN

Las barras de Aceros Arequipa son las únicas exclusivamente fabricadas en el Perú.

La certificación de calidad se sustenta en las pruebas y ensayos efectuados en nuestro laboratorio acreditado ante el Instituto Nacional de Calidad del Perú (INACAL).

### PERÚ

LIMA: Av. Antonio Miró Quesada N.° 425, piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.

PISCO: Panamericana Sur Km. 240. Ica. Tel. (51-056) 58 0830.

AREQUIPA: Variante de Uchumayo Km 5.5, Cerro Colorado, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

### BOLIVIA

#### SANTA CRUZ:

-Calle E - Lote 14 manzano A-08 Urbanización Cervecería Boliviana Nacional - Bellavista Viacha.

-Av. Hilbo N.° 100, Zona El Kenko. Tel. (591) 75555819/77641658. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

SANTA CRUZ: Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial U1 06,

Mz. 1, lote 4 - Warnes. Tel. (591) 75555819/77303688. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

Encuétranos en:



www.acerosarequipa.com

## Ficha técnica de la fibra de vidrio

### FICHA TÉCNICA DE LA FIBRA DE VIDRIO

**NOMBRE** Malla de fibra de vidrio, tipo IF, para utilizaciones industriales y químicas, con necesidades anti-corrosión.

**FUNCIONES** : Numerosas utilidades en diversos sectores

- Equipos de lavado
- Energía eólica (aerogeneradores)
- Sector de la construcción
- Industrias químicas

**Nº DE INFORME** 120961-1

**ENSAYO REALIZADO** : "Ensayo de Propagación de la Llama y Valores de Desarrollo de Humos", realizado por SGS TestingCompany Inc.

**NORMA QUE CUMPLE** : ASTM E-84-95.

#### CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

La malla moldeada es un molde compuesto por fibra de vidrio reforzada y resinas especialmente compuestas, para la obtención de una sólida composición.

El refuerzo de fibra de vidrio proporciona al compuesto resistencia mecánica, estabilidad dimensional y resistencia al calor. La resina plástica aporta resistencia química dieléctrica y comportamiento a la intemperie.

Cuando el vidrio se convierte en finas fibras, su tensión de rotura a la tracción aumenta considerablemente.

Las resinas más empleadas son los poliésteres. Las mismas, resultan de combinar ácido polibásico (saturados o insaturados) con glicoles. De los distintos compuestos usados y de las diferentes proporciones entre ellas, surgen diversos tipos de resinas. En esta primera etapa, son sólidas y para conferirle sus propiedades de polimerización, se deben disolver en un manómetro (generalmente estireno), obteniéndose un líquido espeso.

Las resinas pasan del estado líquido al sólido por copolimerización del poliéster, con el aporte de un iniciador activo (catalizador) en combinación con otro producto químico (acelerador) o aporte de calor.

Las resinas más utilizadas son las resinas poliéster ortoftálica, resinas poliéster isoftálica y resinas poliéster bisfenólica.

Las características principales son las siguientes:

- **Alta fortaleza.** La malla moldeada es una combinación de fibra de vidrio con resinas, especialmente formuladas para que resulte una sólida composición.



**FICHA TECNICA**  
**VARILLA LISA FIBRA VIDRIO**  
**REF. VLFV-300**



**CARACTERISTICAS**

**VLFV-300 es un perfil rígido tipo varilla redonda fabricado en fibra de vidrio concebido para su utilización en un amplio campo de aplicaciones (construcción, náutica, marítima, sector alimentación, obra civil, etc) debido a sus excelentes propiedades físicas, mecánicas, térmicas o eléctricas por lo que lo confieren como un producto muy versátil, destacando entre otras por las siguientes:**

- **Gran rigidez**
- **Excelente resistencia a agentes químicos**
- **Mantenimiento nulo**
- **Máxima durabilidad del producto**
- **Infinidad de campos de aplicación y usos**
- **Posibilidad de fabricación a base de resinas ortoftálicas, isoftálicas, vinylester, ignífugas, autoextinguibles o epoxi**
- **Color blanco como color standard**
- **Posibilidad de fabricación de otros colores mediante carta RAL y dependiendo las cantidades a suministrar**

## PRESENTACION Y EMBALAJE

El producto se presenta perfiles standard de 3 m.l. y en cajas de 10 unidades.

Otras medidas, colores y cantidades a consultar.

## PROPIEDADES GENERALES

PROPIEDADES FISICAS	UNIDADES	
Peso Especifico	1,65/1,85	kg/dm <sup>3</sup>
Contenido en Vidrio	50/70	%
Absorción de Agua	0,5/1,0	% peso
Coefficiente Dilatación Lineal	15/17	1/°C.106
PROPIEDADES MECANICAS	UNIDADES	
Resistencia a la flexión	300/600	Mpa
Resistencia a la tracción	400/650	Mpa
Resistencia a la compresión	150/300	Mpa
Módulo de Elasticidad (E)	15000/32000	Mpa
Resistencia al impacto	150	daN cm/cm <sup>2</sup>
Dureza	50	barcol
PROPIEDADES ELECTRICAS	UNIDADES	
Constante dieléctrica a 50 Hz	4/6	
Rigidez dieléctrica	3/7	KV/mm
Factor de pérdida a 50 Hz	0,03/0,04	tg
Resistencia al aislamiento superior	10e10/10e13	Ohms
Clase de aislamiento	F/H	
PROPIEDADES TERMICAS	UNIDADES	
Conductividad térmica	0,2/0,3	Kcal/ Mh°C
Resistencia a la temperatura	-65/+180	°C



Avda. Luxemburgo Parcela G-10 Nave 6  
30353 POL. IND. CABEZO BEAZA  
CARTAGENA-MURCIA  
SPAIN  
+34 968501406  
www.e-palsa.com  
palsa@e-palsa.com



**FICHA TECNICA**  
**VARILLA CORRUGADA FIBRA**  
**VIDRIO**  
**REF. VCFV-300**



**A: DIAMETRO**

**CARACTERISTICAS**

VCFV-300 es un perfil rígido tipo varilla redonda con la inclusión de un hilo o filamento de fibra de vidrio que una vez desmoldeado, adquiere la forma rugosa o corrugada para un mejor agarre o adherencia al soporte. Fabricado en fibra de vidrio está concebido para su utilización en un amplio campo de aplicaciones (construcción, náutica, marítima, sector alimentación, obra civil, etc) debido a sus excelentes propiedades físicas, mecánicas, térmicas o eléctricas por lo que lo confieren como un producto muy versátil, destacando entre otras por las siguientes:

- Gran rigidez
- Excelente resistencia a agentes químicos
- Mantenimiento nulo
- Máxima durabilidad del producto
- Infinidad de campos de aplicación y usos
- Posibilidad de fabricación a base de resinas ortoftálicas, isoftálicas, vinylester, ignífugas, autoextinguibles o epoxi
- Color blanco como color standard
- Posibilidad de fabricación de otros colores mediante carta RAL y dependiendo las cantidades a suministrar

## PRESENTACION Y EMBALAJE

El producto se presenta perfiles standard de 3 m.l. y en cajas de 10 unidades.

Otras medidas, diámetros, colores y cantidades a consultar.

## PROPIEDADES GENERALES

PROPIEDADES FISICAS	UNIDADES	
Peso Especifico	1,65/1,85	kg/dm <sup>3</sup>
Contenido en Vidrio	50/70	%
Absorción de Agua	0,5/1,0	% peso
Coefficiente Dilatación Lineal	15/17	1/°C.106
PROPIEDADES MECANICAS	UNIDADES	
Resistencia a la flexión	300/600	Mpa
Resistencia a la tracción	400/650	Mpa
Resistencia a la compresión	150/300	Mpa
Módulo de Elasticidad (E)	15000/32000	Mpa
Resistencia al impacto	150	daN cm/cm <sup>2</sup>
Dureza	50	barcol
PROPIEDADES ELECTRICAS	UNIDADES	
Constante dieléctrica a 50 Hz	4/6	
Rigidez dieléctrica	3/7	KV/mm
Factor de pérdida a 50 Hz	0,03/0,04	tg
Resistencia al aislamiento superior	10e10/10e13	Ohms
Clase de aislamiento	F/H	
PROPIEDADES TERMICAS	UNIDADES	
Conductividad térmica	0,2/0,3	Kcal/ Mh°C
Resistencia a la temperatura	-65/+180	°C



Avda. Luxemburgo Parcela G-10 Nave 6  
30353 POL. IND. CABEZO BEAZA  
CARTAGENA-MURCIA  
SPAIN  
+34 968501406  
www.e-palsa.com  
palsa@e-palsa.com

# Norma ACI-318 (capítulo 9 – vigas)

## REGLAMENTO

### CAPÍTULO 9 — VIGAS

#### 9.1 — Alcance

9.1.1 Este Capítulo debe aplicarse al diseño de vigas no preesforzadas y preesforzadas, incluyendo:

- (a) Vigas de elementos compuestos de concreto contruoidos en etapas diferentes, pero interconectados de manera que respondan a las cargas como una sola unidad
- (b) Sistemas de viguetas en una dirección de acuerdo con 9.8
- (c) Vigas de gran altura de acuerdo con 9.9.

#### 9.2 — Generalidades

##### 9.2.1 *Materiales*

9.2.1.1 Las propiedades de diseño para el concreto deben cumplir con los requisitos del Capítulo 19.

9.2.1.2 Las propiedades de diseño para el acero de refuerzo deben cumplir con los requisitos del Capítulo 20.

9.2.1.3 El material, diseño y detallado de insertos embebidos en el concreto deben cumplir con 20.7.

##### 9.2.2 *Conexión a otros miembros*

9.2.2.1 Para el concreto construido en obra, los nudos viga-columna y losa-columna deben cumplir con los requisitos del Capítulo 15.

9.2.2.2 Para concreto prefabricado, las conexiones deben cumplir con los requisitos de transferencia de fuerza de 16.2.

##### 9.2.3 *Estabilidad*

9.2.3.1 Cuando una viga no se encuentra arriostrada lateralmente de manera continua, se deben cumplir con (a) y (b):

- (a) la separación entre los apoyos laterales no debe exceder 50 veces el menor ancho del ala o cara de compresión.
- (b) la separación entre los apoyos laterales debe tener en cuenta los efectos de cargas excéntricas.

9.2.3.2 En vigas preesforzadas, debe considerarse la posibilidad de pandeo de almas y alas delgadas. Si hay contacto intermitente entre el refuerzo preesforzado y un ducto de mayor tamaño del necesario, debe considerarse la posibilidad de que ocurra pandeo del miembro entre puntos de contacto.

## COMENTARIO

### R9 — VIGAS

#### R9.1 — Alcance

R9.1.1 Las vigas estructurales compuestas de concreto y acero no están cubiertas por este capítulo. Los requisitos de diseño para esas vigas compuestas se encuentran en AISC 360.

#### R9.2 — Generalidades

##### R9.2.3 *Estabilidad*

R9.2.3.1 Ensayos (Hansell and Winter 1959; Sant and Bletzacker 1961) han demostrado que las vigas de concreto reforzado sin arriostramientos laterales, aun cuando sean muy altas y delgadas, no fallan prematuramente por pandeo lateral, siempre y cuando las vigas se carguen sin excentricidad lateral que cause torsión.

Las vigas sin arriostramientos laterales con frecuencia se cargan excéntricamente o con una ligera inclinación. Los esfuerzos y las deformaciones producidos por estas cargas son perjudiciales en vigas delgadas y altas con distancia apreciable entre apoyos laterales. Pueden necesitarse apoyos laterales con espaciamientos menores de **50b** debido a estas condiciones de carga.

R9.2.3.2 En elementos postensados donde el acero de preesforzado está intermitentemente en contacto con un ducto de mayor tamaño del necesario, el elemento puede deflectarse lateralmente debido a las fuerzas axiales del preesforzado, ya que el elemento puede deflectarse lateralmente mientras que el refuerzo preesforzado no lo hace. Si el acero de preesforzado está en contacto continuo con el miembro que se está siendo preesforzado, o si es parte de un tendón no adherido en el cual el tamaño de la envoltura no es mucho

mayor que el refuerzo preesforzado, no es posible que la fuerza de preesfuerzo haga fallar el miembro por pandeo.

### 9.2.4 Sistema de vigas T

**9.2.4.1** En la construcción de vigas T, el ala y el alma de concreto deben construirse monolíticamente o deben estar efectivamente unidas entre sí de acuerdo con 16.4.

**9.2.4.2** El ancho efectivo del ala debe cumplir con 6.3.2.

**9.2.4.3** En las alas de vigas T donde el refuerzo principal a flexión de la losa es paralelo al eje longitudinal de la viga, el refuerzo de las alas perpendicular al eje longitudinal de la viga debe cumplir con 7.5.2.3.

**9.2.4.4** Para el diseño a torsión de acuerdo con 22.7, el ancho sobresaliente del ala utilizado para calcular  $A_{cp}$ ,  $A_g$  y  $p_{cp}$  debe cumplir con (a) y (b):

- (a) El ancho sobresaliente del ala debe incluir la parte de la losa que está situada a cada lado de la viga hasta una distancia igual a la proyección de la viga por encima y por debajo de la losa, la que sea mayor, pero no debe ser mayor que cuatro veces el espesor de la losa.
- (b) El ancho sobresaliente del ala puede despreciarse cuando el parámetro  $A_{cp}^2/p_{cp}$  para las secciones macizas o  $A_g^2/p_{cp}$  para las secciones huecas, calculado para una viga con alas, es menor al calculado para la misma viga ignorando las alas.

### R9.2.4 Sistema de vigas T

**R9.2.4.1** Para sistemas monolíticos o totalmente compuestos, las vigas incluyen porciones de losa actuando como alas.

**R9.2.4.3** Véase R7.5.2.3.

**R9.2.4.4** La Fig. R9.2.4.43 muestra dos ejemplos de la porción de losa que debe ser considerada en el diseño a torsión.

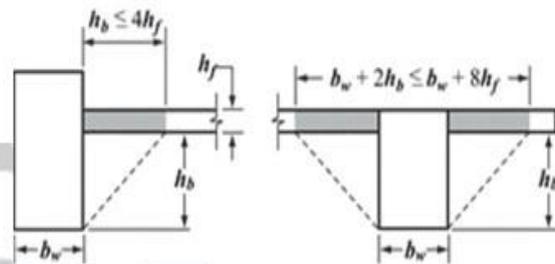


Fig. R9.2.4.4 — Ejemplos de la porción de losa que debe incluirse en el diseño para torsión.

## 9.3 — Límites de diseño

### 9.3.1 Altura mínima de la viga

**9.3.1.1** Para las vigas no preesforzadas que no soporten ni estén ligadas a particiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, la altura total de la viga,  $h$ , no debe ser menor que los límites dados en la Tabla 9.3.1.1, a menos que se cumplan los límites de las deflexiones calculadas de 9.3.2.

Tabla 9.3.1.1 — Altura mínima de vigas no preesforzadas

Condición de apoyo	Altura mínima, $h$ <sup>(1)</sup>
Simplemente apoyada	$l/16$
Con un extremo continuo	$l/18.5$
Ambos extremos continuos	$l/21$
En voladizo	$l/8$

<sup>(1)</sup> Los valores son aplicables al concreto de peso normal y  $f_y = 60,000$  lb./pulg.<sup>2</sup>. Para otros casos, la altura mínima  $h$  debe modificarse de acuerdo con 9.3.1.1.1 a 9.3.1.1.3, según corresponda.

**9.3.1.1.1** Para  $f_y$  distinto de 60,000 lb./pulg.<sup>2</sup>, los valores de la Tabla 9.3.1.1 deben multiplicarse por  $(0.4 + f_y/100,000)$

## R9.3 — Límites de diseño

### R9.3.1 Altura mínima de la viga

**R9.3.1.1** Para la aplicación de estos requisitos a vigas de concreto compuestas, véase R9.3.2.2.

**R9.3.1.1.1** La modificación para  $f_y$  es aproximada, no obstante, debe conducir a resultados conservadores para las

**9.3.1.1.2** Para vigas no preesforzadas construidas con concreto liviano con densidad  $w_c$  dentro del intervalo entre 90 y 115 lb./pie<sup>3</sup>, los valores de la Tabla 9.3.1.1 deben multiplicarse por el mayor entre (a) y (b):

- (a)  $1.65 - 0.005w_c$
- (b) 1.09

**9.3.1.1.3** Para vigas compuestas no preesforzadas construidas con una combinación de concreto liviano y concreto de peso normal, apuntaladas durante su construcción y donde el concreto liviano se encuentra en compresión, se debe aplicar el modificador de 9.3.1.1.2.

**9.3.1.2** Se puede incluir el espesor del acabado de piso de concreto en la altura  $h$  siempre y cuando se construya monolíticamente con la viga o cuando el acabado del piso se diseñe como compuesto con la viga, de acuerdo con 16.4.

### **9.3.2** *Límites de las deflexiones calculadas*

**9.3.2.1** Para las vigas no preesforzadas que no cumplen con 9.3.1 y para vigas preesforzadas, las deflexiones inmediatas y a largo plazo se deben calcular de acuerdo con 24.2 y no deben exceder los límites de 24.2.2.

**9.3.2.2** Para vigas de concreto compuestas no preesforzadas que cumplen con 9.3.1, no se necesita calcular las deflexiones que ocurren después de que el elemento se vuelve compuesto. Las deflexiones que ocurren antes que el elemento se vuelva compuesto deben investigarse, excepto si la altura del elemento antes de la acción compuesta también cumple con 9.3.1.

### **9.3.3** *Límite de la deformación unitaria del refuerzo en vigas no preesforzadas*

**9.3.3.1** Para vigas no preesforzadas, con  $P_u \leq 0.10 f'_c A_g \cdot \epsilon_t$  debe ser al menos 0.004.

cuantías típicas de refuerzo para valores de  $f_y$  entre 40,000 y 80,000 lb./pulg.<sup>2</sup>.

**R9.3.1.1.2** La modificación para el concreto liviano se basa en los resultados y discusiones de ACI 213R. No se dan correcciones para concreto con  $w_c$  mayor de 115 lb./pie<sup>3</sup> debido a que el factor de corrección es cercano a la unidad en este intervalo.

### **R9.3.2** *Límites de las deflexiones calculadas*

**R9.3.2.2.** Los límites de la Tabla 9.3.1.1 se aplican a toda la altura de las vigas compuestas no preesforzadas apuntaladas durante la construcción cuando, después de retirar los apoyos temporales la carga muerta es resistida por toda la sección compuesta. En construcción no apuntalada, la altura de la viga bajo estudio depende de si la deflexión se considera antes o después de lograr una acción compuesta efectiva.

Se deben considerar las deflexiones adicionales debidas a flujo plástico y retracción excesivos debido a que se carguen prematuramente. Esto es especialmente importante a edades tempranas cuando el contenido de humedad es alto y la resistencia es baja.

La transferencia del cortante horizontal por adherencia directa es importante cuando se deben evitar las deflexiones excesivas por deslizamiento. Las llaves de cortante son un medio para transferir el cortante, pero no actúan hasta que el deslizamiento ocurre.

### **R9.3.3** *Límite de la deformación unitaria del refuerzo en vigas no preesforzadas*

**R9.3.3.1** El efecto de esta limitación es restringir la cuantía de refuerzo en vigas no preesforzadas para mitigar el comportamiento frágil a flexión en caso de ocurrir una sobrecarga. Esta limitación no aplica a vigas preesforzadas.

### 9.3.4. Limites de los esfuerzos en vigas preesforzadas

9.3.4.1 Las vigas preesforzadas se deben clasificar como Clase U, T o C de acuerdo con 24.5.2.

9.3.4.2 Los esfuerzos en las vigas preesforzadas inmediatamente después de transferencia y bajo cargas de servicio no deben exceder los esfuerzos admisibles de 24.5.3 y 24.5.4.

## 9.4 — Resistencia requerida

### 9.4.1 Generalidades

9.4.1.1 La resistencia requerida se debe calcular de acuerdo con las combinaciones de mayoración de carga del Capítulo 5.

9.4.1.2 La resistencia requerida se debe calcular de acuerdo con los procedimientos de análisis del Capítulo 6.

9.4.1.3 Para vigas preesforzadas, los efectos de las reacciones inducidas por el preesfuerzo deben tenerse en cuenta de acuerdo con 5.3.11.

### 9.4.2 Momento mayorado

9.4.2.1 En vigas construidas integralmente con sus apoyos, se puede calcular  $M_u$  en los apoyos en la cara de ellos.

### 9.4.3 Cortante mayorado

9.4.3.1 En vigas construidas integralmente con sus apoyos,  $V_u$  puede calcularse en la cara del apoyo.

9.4.3.2 Las secciones ubicadas entre la cara de apoyo y una sección crítica localizada a  $d$  de la cara del apoyo en vigas no preesforzadas y a  $h/2$  de la cara del apoyo en vigas preesforzadas, se pueden diseñar para el  $V_u$  en la sección crítica si se cumplen todas las condiciones de (a) hasta (c):

- (a) La reacción del apoyo en dirección del cortante aplicado introduce compresión en la zona extrema de la viga.
- (b) Las cargas se aplican sobre, o cerca, de la cara superior de la viga.
- (c) No se aplica ninguna carga concentrada entre la cara del apoyo y la sección crítica.

## R9.4 — Resistencia requerida

### R9.4.3 Cortante mayorado

R9.4.3.2 La fisura inclinada más cercana al apoyo de la viga en la Figura R9.4.3.2(a) se extiende hacia arriba desde la cara del apoyo y alcanza la zona de compresión a una distancia de aproximadamente  $d$  medida desde la cara del apoyo. Si las cargas se aplican en la parte superior de la viga, los estribos que atraviesan esta fisura solo deben resistir la fuerza cortante debida a las cargas que actúan más allá de  $d$  (cuerpo libre a la derecha en la Fig. R9.4.3.2(a)). Las cargas aplicadas a la viga entre la cara del apoyo y el punto a una distancia  $d$  medida desde la cara se transfieren directamente al apoyo por compresión en el alma en la zona localizada por encima de la fisura. Consecuentemente, el Reglamento permite que se diseñe para la fuerza máxima de cortante mayorado  $V_u$  a una distancia  $d$  del apoyo para elementos no preesforzados, y a una distancia  $h/2$  para elementos preesforzados.

En la Figura R9.4.3.2(b) se muestran cargas que actúan cerca de la cara inferior de la viga. En este caso, la sección crítica está en la cara del apoyo. Las cargas que actúan cerca del apoyo deben transferirse a través de la fisura inclinada que se extiende hacia arriba desde la cara del apoyo. La fuerza cortante que actúa en la sección crítica debe incluir todas las cargas aplicadas por debajo de la fisura inclinada potencial.

Las condiciones típicas de apoyo donde se puede utilizar la fuerza cortante a una distancia  $d$  del apoyo incluyen:

(a) Vigas sostenidas por apoyo en la base de la viga, tales como la que se muestra en la Fig. R9.4.3.2(c).

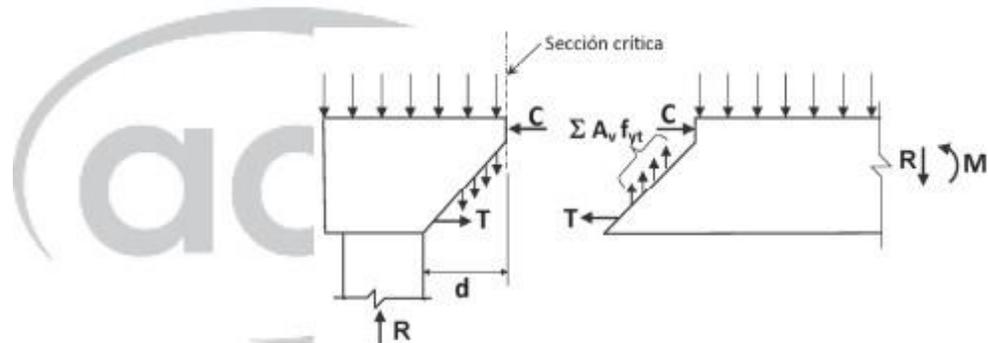
(b) Vigas unidas monolíticamente a columnas, como se muestra en la Figura R9.4.3.2(d).

Las condiciones típicas de apoyo donde la sección crítica se localiza en la cara de apoyo incluyen:

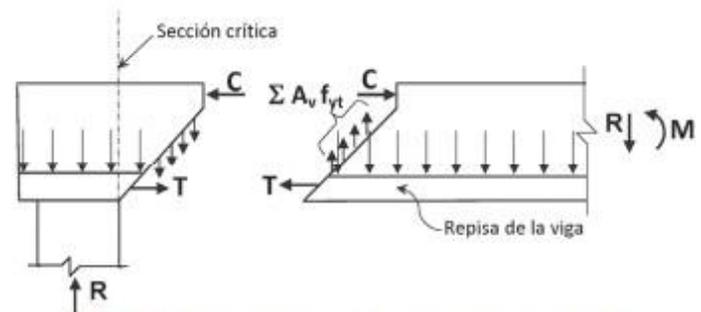
(a) Vigas unidas a un miembro de apoyo en tracción, tales como se ilustra en la Figura R9.4.3.2(e). También debe investigarse el cortante dentro de la conexión y colocarse refuerzo especial en las esquinas.

(b) Vigas en las cuales las cargas no están aplicadas sobre o cerca de la cara superior del miembro como se discutió previamente e ilustró en la Figura R9.4.3.2(b).

(c) Vigas cargadas de tal manera que el cortante en las secciones entre el apoyo y una distancia  $d$  difieren radicalmente del cortante a una distancia  $d$ . Esto se presenta comúnmente en ménsulas y en vigas en las cuales hay una carga concentrada cerca del apoyo, tal como se muestra en la Figura R9.4.3.2(f).



**Fig. R9.4.3.2(a)** — Diagramas de cuerpo libre en el extremo de la viga.



**Fig. R9.4.3.2(b)** — Ubicación de la sección crítica de cortante en un elemento cargado cerca de su cara inferior.

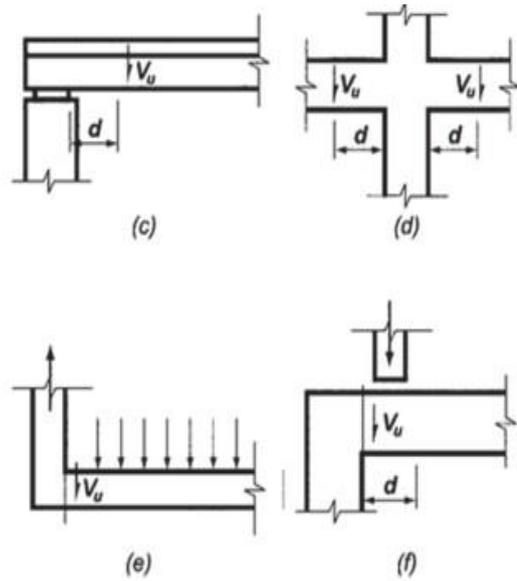


Fig. R9.4.3.2 (c), (d), (e) y (f) — Condiciones típicas del apoyo para localizar la fuerza cortante mayorada  $V_u$ .

#### 9.4.4 Torsión mayorada

9.4.4.1 A menos que se determine por medio de un análisis más exacto, se permite tomar las cargas torsionales provenientes de una losa como uniformemente distribuidas a lo largo de la viga.

9.4.4.2 En vigas construidas monolíticamente con sus apoyos, se permite calcular  $T_u$  en la cara de apoyo.

9.4.4.3 Las secciones ubicadas entre la cara de apoyo y una sección crítica ubicada a  $d$  de la cara del apoyo en vigas no preesforzadas, y a  $h/2$  de la cara del apoyo en vigas preesforzadas, se pueden diseñar para  $T_u$  en esa sección crítica a menos que ocurra un torque concentrado dentro de esa distancia. En tal caso, la sección crítica de diseño debe ser la cara del apoyo.

9.4.4.4 Se permite reducir  $T_u$  de acuerdo con 22.7.3.

### 9.5 — Resistencia de diseño

#### 9.5.1 Generalidades

9.5.1.1 Para cada combinación de mayoración de carga aplicable, la resistencia de diseño en todas las secciones debe cumplir con  $\phi S_n \geq U$  incluyendo de (a) hasta (d). Debe tenerse en cuenta la interacción entre los efectos de las cargas.

- (a)  $\phi M_n \geq M_u$
- (b)  $\phi V_n \geq V_u$
- (c)  $\phi T_n \geq T_u$
- (d)  $\phi P_n \geq P_u$

#### R9.4.4 Torsión mayorada

R9.4.4.3 Es frecuente el caso de vigas que se unen a un lado de vigas maestras cerca del apoyo de éstas. En este caso, una fuerza de corte y un torque concentrados son aplicados a la viga maestra.

### R9.5 — Resistencia de diseño

#### R9.5.1 Generalidades

R9.5.1.1 Las condiciones de diseño de 9.5.1.1(a) hasta (d) indican las fuerzas y momentos típicos que deben considerarse. No obstante, el requisito general  $\phi S_n \geq U$  indica que todas las fuerzas y momentos que sean relevantes para una estructura dada deben tenerse en cuenta.

9.5.1.2 El valor de  $\phi$  debe ser el dado en 21.2.

### 9.5.2 Momento

9.5.2.1 Cuando  $P_u < 0.10 f'_c A_g$ , se debe calcular  $\phi M_n$  de acuerdo con 22.3.

9.5.2.2 Cuando  $P_u \geq 0.10 f'_c A_g$ , se debe calcular  $\phi M_n$  de acuerdo con 22.4.

9.5.2.3 En las vigas preesforzadas, los tendones externos se deben considerar como tendones no adheridos para efectos de calcular la resistencia a flexión, a menos que los tendones externos estén efectivamente adheridos a la sección de concreto en toda su longitud.

### 9.5.3 Cortante

9.5.3.1  $V_n$  debe calcularse de acuerdo con 22.5.

9.5.3.2 En vigas de concreto compuestas, la resistencia a cortante horizontal  $V_{nh}$  debe calcularse de acuerdo con 16.4.

### 9.5.4 Torsión

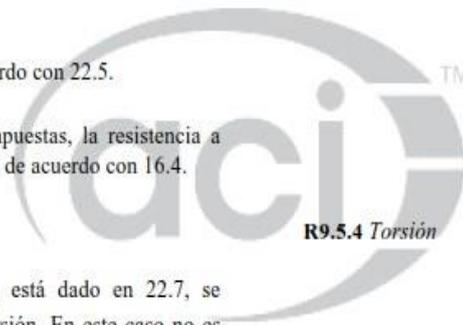
9.5.4.1 Si  $T_u < \phi T_{th}$ , donde  $T_{th}$  está dado en 22.7, se pueden despreciar los efectos de la torsión. En este caso no es necesario cumplir con los requisitos para refuerzo mínimo de 9.7.5 y 9.7.6.3.

9.5.4.2  $T_n$  debe calcularse de acuerdo con 22.7.

9.5.4.3 El refuerzo longitudinal y transversal requerido por torsión debe agregarse al necesario para  $V_u$ ,  $M_u$  y  $P_u$  que actúan en combinación con la torsión.

### R9.5.2 Momento

R9.5.2.2 En las vigas que resistan fuerzas axiales significativas se requiere considerar los efectos combinados de fuerzas axiales y momentos. No es necesario que estas vigas cumplan con los requisitos del Capítulo 10, pero deben cumplir con los requisitos adicionales para estribos y espirales definidos en la Tabla 22.4.2.1. Para vigas esbeltas con cargas axiales significativas, se deben considerar los efectos de la esbeltez, como se requiere para las columnas en 6.2.6.



### R9.5.4 Torsión

R9.5.4.3 Los requisitos de refuerzo para torsión y refuerzo cortante se suman y se deben colocar estribos, como mínimo en la cantidad total requerida. Dado que el área de refuerzo  $A_v$  para cortante se define en términos de todas las ramas de un estribo dado, mientras que el área de refuerzo  $A_t$  para torsión se define en términos de una sola rama, la suma del área de refuerzo transversal se realiza de la siguiente manera:

$$Total \left( \frac{A_{v+t}}{s} \right) = \frac{A_v}{s} + 2 \frac{A_t}{s} \quad (R9.5.4.3)$$

Si un grupo de estribos tiene más de dos ramas para cortante, sólo las ramas adyacentes a los costados de la viga se incluyen en la suma, dado que las ramas interiores no son efectivas para torsión.

El refuerzo longitudinal requerido para torsión se suma en cada sección al refuerzo requerido para la flexión que actúa

**9.5.4.4** En vigas preesforzadas, el área total del refuerzo longitudinal,  $A_s$  y  $A_{ps}$ , en cada sección, debe ser la requerida para resistir el momento  $M_u$  en dicha sección más una fuerza concéntrica longitudinal adicional de tracción igual a  $A_t f_y$  calculada con base en el valor de  $T_u$  en esa sección.

**9.5.4.5** Se permite reducir el área de refuerzo longitudinal para torsión en la zona de compresión en una cantidad igual a  $M_u / (\phi 0.9 d f_y)$ , cuando  $M_u$  ocurre en esa sección simultáneamente con  $T_u$ , pero el área de refuerzo longitudinal no debe ser menor que el mínimo requerido por 9.6.4.

**9.5.4.6** Para secciones sólidas, con una relación de aspecto,  $h/b_t \geq 3$ , se puede utilizar otro procedimiento de diseño alternativo, siempre y cuando su bondad se haya demostrado por análisis y concordancia con resultados de ensayos de alcance apropiado. No hay necesidad de cumplir los requisitos de refuerzo mínimo de 9.6.4 pero sí se deben cumplir los requisitos de detallado de 9.7.5 y 9.7.6.3.

simultáneamente con la torsión. El refuerzo longitudinal se escoge entonces para esta suma, pero no debe ser menor que la cantidad requerida para el momento flector máximo en esa sección si éste excede el momento que actúa simultáneamente con la torsión. Si el momento flector máximo se produce en una sección, por ejemplo en el centro de la luz, mientras que la torsión máxima se produce en otra, tal como el apoyo, el acero longitudinal total requerido puede ser menor que el obtenido sumando el máximo acero por flexión más el máximo acero para torsión. En tal caso, el acero longitudinal requerido se evalúa en varias localizaciones.

**R9.5.4.4** La torsión produce una fuerza axial de tracción en el refuerzo longitudinal equilibrada por la fuerza en los puntales diagonales a compresión del concreto. En vigas no preesforzadas, la fuerza de tracción debe ser resistida por el refuerzo longitudinal que tiene una resistencia axial a tracción de  $A_t f_y$ . Este refuerzo es adicional al refuerzo por flexión requerido y se distribuye uniformemente dentro y alrededor del perímetro del refuerzo transversal cerrado de manera que la resultante  $A_t f_y$  actúe a lo largo del eje del elemento.

En una viga preesforzada, se puede seguir el mismo procedimiento (colocar barras adicionales de refuerzo con una resistencia  $A_t f_y$ ), o utilizando la sobre resistencia aportada por el acero de preesforzado para resistir parte de la fuerza axial  $A_t f_y$ . El esfuerzo en el acero preesforzado para el estado de resistencia nominal está en el intervalo entre  $f_{se}$  y  $f_{ps}$ . Una parte de la fuerza  $A_t f_y$  puede ser resistida por la fuerza  $A_{ps} \Delta f_{pt}$  en el acero de preesforzado, donde  $\Delta f_{pt}$  es la diferencia entre el esfuerzo que puede ser desarrollado en el torón en la sección bajo consideración y el esfuerzo requerido para resistir el momento de flexión en esa sección,  $M_u$ . El esfuerzo requerido para resistir el momento de flexión puede calcularse como  $M_u / (\phi 0.9 d_p A_{ps})$ . Para torones pretensados, el esfuerzo que puede ser desarrollado cerca del extremo libre del torón puede ser calculado usando el procedimiento ilustrado en la Fig. R25.4.8.3.

**R9.5.4.5** La tracción longitudinal debida a torsión se compensa en parte por la compresión en la zona de compresión por flexión, permitiendo una reducción en el acero longitudinal para torsión requerido en la zona de compresión.

**R9.5.4.6** Un ejemplo de una alternativa de diseño que cumple con 9.5.4.6 se encuentra en Zia and Hsu (2004), que ha sido extensa y exitosamente usada en el diseño de vigas dintel prefabricadas preesforzadas con  $h/b_t \geq 3$  y estribos cerrados. La séptima edición del *PCI Design Handbook* (PCI MNL-120) describe el procedimiento de Zia and Hsu (2004). Este procedimiento fue verificado experimentalmente por medio de los ensayos descritos en Klein (1986).

**9.5.4.7** Para las secciones sólidas prefabricadas con una relación de aspecto,  $h/b_f \geq 4.5$ , se puede utilizar otro procedimiento de diseño alternativo y refuerzo abierto en el alma, siempre y cuando la bondad del procedimiento y refuerzo se hayan demostrado por análisis y concordancia con resultados de ensayos experimentales de alcance apropiado. No hay necesidad de cumplir los requisitos de refuerzo mínimo de 9.6.4 ni los requisitos de detallado de 9.7.5 y 9.7.6.3.

## 9.6 — Límites del refuerzo

**9.6.1** *Refuerzo mínimo para flexión en vigas no preesforzadas*

**9.6.1.1** Se debe colocar un área mínima de refuerzo para flexión  $A_{s,min}$  en toda sección donde el análisis requiera refuerzo a tracción.

**9.6.1.2**  $A_{s,min}$  debe ser mayor que (a) y (b), excepto en lo dispuesto en 9.6.1.3. Para una viga estáticamente determinada con el ala en tracción, el valor de  $b_w$  debe tomarse como el menor entre  $b_f$  y  $2b_w$ .

$$(a) \frac{3\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$$

$$(b) \frac{200}{f_y} b_w d$$

**9.6.1.3** Si el  $A_s$  colocado en todas las secciones es como mínimo mayor en un tercio que el  $A_s$  requerido por el análisis, no es necesario cumplir con los requisitos de 9.6.1.1 y 9.6.1.2.

**9.6.2** *Refuerzo mínimo para flexión en vigas preesforzadas*

**9.6.2.1** En vigas con refuerzo preesforzado adherido, la cantidad total de  $A_s$  y  $A_{ps}$  debe ser la adecuada para resistir

**R9.5.4.7** El programa experimental descrito por Lucier et al. (2011a) demuestra que refuerzo del alma abierto apropiadamente detallado es una alternativa efectiva y segura en lugar de los estribos cerrados tradicionalmente utilizados en vigas dintel con  $h/b_f \geq 4.5$ . Lucier et al. (2011a) presentan un procedimiento de diseño que cumple con los requisitos de la presente sección para vigas dintel esbeltas y describen los límites bajo las cuales el procedimiento es aplicable.

## R9.6 — Límites del refuerzo

**R9.6.1** *Refuerzo mínimo para flexión en vigas no preesforzadas*

**R9.6.1.1** Este requisito tiene la intención de que la resistencia a flexión exceda la resistencia de fisuración con un margen apropiado. El objetivo es producir una viga que sea capaz de sostener carga después del comienzo de la fisuración por flexión, con fisuración y deflexiones visibles, de modo que adviertan de una posible sobrecarga. Las vigas con menor cuantía de refuerzo pueden sufrir fallas repentinas al comienzo de la fisuración por flexión.

En la práctica, este requisito controla solamente el diseño del refuerzo para aquellas vigas que, por razones arquitectónicas u otras, tienen sección transversal mayor a la requerida por las consideraciones de resistencia. Cuando la cuantía de refuerzo en tracción es pequeña, el momento resistente calculado como sección de concreto reforzado, usando un análisis de sección fisurada, resulta menor que el correspondiente al de una sección de concreto simple, calculada a partir de su módulo de rotura. La falla en este caso puede ocurrir con la primera fisuración y ser repentina y sin advertencia. Para evitar dicha falla, se requiere una cantidad mínima de refuerzo de tracción, tanto en las regiones de momento positivo como negativo.

**R9.6.1.2** Cuando el ala de una sección está en tracción, la cantidad de refuerzo a tracción necesaria para lograr que la resistencia de la sección de concreto reforzado sea igual a la de una sección no reforzada, es alrededor del doble de la correspondiente en una sección rectangular o de la correspondiente en una sección con alas con el ala en compresión. Una mayor cantidad de refuerzo de tracción mínima es necesaria particularmente en voladizos y otros elementos estáticamente determinados donde no exista la posibilidad de redistribuir los momentos.

**R9.6.2** *Refuerzo mínimo para flexión en vigas preesforzadas*

**R9.6.2.1** Por razones similares, se requiere una cantidad mínima de refuerzo para flexión como en vigas no

una carga mayorada por lo menos 1.2 veces la carga de fisuración, calculada con el  $f_r$  definido en 19.2.3.

**9.6.2.2** En vigas con resistencia de diseño tanto a flexión como a cortante de al menos el doble de la resistencia requerida, se permite omitir el cumplimiento de 9.6.2.1.

**9.6.2.3** En vigas con tendones no adheridos, el área mínima de refuerzo longitudinal corrugado adherido  $A_{s,min}$  debe ser:

$$A_{s,min} = 0.004 A_{ct} \quad (9.6.2.3)$$

donde  $A_{ct}$  es el área de la porción de la sección transversal localizada entre la cara de tracción en flexión y el centroide de la sección bruta.

### 9.6.3 Refuerzo mínimo a cortante

**9.6.3.1** Debe colocarse un área mínima de refuerzo para cortante,  $A_{v,min}$ , en todas las secciones donde  $V_u > 0.5\phi V_c$  excepto en los casos dados en la Tabla 9.6.3.1. Para estos casos se debe proporcionar al menos  $A_{v,min}$  cuando  $V_u > \phi V_c$ .

**Tabla 9.6.3.1 — Casos donde no se requiere  $A_{v,min}$  si  $0.5\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$**

Tipo de viga	Condiciones
De poca altura	$h \leq 10$ pulg.
Integrales con la losa	$h \leq$ que el mayor de $2.5t_f$ ó $0.5b_w$
	y $h \leq 24$ pulg.
Construidas con concreto de peso normal reforzado con fibras de acero, de acuerdo con 26.4.1.5.1(a), 26.4.2.2(d) y 26.12.5.1(a) y con $f'_c \leq 6000$ lb./pulg. <sup>2</sup>	$h \leq 24$ pulg.
	y $V_u \leq \phi 2\sqrt{f'_c} b_w d$
Viguetas en una dirección	De acuerdo con 9.8

preesforzadas, tal como se discute en R9.6.1.1.

La falla abrupta a flexión que se produce inmediatamente después de la fisuración no ocurre cuando el acero de preesfuerzo no está adherido (ACI 423R); por lo tanto, este requisito no se aplica a los elementos con tendones no adheridos.

**R9.6.2.3** El Reglamento requiere un refuerzo corrugado adherido mínimo en vigas preesforzadas con tendones no adheridos para garantizar un comportamiento a flexión al nivel de resistencia última de la viga a diferencia de un comportamiento como arco atirantado, y para limitar el ancho y separación de las fisuras al nivel de cargas de servicio cuando los esfuerzos de tracción en el concreto exceden el módulo de ruptura. La colocación de un refuerzo adherido mínimo ayuda a garantizar un comportamiento apropiado en todas las etapas de carga. La cantidad mínima de refuerzo adherido se basa en investigaciones donde se comparó el comportamiento de vigas postensadas con refuerzo adherido y no adherido (Mattock et al. 1971). El área de refuerzo adherido mínimo requerido por la ecuación (9.6.2.3) es independiente del  $f_y$  del refuerzo.

### R9.6.3 Refuerzo mínimo a cortante

**R9.6.3.1** El refuerzo a cortante restringe el crecimiento de fisuras inclinadas y, por consiguiente, aumenta la ductilidad de la viga y advierte sobre peligro de falla. Por el contrario, en un alma sin refuerzo, la formación de la fisuración inclinado puede conducir directamente a una falla sin advertencia. Este refuerzo es muy importante si un elemento es sometido a una fuerza de tracción imprevista o a una sobrecarga. Por lo tanto, se requiere un área mínima de refuerzo a cortante no menor que la especificada por la Tabla 9.6.3.3 siempre que  $V_u$  sea mayor que  $0.5\phi V_c$  o mayor que  $\phi V_c$  para los casos señalados en la Tabla 9.6.3.1.

Investigaciones (Angelakos et al. 2001, Lubell et al. 2004, Brown et al. 2006, Becker and Buettner 1985, Anderson 1978) han demostrado que vigas de gran altura con poco refuerzo, en especial las construidas con concreto de alta resistencia o con concreto con agregado grueso de tamaño pequeño, pueden fallar a cortante menores del  $V_c$  calculado por medio de 22.5.5. Vigas sometidas a cargas concentradas son más susceptibles de exhibir esta vulnerabilidad. Por esta razón, la exclusión para cierto tipo de vigas en la Tabla 9.6.3.1 está restringida para casos en que  $h$  no excede 24 pulg. Para vigas con  $f'_c$  mayor de 7000 lb./pulg.<sup>2</sup>, se deben considerar el uso de refuerzo mínimo a cortante cuando  $h$  es mayor de 18 pulg. y  $V_u$  es mayor de  $0.5\phi V_c$ .

La excepción para vigas construidas usando concreto reforzado con fibras de acero intenta dar una alternativa de diseño para el refuerzo a cortante, como se define en 22.5.10.5, para vigas con refuerzo longitudinal a flexión en

las cuales  $V_u$  no excede de  $\phi 2\sqrt{f'_c}b_wd$ . El Capítulo 26 da información y requisitos de diseño que deben incluirse en los documentos de construcción cuando el concreto reforzado con fibras es utilizado para este propósito. Vigas de concreto reforzado con fibras de acero con ganchos o plegadas en las cantidades requeridas en 26.4.2.2(d), han sido demostradas a través de ensayos de laboratorio tener una resistencia a cortante mayor que  $3.5\sqrt{f'_c}b_wd$  (Parra-Montesinos 2006). No existen datos para el uso de fibras de acero como refuerzo a cortante en elementos de concreto expuestos a cloruros provenientes de sales descongelantes, sal, agua salada, agua de mar o salpicaduras de esas fuentes. Por lo tanto, cuando se usen fibras de acero como refuerzo a cortante en ambientes corrosivos, debe considerarse protección contra la corrosión.

Las viguetas están excluidas de los requisitos mínimos para el refuerzo a cortante cuando  $0.5\phi V_c < V_u \leq V_c$  porque existe la posibilidad de que la carga sea compartida entre las zonas débiles y fuertes.

Aun cuando  $V_u$  sea menor que  $0.5\phi V_c$ , es recomendable el empleo de algún refuerzo del alma en toda alma delgada de elementos postensados tales como viguetas, losas reticulares, vigas y vigas T, como refuerzo contra fuerzas de tracción en el alma resultantes de desviaciones locales en el perfil de diseño del tendón y como soporte para mantener los tendones dentro del perfil de diseño durante la construcción. Cuando no se proporcionan suficientes soportes, pueden resultar desviaciones locales respecto al perfil uniforme parabólico del tendón supuesto en el diseño durante la colocación del concreto. En estos casos, las desviaciones de los tendones tienden a enderezarse cuando se tensionan. Este proceso puede imponer grandes esfuerzos de tracción en el alma y puede desarrollarse fisuración severa cuando no se proporciona refuerzo en el alma. Las curvaturas no intencionales de los tendones, y los esfuerzos de tracción resultantes en el alma, pueden minimizarse amarrando firmemente los tendones a los estribos que estén rígidamente sostenidos en su sitio por otros elementos del refuerzo. El espaciamiento máximo de los estribos utilizados para este fin no debe exceder de  $1.5h$  ó 4 pies, lo que sea menor. Cuando apliquen, los requisitos del refuerzo para cortante de 9.6.3 y 9.7.6.2 requirieren espaciamientos menores de los estribos.

Para cargas repetitivas en vigas, la posibilidad de que se formen fisuras inclinadas debidas a la tracción diagonal bajo esfuerzos mucho menores que bajo cargas estáticas debe tenerse en cuenta en el diseño. En estos casos, es prudente utilizar por lo menos el refuerzo mínimo para cortante dado por 9.6.3.3, aún en el caso en que los ensayos y cálculos basados en cargas estáticas muestren que no se requiere refuerzo para cortante.

**9.6.3.2** Se permite ignorar 9.6.3.1 si se demuestra por medio de ensayos que  $M_n$  y  $V_n$  requeridos pueden desarrollarse. Dichos ensayos deben simular efectos de asentamientos diferenciales, flujo plástico, retracción, y variación de temperatura, con base en una evaluación realista de la ocurrencia de dichos efectos en condiciones de servicio.

**R9.6.3.2** Cuando se ensaya una viga para demostrar que sus resistencias a cortante y flexión son adecuadas, se conocen las verdaderas dimensiones de la viga y las resistencias de los materiales. Por lo tanto, las resistencias de ensayo se consideran las resistencias nominales  $V_n$  y  $M_n$ . Considerando estas resistencias como nominales asegura que si las resistencias reales de los materiales son menores que las

especificadas, o que si las dimensiones del elemento son erradas, de manera que conduzcan a una reducción de resistencia, se mantiene un margen satisfactorio de seguridad debido al factor de reducción de resistencia,  $\phi$ .

**9.6.3.3** Cuando se requiera refuerzo para cortante y 9.5.4.1 permita que los efectos de torsión sean despreciados,  $A_{v,min}$  debe cumplir con la Tabla 9.6.3.3.

**Tabla 9.6.3.3 —  $A_{v,min}$  requerido**

Tipo de viga	$A_{v,min}/s$			
No preesforzadas y preesforzadas con $A_{ps}f_{se} <$ $0.4(A_{ps}f_{pu} + A_s f_y)$	El mayor de:	$0.75\sqrt{f'_c} \frac{b_w}{f_{yt}}$	(a)	
		$50 \frac{b_w}{f_{yt}}$	(b)	
Preesforzadas con $A_{ps}f_{se} \geq$ $0.4(A_{ps}f_{pu} + A_s f_y)$	El menor de:	El mayor de:	$0.75\sqrt{f'_c} \frac{b_w}{f_{yt}}$	(c)
			$50 \frac{b_w}{f_{yt}}$	(d)
		$\frac{A_{ps}f_{pu}}{80f_{yt}d} \sqrt{\frac{d}{b_w}}$	(e)	

#### 9.6.4 Refuerzo mínimo para torsión

**9.6.4.1** Debe colocarse un área mínima de refuerzo para torsión en todas las secciones donde  $T_u \geq \phi T_{th}$  de acuerdo con 22.7.

**9.6.4.2** Cuando se requiere refuerzo a torsión, el refuerzo transversal mínimo  $(A_v + 2A_t)_{min}/s$  debe ser el mayor de (a) y (b).

$$(a) 0.75\sqrt{f'_c} \frac{b_w}{f_{yt}}$$

$$(b) 50 \frac{b_w}{f_{yt}}$$

**9.6.4.3** Cuando se requiere refuerzo a torsión, el refuerzo longitudinal mínimo  $A_{l,min}$  debe ser el menor entre (a) y (b).

$$(a) \frac{5\sqrt{f'_c} A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) p_h \frac{f_{yt}}{f_y}$$

**R9.6.3.3** Ensayos (Roller and Russell 1990) han indicado la necesidad de incrementar el área mínima de refuerzo a cortante en la medida que la resistencia del concreto aumenta para evitar las fallas repentinas de cortante cuando se producen fisuras inclinadas. Por lo tanto, las expresiones (a) y (c) de la Tabla 9.6.3.3 llevan a un incremento gradual del área mínima del refuerzo transversal en la medida que la resistencia del concreto aumenta. Las expresiones (b) y (d) de la Tabla 9.6.3.3 llevan a un área mínima de refuerzo transversal independiente de la resistencia del concreto y controlan para resistencias del concreto menores a 4400 lb./pulg.<sup>2</sup>.

Ensayos (Olesen et al. 1967) de vigas preesforzadas con un refuerzo mínimo en el alma basado en 9.6.3.3 han indicado que la menor área  $A_v$  de las obtenidas por medio de las expresiones (c) y (e) es suficiente para desarrollar un comportamiento dúctil. La ecuación (e) se discute en (Olesen et al. 1967).

#### R9.6.4 Refuerzo mínimo para torsión

**R9.6.4.2** Deben notarse las diferencias en la definición de  $A_v$  y  $A_t$ .  $A_v$  es el área de dos ramas de un estribo cerrado mientras que  $A_t$  es el área de una sola rama de un estribo cerrado. Cuando un grupo de estribos tiene más de dos ramas, sólo se consideran las ramas adyacentes a los lados de la viga, como se discute en R9.5.4.3.

Ensayos (Roller and Russell 1990) de vigas de concreto de alta resistencia indican la necesidad de incrementar el área mínima de refuerzo para cortante con el fin de evitar fallas a cortante cuando se presenta fisuración inclinada. Aunque existe un número limitado de ensayos de vigas con concreto de alta resistencia sometidas a torsión, la ecuación para el área mínima de estribos cerrados transversales se ha hecho congruente con los cálculos requeridos para el refuerzo mínimo para cortante.

**R9.6.4.3** En vigas sometidas a cortante y torsión combinados, el momento de fisuración torsional decrece con el cortante aplicado, lo que lleva a una reducción en el refuerzo a torsión requerido para prevenir una falla frágil inmediatamente después de la fisuración. Vigas de concreto reforzado ensayadas a torsión pura con refuerzo para torsión menor de uno por ciento en volumen de fallaron cuando se presentó la primera fisuración torsional (MacGregor and Ghoneim 1995). La ecuación 9.6.4.3(a) se basa en una relación 2:1 entre el esfuerzo a torsión y el esfuerzo a

$$(b) \frac{5\sqrt{f'_c} A_{cp}}{f_y} - \left( \frac{25b_w}{f_{yt}} \right) p_h \frac{f_{yt}}{f_y}$$

## 9.7 — Detallado del refuerzo

### 9.7.1 Generalidades

9.7.1.1 El recubrimiento de concreto del refuerzo debe cumplir con 20.6.1.

9.7.1.2 Las longitudes de desarrollo del refuerzo corrugado y preesforzado deben calcularse de acuerdo con 25.4.

9.7.1.3 Los empalmes del refuerzo corrugado deben cumplir con 25.5.

9.7.1.4 Los paquetes de barras deben cumplir con 25.6.

### 9.7.2 Espaciamiento del refuerzo

9.7.2.1 El espaciamiento mínimo  $s$  debe cumplir con 25.2.

9.7.2.2 En vigas no preesforzadas y en vigas preesforzadas Clase C, el espaciamiento del refuerzo longitudinal adherido más cercano a la cara en tracción no debe ser mayor a  $s$  requerido en 24.3.

9.7.2.3 En vigas no preesforzadas y en vigas preesforzadas Clase C, con  $h$  mayor de 36 pulg., debe colocarse refuerzo superficial longitudinal uniformemente distribuido en ambas caras laterales de la viga dentro de una distancia  $h/2$  medida desde la cara en tracción. El espaciamiento del refuerzo superficial no debe ser mayor a  $s$  indicado en 24.3.2, donde  $c_c$  es el recubrimiento libre medido desde la superficie del refuerzo superficial a la cara lateral. Se puede incluir el refuerzo superficial en el cálculo de la resistencia únicamente si se hace un análisis de compatibilidad de deformaciones.

cortante, lo cual conduce a una relación volumétrica de aproximadamente 0.5 por ciento (Hsu 1968). Ensayos de vigas de concreto preesforzado demostraron que se requiere una cantidad similar de refuerzo longitudinal.

## R9.7 — Detallado del refuerzo

### R9.7.2 Espaciamiento del refuerzo

R9.7.2.3 En vigas relativamente altas debe colocarse algún refuerzo longitudinal cerca de las caras verticales en la zona de tracción con el fin de controlar la fisuración en el alma (Frantz and Breen 1980, Frosch 2002) como se aprecia en la Fig. R9.7.2.3. Si no se coloca este acero auxiliar, el ancho de las fisuras en el alma puede exceder el ancho de las fisuras al nivel del refuerzo de tracción por flexión.

No se especifica el diámetro del refuerzo superficial; investigaciones han indicado que el espaciamiento, más que el tamaño de las barras, es de primordial importancia (Frosch 2002). Típicamente se colocan barras desde No. 3 hasta No. 5, o refuerzo electrosoldado de alambre con un área mínima de 0.1 pulg.<sup>2</sup> por pie de altura.

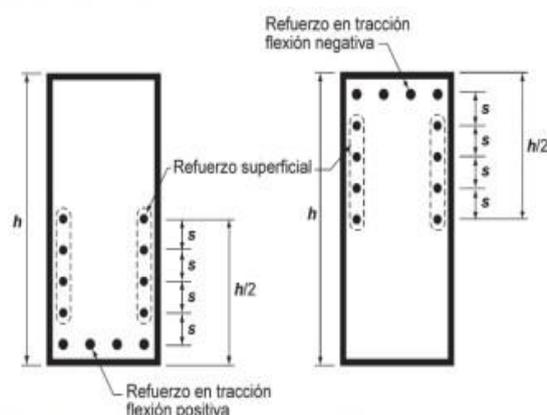


Fig. R9.7.2.3 — Refuerzo superficial para vigas y viguetas con  $h > 36$  pulg.

### 9.7.3 Refuerzo a flexión en vigas no preesforzadas

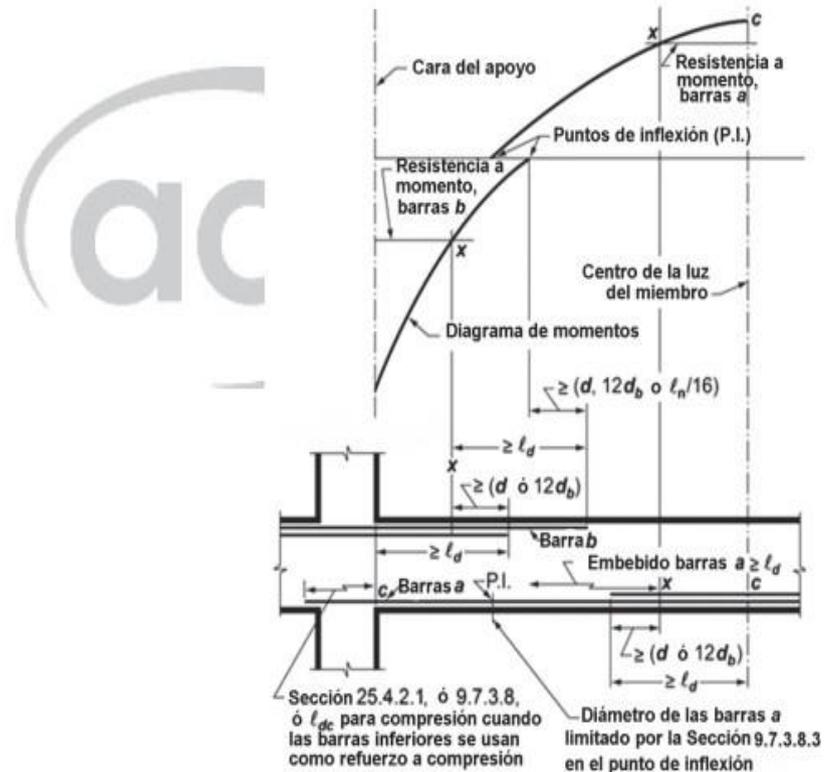
**9.7.3.1** La fuerza a tracción o compresión calculada en el refuerzo en cada sección de la viga debe ser desarrollada hacia cada lado de dicha sección.

**9.7.3.2** Las secciones críticas para el desarrollo del refuerzo son los puntos donde se presentan esfuerzos máximos y los puntos dentro del vano donde el refuerzo a tracción doblado o terminado ya no es necesario para resistir flexión.

### R9.7.3 Refuerzo a flexión en vigas no preesforzadas

**R9.7.3.2** En los Reglamentos anteriores a 2014, una de las secciones críticas se definía como donde termina o se dobla el refuerzo adyacente. En el Reglamento de 2014, esta sección crítica se redefinió como “donde el refuerzo a tracción doblado o terminado ya no es necesario para resistir flexión”.

En la Figura R9.7.3.2, las secciones críticas para una viga continua típica se indican con una “c” en los puntos de esfuerzo máximo o una “x” donde el refuerzo a tracción doblado o terminado ya no es necesario para resistir flexión. Para carga uniforme, el refuerzo positivo que se extiende dentro del apoyo es probable que esté controlado por los requisitos de 9.7.3.8.1 ó 9.7.3.8.3 y no por consideraciones de longitud de desarrollo medida a partir del punto de momento máximo o del punto de terminación de las barras.



**Fig. R9.7.3.2** — Longitud de desarrollo del refuerzo por flexión en una viga continua típica.

**9.7.3.3** El refuerzo se debe extender más allá del punto en el que ya no es necesario para resistir flexión, en una distancia igual al mayor entre  $d$  y  $12d_b$ , excepto en los apoyos de vigas simplemente apoyadas y en el extremo libre de voladizos.

**R9.7.3.3** Los diagramas de momento que generalmente se utilizan en diseño son aproximados; pueden producirse algunas desviaciones en la ubicación de los momentos máximos debido a cambios en las cargas, asentamientos de los apoyos, cargas laterales u otras causas. Una fisura de tracción diagonal en un elemento a flexión sin estribos puede cambiar la ubicación del esfuerzo de tracción calculado ,

**9.7.3.4** El refuerzo continuo en tracción por flexión debe tener una longitud embebida no menor que  $\ell_d$  más allá del punto en donde el refuerzo doblado o terminado ya no se requiere para resistir la flexión.

**9.7.3.5** El refuerzo en tracción por flexión no debe terminarse en una zona de tracción, a menos que se cumpla (a), (b) o (c).

- (a)  $V_u \leq (2/3)\phi V_n$  en el punto de terminación;
- (b) Para barras No. 11 y menores, cuando el refuerzo que continúa proporciona el doble del área requerida por flexión en el punto de terminación y  $V_u \leq (3/4)\phi V_n$ ;
- (c) Se proporciona un área de estribos o estribos cerrados de confinamiento que excede lo requerido para cortante y torsión a lo largo de cada barra o alambre que termina por una distancia medida a partir del punto de terminación del refuerzo igual a  $(3/4)d$ . El área de estribos en exceso no debe ser menor que  $60b_w s / f_{yt}$ . El espaciamiento  $s$  no debe exceder  $d / (8\beta_b)$ .

**9.7.3.6** Se debe proporcionar un anclaje adecuado para el refuerzo en tracción en donde el esfuerzo en el refuerzo no es directamente proporcional al momento, como ocurre en vigas inclinadas, escalonadas o de sección variable, o en elementos en los cuales el refuerzo de tracción no es paralelo a la cara de compresión.

**9.7.3.7** Se permite desarrollar el refuerzo a tracción doblándolo dentro del alma para anclarlo o hacerlo continuo con el refuerzo de la cara opuesta de la viga.

aproximadamente una distancia  $d$ , hacia un punto de momento igual a cero. Cuando se colocan estribos, este efecto es menos severo, aunque en cierta medida sigue estando presente.

Para tener en cuenta las variaciones en la localización de los momentos máximos, el Reglamento requiere la extensión del refuerzo por una distancia  $d$  ó  $12d_b$  más allá del punto donde se calcula que ya no se requiere para resistir la flexión, excepto en los casos mencionados. En la Figura R9.7.3.2 se ilustran los puntos de terminación de las barras para cumplir con este requisito. Cuando se usan barras de diferentes diámetros, la prolongación debe hacerse de acuerdo con el diámetro de la barra que se esté terminando.

**R9.7.3.4** Donde se terminan barras adyacentes en zonas en tracción se presentan picos en los esfuerzos en las barras restantes. En la Figura R9.7.3.2 se usa la letra "x" para indicar los puntos donde el refuerzo a tracción terminado ya no es necesario para resistir flexión. Si las barras fueran terminadas en esta ubicación (la ubicación requerida de la terminación está más allá de este punto, según 9.7.3.3), estos esfuerzos máximos en las barras continuas alcanzarían  $f_y$  en el punto "x", lo cual requiere una prolongación  $\ell_d$  completa como se indica.

**R9.7.3.5** Se han reportado evidencias de reducción de la resistencia a cortante y de pérdida de ductilidad cuando se terminan las barras en una zona en tracción, como se muestra en la Figura R9.7.3.2. Como resultado, el Reglamento no permite que el refuerzo por flexión termine en zonas de tracción, a menos que se cumplan ciertas condiciones adicionales. En zonas de tracción, las fisuras por flexión tienden a abrirse a niveles bajos de carga donde se termina cualquier refuerzo. Si el esfuerzo en el refuerzo que continúa y la resistencia al cortante se aproximan ambos a sus valores límites, las fisuras de tracción diagonal tienden a desarrollarse prematuramente a partir de fisuras de flexión. Es poco probable que las fisuras diagonales se formen en donde el esfuerzo a cortante es bajo (véase 9.7.3.5(a)) o donde el esfuerzo del refuerzo a flexión es bajo (9.7.3.5(b)). Las fisuras diagonales se pueden restringir disminuyendo la separación de los estribos (9.7.3.5(c)). Estos requisitos no se aplican a empalmes a tracción, los cuales están cubiertos por 25.5.

**R9.7.3.7** Una barra doblada hacia la cara opuesta de la viga para hacerla continua debe ser considerada como efectiva para cumplir con 9.7.3.3 en el punto donde la barra cruza la media altura del elemento.

### 9.7.3.8 Terminación del refuerzo

**9.7.3.8.1** En los apoyos simples, por lo menos un tercio del refuerzo máximo para momento positivo se debe prolongar a lo largo de la cara inferior de la viga dentro del apoyo por lo menos 6 pulg., excepto en vigas prefabricadas, en las cuales este refuerzo debe extenderse al menos hasta el centro de la longitud del apoyo.

**9.7.3.8.2** En otros apoyos, por lo menos un cuarto del refuerzo máximo para momento positivo se debe prolongar a lo largo de la cara inferior de la viga por lo menos 6 pulg. dentro del apoyo, y si la viga hace parte del sistema principal de resistencia ante cargas laterales, debe anclarse para desarrollar  $f_y$  en la cara del apoyo.

**9.7.3.8.3** En los apoyos simples y en los puntos de inflexión,  $d_b$  para el refuerzo en tracción que resiste momento positivo debe limitarse de manera que  $\ell_d$  para ese refuerzo cumpla con (a) o (b). Cuando el refuerzo termina más allá del centro del apoyo con un gancho estándar o en un anclaje mecánico equivalente al menos a un gancho estándar, no es necesario cumplir con (a) o (b).

- (a)  $\ell_d \leq (1.3M_n/V_u + \ell_a)$  cuando los extremos del refuerzo estén confinados por una reacción de compresión.
- (b)  $\ell_d \leq (M_n/V_u + \ell_a)$  cuando los extremos del refuerzo no estén confinados por una reacción de compresión.

$M_n$  se calcula suponiendo que todo el refuerzo de la sección está sometido a  $f_y$  y  $V_u$  se calcula en la sección. En el apoyo,  $\ell_a$  es la longitud embebida más allá del centro del apoyo. En el punto de inflexión,  $\ell_a$  es la longitud embebida más allá del punto de inflexión y está limitada al mayor valor entre  $d$  y  $12d_b$ .

### R9.7.3.8 Terminación del refuerzo

**R9.7.3.8.1** Se requiere que el refuerzo para momento positivo se prolongue dentro del apoyo, con el fin de tener en cuenta cambios en los momentos debido a variaciones en la carga, asentamiento de los apoyos y cargas laterales. Esto también aumenta la integridad estructural.

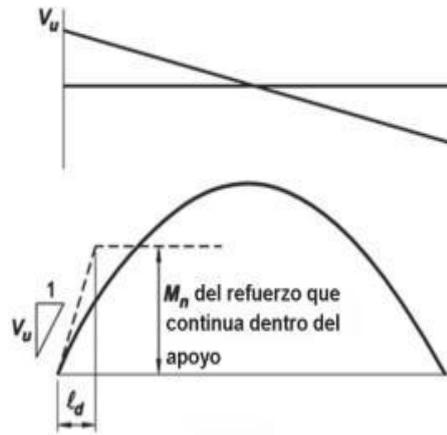
Para vigas prefabricadas, se deben considerar las tolerancias y el recubrimiento del refuerzo para evitar apoyarlas sobre concreto simple donde el refuerzo se ha discontinuado.

**R9.7.3.8.2** Para vigas que sean parte del sistema de resistencia antes cargas laterales, se requiere el desarrollo del refuerzo para momento positivo para dar ductilidad en el caso de una reversión de momentos.

**R9.7.3.8.3** El diámetro del refuerzo de momento positivo se debe limitar para asegurar que las barras se desarrollen en una distancia lo suficientemente corta de modo que la capacidad del momento positivo sea mayor que el momento aplicado en toda la longitud de la viga. Como se aprecia en la Fig. R9.7.3.8.3(a), la pendiente del diagrama del momento es  $V_u$  mientras que la pendiente de desarrollo del momento es  $M_n/\ell_d$ , donde  $M_n$  es la resistencia nominal a flexión de la sección transversal. Al dimensionar el refuerzo de modo que la pendiente de capacidad  $M_n/\ell_d$  iguale o exceda la pendiente de demanda,  $V_u$ , se proporciona el desarrollo adecuado. Por lo tanto,  $M_n/V_u$  representa la longitud de desarrollo disponible. En condiciones de apoyo favorables, se permite un 30 por ciento de aumento para  $M_n/V_u$  cuando los extremos del refuerzo estén confinados por una reacción de compresión.

La aplicación de este requisito se encuentra ilustrada en la Fig. R9.7.3.8.3(b) para apoyos simples y en la Figura R9.7.3.8.3(c) para los puntos de inflexión. Por ejemplo, en el apoyo simple de una viga, el diámetro de la barra que se coloque será satisfactorio si  $\ell_d$ , calculado de acuerdo con 25.4.2, no excede  $1.3M_n/V_u + \ell_a$ .

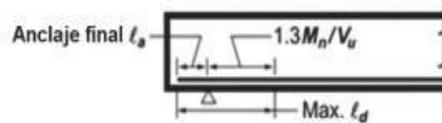
El valor de  $\ell_a$  que debe usarse en los puntos de inflexión está limitado por la altura efectiva del elemento  $d$ , o a 12 diámetros de la barra ( $12d_b$ ), el que sea mayor. La limitación  $\ell_a$  se incluye porque no existen datos de ensayos que demuestren que una longitud larga de anclaje en el extremo sea completamente efectiva para desarrollar una barra donde hay una distancia corta entre un punto de inflexión y un punto de esfuerzo máximo.



Pendiente de capacidad  $\left(\frac{M_n}{\ell_d}\right) \geq$  Pendiente demanda ( $V_u$ )

$$\ell_d \leq \frac{M_n}{V_u}$$

(a) Diagrama de  $M_n$  positivo



Nota: El factor 1.3 solo es aplicable si la reacción confina los extremos del refuerzo

(b)  $\ell_d$  máximo en un apoyo simple

Máxima longitud de embebido efectivo limitada a  $d$  ó  $12d_b$  para  $\ell_a$



(c)  $\ell_d$  máximo para barras "a" en el punto de inflexión

Fig. R9.7.3.8.3 — Criterio para determinar el diámetro máximo de la barra de acuerdo con 9.7.3.8.3.

9.7.3.8.4 Por lo menos un tercio del refuerzo para resistir momento negativo en el apoyo debe tener una longitud embebida más allá del punto de inflexión de al menos el mayor de  $d$ ,  $12d_b$ , y  $\ell_a/16$ .

#### 9.7.4 Refuerzo a flexión en vigas preesforzadas

**9.7.4.1** Los tendones externos deben conectarse al elemento de concreto de manera tal que se mantenga la excentricidad especificada entre los tendones y el centroide del concreto para todo el rango de deflexiones previstas del elemento.

**9.7.4.2** Cuando se coloca refuerzo no preesforzado para cumplir con requisitos de resistencia a flexión, se deben cumplir los requisitos de 9.7.3.

#### 9.7.4.3 Terminación del refuerzo preesforzado

**9.7.4.3.1** Las zonas de anclajes postensados se deben diseñar y detallar según 25.9.

**9.7.4.3.2** Los anclajes y conectores de postensado se deben diseñar y detallar de acuerdo con 25.8.

**9.7.4.4 Terminación del refuerzo corrugado en vigas con tendones no adheridos**

**9.7.4.4.1** La longitud del refuerzo corrugado requerido en 9.6.2.3 debe cumplir con (a) y (b).

(a) En regiones de momento positivo, la longitud del refuerzo debe ser al menos  $\ell_n/3$  y estar centrada en esa zona.

(b) En regiones de momento negativo, el refuerzo debe prolongarse al menos  $\ell_n/6$  a cada lado de la cara de apoyo.

#### 9.7.5 Refuerzo longitudinal a torsión

**9.7.5.1** Cuando se requiera refuerzo por torsión, el refuerzo longitudinal para torsión debe estar distribuido a lo largo del perímetro de estribos cerrados que cumplan con 25.7.1.6, o estribos cerrados de confinamiento con un espaciamiento máximo de 12 pulg. El refuerzo longitudinal debe estar dentro de los estribos o estribos cerrados de confinamiento y debe colocarse al menos una barra longitudinal o tendón en cada esquina.

**9.7.5.2** Las barras longitudinales para torsión deben tener un diámetro de al menos 0.042 veces el espaciamiento del refuerzo transversal, pero no menos de 3/8 pulg.

#### R9.7.4 Refuerzo a flexión en vigas preesforzadas

**R9.7.4.1** Los tendones externos son a menudo acoplados al elemento de concreto en varios puntos entre los anclajes, tales como a media luz, o a los cuartos o los tercios de ésta, para lograr efectos de balanceo de cargas, alineamiento de tendones o para solucionar problemas de vibración de los tendones. Debe prestarse atención a los efectos causados por el cambio en el trazado del tendón en relación con el centroide del concreto a medida que el elemento se deforma bajo los efectos del postensado y de las cargas aplicadas.

**R9.7.4.2** El refuerzo no preesforzado debe estar convenientemente anclado para que desarrolle las fuerzas de la carga mayoradas. Los requisitos de 9.7.3 garantizan que el refuerzo adherido que se requiere para la resistencia a flexión bajo cargas mayoradas esté anclado de manera adecuada para desarrollar las fuerzas de tracción o de compresión.

**R9.7.4.4 Terminación del refuerzo corrugado en vigas con tendones no adheridos**

**R9.7.4.4.1** Se aplican las longitudes mínimas para el refuerzo adherido requeridas en 9.6.2.3. Investigaciones (Odello and Mehta 1967) sobre vanos continuos demuestran que estas longitudes mínimas proporcionan un comportamiento adecuado bajo cargas de servicio y cargas mayoradas.

#### R9.7.5 Refuerzo longitudinal a torsión

**R9.7.5.1** El refuerzo longitudinal es necesario para resistir la suma de las fuerzas de tracción longitudinales debidas a la torsión. Dado que la fuerza actúa a lo largo del eje centroidal de la sección, el centroide del refuerzo longitudinal adicional para torsión debe coincidir aproximadamente con el centroide de la sección. El Reglamento logra esto al requerir que el refuerzo longitudinal para torsión sea distribuido alrededor del perímetro de los estribos cerrados. Se requieren barras longitudinales o tendones en cada esquina del estribo para proporcionar anclaje a las ramas del estribo. Se ha encontrado que las barras en las esquinas son muy efectivas para desarrollar la resistencia torsional y controlar las fisuras.

**9.7.5.3** El refuerzo longitudinal para torsión debe extenderse en una distancia de al menos  $(b_t + d)$  más allá del punto en que se requiera por análisis.

**R9.7.5.3** La distancia  $(b_t + d)$ , más allá del punto requerido teóricamente para el refuerzo torsional, es mayor que la usada para el refuerzo de cortante y flexión debido a que las fisuras por tracción diagonal debidas a la torsión se desarrollan en un patrón helicoidal. La misma distancia se requiere en 9.7.6.3.2 para el refuerzo transversal para torsión.

**9.7.5.4** El refuerzo longitudinal para torsión se debe desarrollar en la cara del apoyo de ambos extremos de la viga.

**R9.7.5.4** El refuerzo longitudinal de torsión requerido en el apoyo debe anclarse adecuadamente dentro de él. Se debe disponer suficiente longitud de embebido por fuera de la cara interna del apoyo para desarrollar la fuerza de tracción de las barras o tendones. Para barras, esto puede requerir el uso de ganchos o barras en forma de U traslapadas con el refuerzo horizontal de torsión.

**9.7.6 Refuerzo transversal**

**R9.7.6 Refuerzo transversal**

**9.7.6.1 Generalidades**

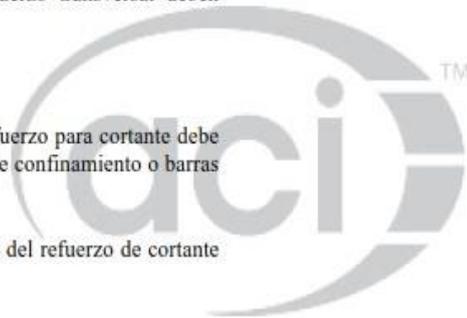
**9.7.6.1.1** El refuerzo transversal debe colocarse de acuerdo con esta sección. Debe cumplirse con el requisito más restrictivo.

**9.7.6.1.2** Los detalles para el refuerzo transversal deben cumplir con 25.7.

**9.7.6.2 Cortante**

**9.7.6.2.1** Cuando se requiera, el refuerzo para cortante debe consistir en estribos, estribos cerrados de confinamiento o barras longitudinales dobladas.

**9.7.6.2.2** El espaciamiento máximo del refuerzo de cortante debe cumplir con la Tabla 9.7.6.2.2.



**Tabla 9.7.6.2.2 — Espaciamiento máximo para el refuerzo de cortante**

$V_s$		$s$ máximo, pulg.	
		Viga no preesforzada	Viga preesforzada
$\leq 4\sqrt{f_c}b_wd$	El menor de:	$d/2$	$3h/4$
		24	
$> 4\sqrt{f_c}b_wd$	El menor de:	$d/4$	$3h/8$
		12	

**9.7.6.2.3** Tanto los estribos inclinados como el refuerzo longitudinal doblado para actuar como refuerzo de cortante deben estar espaciados de manera tal que cada línea a 45° que se extienda  $d/2$  hacia la reacción desde la mitad de la altura del elemento, hasta el refuerzo longitudinal de tracción, debe estar cruzada por lo menos por una línea de refuerzo de cortante.

**9.7.6.2.4** Las barras longitudinales dobladas para trabajar como refuerzo de cortante, si se extienden dentro de una zona de tracción, deben ser continuas con el refuerzo longitudinal, y si se extienden dentro de una zona de compresión, deben anclarse  $d/2$  más allá de la mitad de la altura del elemento.

### 9.7.6.3 Torsión

**9.7.6.3.1** Cuando se requiera, el refuerzo transversal para torsión debe consistir en estribos cerrados que cumplan con 25.7.1.6, o estribos cerrados de confinamiento.

**9.7.6.3.2** El refuerzo transversal para torsión debe disponerse por una distancia de al menos  $(b_t + d)$  más allá del punto en que se requiera por análisis.

**9.7.6.3.3** El espaciamiento del refuerzo transversal para torsión no debe exceder el menor valor entre  $p_h/8$  y 12 pulg.

**9.7.6.3.4** En secciones huecas, la distancia desde el eje del refuerzo transversal para torsión hasta la cara interior de la pared de la sección hueca debe ser al menos de  $0.5A_{oh}/p_h$ .

### 9.7.6.4 Soporte lateral del refuerzo para compresión

**9.7.6.4.1** Debe colocarse refuerzo transversal a lo largo de toda la distancia donde se requiera refuerzo longitudinal a compresión. Se debe proporcionar soporte lateral al refuerzo longitudinal a compresión mediante el uso de estribos cerrados o estribos cerrados de confinamiento de acuerdo con 9.7.6.4.2 hasta 9.7.6.4.4.

**9.7.6.4.2** El diámetro del refuerzo transversal debe ser al menos (a) o (b). Se permite el uso de alambre o refuerzo electrosoldado de alambre con un área equivalente.

- (a) Barras No. 3 para barras longitudinales No. 10 o menores
- (b) Barras No. 4 para barras longitudinales No. 11 y mayores y para paquetes de barras longitudinales.

**9.7.6.4.3** El espaciamiento del refuerzo transversal no debe exceder al menor de (a) hasta (c):

- (a)  $16d_b$  de barra longitudinal

### R9.7.6.3 Torsión

**R9.7.6.3.1** Se requieren estribos cerrados debido a que la fisuración inclinada causada por torsión puede producirse en todas las caras del miembro.

En el caso de secciones sometidas primordialmente a torsión, el recubrimiento de concreto sobre los estribos se descascara con torques altos (Mitchell and Collins 1976). Esto vuelve a los estribos empalmados por traslapeo inefectivos, conduciendo a una falla prematura por torsión (Behera and Rajagopalan 1969). Por lo tanto, no deben usarse estribos cerrados hechos con un par de estribos en U empalmados por traslapeo entre sí.

**R9.7.6.3.2** La distancia  $(b_t + d)$ , más allá del punto requerido para el refuerzo torsional, es mayor que la usada para el refuerzo de cortante y flexión debido a que las fisuras por tracción diagonal debidas a la torsión se desarrollan en un patrón helicoidal. En 9.7.5.3 se requiere la misma distancia para el refuerzo longitudinal de torsión.

**R9.7.6.3.3** El espaciamiento de los estribos transversales para torsión se limita para asegurar el desarrollo de la resistencia torsional última de la viga, prevenir la excesiva pérdida de rigidez torsional después de la fisuración, y controlar los anchos de fisura. Para una sección transversal cuadrada la limitación  $p_h/8$  requiere estribos a una distancia aproximada de  $d/2$ , lo cual es congruente con 9.7.6.2.

**R9.7.6.3.4** El refuerzo transversal a torsión en una sección hueca debe estar localizado en la mitad exterior del espesor de la pared efectiva para torsión y el espesor de la pared puede tomarse como  $A_{oh}/p_h$ .

### R9.7.6.4 Soporte lateral del refuerzo para compresión

**R9.7.6.4.1** El refuerzo a compresión en vigas debe estar circunscrito por refuerzo transversal para inhibir su pandeo.

- (b)  $48d_b$  de barra transversal,
- (c) La menor dimensión de la viga.

**9.7.6.4.4** El refuerzo longitudinal a compresión debe disponerse de tal forma que cada barra longitudinal de esquina y barra alterna tenga soporte lateral proporcionado por la esquina de un estribo con un ángulo interior no mayor de 135 grados, y ninguna barra longitudinal debe estar separada a más de 6 pulg. libres a cada lado de esa barra soportada lateralmente, medidos a lo largo del refuerzo transversal.

**9.7.7 Refuerzo de integridad estructural de vigas construidas en sitio**

**R9.7.7 Refuerzo de integridad estructural de vigas construidas en sitio** — La experiencia ha demostrado que la integridad total de una estructura puede mejorarse substancialmente haciendo cambios menores en los detalles del refuerzo y conexiones. La intención de esta sección del Reglamento es mejorar la redundancia y la ductilidad en las estructuras que en el caso de presentarse daño a un elemento de apoyo importante o de un evento de carga anormal, el daño resultante no se extienda y la estructura tenga una mayor probabilidad de mantener su estabilidad general.

Cuando se daña un apoyo y el refuerzo superior continuo sobre el apoyo no disponga de estribos que lo confinen, éste tiende a desprenderse del concreto y no proporciona la acción de catenaria necesaria para generar un efecto de puente sobre el apoyo dañado. La acción de catenaria puede lograrse haciendo que parte del refuerzo inferior sea continuo.

Si la altura de una viga continua cambia en el apoyo, el refuerzo inferior en el elemento más alto debe terminar con un gancho estándar y el refuerzo inferior del elemento más bajo debe extenderse y desarrollarse completamente en el elemento más alto.

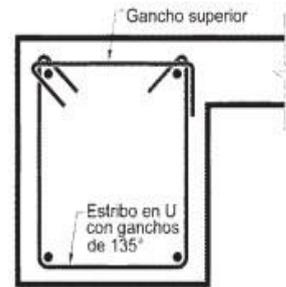
**9.7.7.1** En las vigas localizadas a lo largo del perímetro de la estructura, se debe cumplir con (a) hasta (c) para efectos del refuerzo de integridad estructural:

- (a) Al menos un cuarto del refuerzo de tracción para momento positivo debe ser continuo.
- (b) Al menos un sexto del refuerzo de tracción requerido para momento negativo en el apoyo, pero no menos de dos barras, debe ser continuo.
- (c) El refuerzo longitudinal de integridad debe estar encerrado por estribos cerrados que cumplan con 25.7.1.6, o estribos cerrados de confinamiento a lo largo de la luz libre de la viga.

**R9.7.7.1** El requerir refuerzo continuo arriba y abajo en la sección de las vigas del perímetro o de las vigas dintel, provee un amarre continuo alrededor de la estructura. No es la intención requerir un amarre a tracción con refuerzo continuo del mismo diámetro alrededor de toda la estructura, sino más bien requerir que la mitad del refuerzo superior que cumple el requisito de extenderse más allá del punto de inflexión, de acuerdo con 9.7.3.8.4, se extienda aún más y además se empalme en, o cerca al centro de la luz como lo requiere 9.7.7.5. De igual manera, el refuerzo en la parte inferior de la sección que según 9.7.3.8.2 debe extenderse dentro del apoyo y debe continuarse o empalmarse con el refuerzo del vano adyacente.

La Fig. R9.7.7.1 muestra un ejemplo de un estribo de dos piezas que cumple con los requisitos de las secciones 9.7.7.1(c) y 9.7.7.2(b). El gancho superior de  $90^\circ$  está localizado del lado de la losa donde está mejor confinado. Los pares de estribos en forma de U traslapados uno sobre el otro, como se define en 25.7.1.7, no están permitidos en vigas perimetrales o en vigas dintel. En caso de producirse daño al recubrimiento lateral de concreto, el refuerzo longitudinal superior puede tender a desgarrarse hacia afuera del concreto y no estaría adecuadamente restringido debido al empalme por traslapo del estribo, ahora expuesto. Por lo tanto, el refuerzo longitudinal superior no proporciona la acción de catenaria necesaria para servir de puente sobre una región

dañada. Además, los estribos en U traslapados no son efectivos para torsiones altas como se discute en R9.7.6.3.1.



**Fig. R9.7.7.1** — Ejemplo de estribo de dos piezas que cumple con los requisitos de 9.7.7.1(c) y 9.7.7.2(b).

**9.7.7.2** En vigas distintas a las del perímetro, el refuerzo para la integridad estructural debe cumplir con (a) o (b):

- (a) Al menos un cuarto del refuerzo máximo para momento positivo, pero no menos de dos barras o torones, deben ser continuos.
- (b) El refuerzo longitudinal debe estar rodeado por estribos cerrados, que cumplan con 25.7.1.6, o estribos cerrados de confinamiento, a lo largo del vano libre de la viga.

**9.7.7.3** El refuerzo longitudinal de integridad estructural debe pasar a través de la región circunscrita por el refuerzo longitudinal de la columna.

**9.7.7.4** El refuerzo longitudinal para integridad estructural en los apoyos no continuos debe anclarse para desarrollar  $f_y$  en la cara del apoyo.

**9.7.7.5** Cuando se requieran empalmes del refuerzo longitudinal de integridad estructural, el refuerzo debe empalmarse de acuerdo con (a) y (b).

- (a) El refuerzo para momento positivo debe ser empalmado en el apoyo, o cerca de éste.
- (b) El refuerzo para momento negativo debe ser empalmado en la mitad de la luz, o cerca de ésta.

**9.7.7.6** Los empalmes deben ser empalmes mecánicos totales, soldados totales, o empalmes a tracción Clase B.

## 9.8 — Sistemas de viguetas en una dirección no preesforzadas

### 9.8.1 Generalidades

**9.8.1.1** La construcción con viguetas no preesforzadas consiste en una combinación monolítica de nervaduras regularmente espaciadas y una losa colocada en la parte superior que actúa en una dirección.

**9.8.1.2** El ancho de las nervaduras no debe ser menor de 4 pulg. en toda su altura.

**R9.7.7.2** En apoyos discontinuos, el refuerzo longitudinal se ancla según 9.7.7.4.

R9.7.7.1 muestra un ejemplo de un estribo de dos piezas que cumple con los requisitos de 9.7.7.2(b).

## R9.8 — Sistemas de viguetas en una dirección no preesforzadas

**R9.8.1 Generalidades** — Las limitaciones empíricas de tamaño y de espaciamiento para la construcción con viguetas no preesforzadas se basan en el comportamiento satisfactorio utilizando sistemas de encofrado estándar para viguetas observado en el pasado. Para construcción con viguetas preesforzadas, esta sección puede ser usada como una guía.

**9.8.1.3** La altura total de las nervaduras no debe ser mayor de 3.5 veces su ancho mínimo.

**9.8.1.4** El espaciamiento libre entre las nervaduras no debe exceder de 30 pulg.

**9.8.1.5** Se permite que  $V_c$  se tome como 1.1 veces el valor calculado de acuerdo con 22.5.

**9.8.1.6** Para integridad estructural, al menos una barra de la parte inferior en cada vigueta debe ser continua y debe anclarse para desarrollar  $f_y$  en la cara de los apoyos.

**9.8.1.7** La losa debe tener un refuerzo perpendicular a las viguetas que cumpla lo requerido por flexión, pero no menor al refuerzo para retracción y temperatura que se requiere en 24.4 y considerando las concentraciones de carga, en caso que las haya.

**9.8.1.8** Las losas nervadas en una dirección que no cumplan con las limitaciones de 9.8.1.1 hasta 9.8.1.4, deben diseñarse como losas y vigas.

### **9.8.2** *Sistemas de viguetas con rellenos estructurales*

**9.8.2.1** Cuando se empleen aligeramientos permanentes fabricados con arcilla cocida o concreto, con una resistencia unitaria a la compresión al menos igual al  $f'_c$  de las viguetas, se debe aplicar 9.8.2.1.1 y 9.8.2.1.2.

**9.8.2.1.1** El espesor de la losa de concreto sobre los aligeramientos permanentes no debe ser menor a 1/12 de la distancia libre entre viguetas, ni menor que 1.5 pulg.

**9.8.2.1.2** Se puede incluir la pared vertical del elemento de aligeramiento que está en contacto con la vigueta en los cálculos de resistencia al cortante y momento negativo. Ninguna otra parte del aligeramiento puede incluirse en los cálculos de resistencia.

### **9.8.3** *Sistemas de viguetas con otros rellenos*

**9.8.3.1** Cuando se utilicen aligeramientos que no cumplan con 9.8.2.1 o se utilicen encofrados removibles, el espesor de la losa debe ser por lo menos el mayor de 1/12 de la distancia libre entre las nervaduras y 2 pulg.

## **9.9 — Vigas de gran altura**

### **9.9.1** *Generalidades*

**9.9.1.1** Las vigas de gran altura son miembros que están cargados en una cara y apoyados en la cara opuesta de tal

**R9.8.1.4** Se requiere un límite en el espaciamiento máximo de las nervaduras debido a los requisitos que permiten mayores resistencias al cortante y un recubrimiento menor de concreto para el refuerzo en estos miembros repetitivos, relativamente pequeños.

**R9.8.1.5** Este incremento en la resistencia a cortante se justifica por: 1) el comportamiento satisfactorio de construcciones con losas nervadas diseñadas con resistencias más altas a cortante especificadas en ediciones anteriores del Reglamento, las cuales permitían esfuerzos cortantes comparables, y 2) la redistribución de sobrecargas locales a las viguetas adyacentes.

## **R9.9 — Vigas de gran altura**

### **9.9.1** *Generalidades*

**R9.9.1.1** El comportamiento de las vigas de gran altura se discute en Schlaich et al. (1987), Rogowsky and MacGregor

manera que elementos a compresión similares a puntales puedan desarrollar resistencia entre las cargas y los apoyos y cumplen con (a) o (b):

- (a) La luz libre no excede cuatro veces la altura total del miembro,  $h$ .
- (b) Existen cargas concentradas dentro de una distancia igual a  $2h$  de la cara del apoyo.

**9.9.1.2** Las vigas de gran altura deben diseñarse teniendo en cuenta la distribución no lineal de las deformaciones unitarias horizontales sobre la altura de la viga.

**9.9.1.3** Los requisitos de 9.9.1.2 pueden cumplirse utilizando modelos puntal-tensor de acuerdo con el Capítulo 23.

### 9.9.2 Límites dimensionales

**9.9.2.1** Las dimensiones de las vigas de gran altura deben seleccionarse de tal manera que cumplan con:

$$V_u \leq \phi 10 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (9.9.2.1)$$

### 9.9.3 Límites del refuerzo

**9.9.3.1** El refuerzo distribuido a lo largo de las caras laterales de vigas de gran altura debe ser al menos el que requiere (a) y (b):

- (a) El área de refuerzo distribuido perpendicular al eje longitudinal de la viga,  $A_{p1}$ , debe ser al menos  $0.0025b_w s_1$ , donde  $s_1$  es el espaciamiento del refuerzo distribuido transversal.
- (b) El área de refuerzo distribuido paralelo al eje longitudinal de la viga,  $A_{p2}$ , debe ser al menos  $0.0025b_w s_2$ , donde  $s_2$  es el espaciamiento del refuerzo longitudinal distribuido.

**9.9.3.2** El área mínima de refuerzo a flexión en tracción,  $A_{s,min}$ , debe determinarse de acuerdo con 9.6.1.

### 9.9.4 Detallado del refuerzo

**9.9.4.1** El recubrimiento de concreto debe cumplir con 20.6.1.

**9.9.4.2** El espaciamiento mínimo del refuerzo longitudinal debe cumplir acuerdo con 25.2.

**9.9.4.3** El espaciamiento del refuerzo distribuido requerido en 9.9.3.1 no debe exceder el menor de  $d/5$  y 12 pulg.

(1986), Marti (1985), and Crist (1966). Para una viga de gran altura que soporta cargas gravitacionales, estos requisitos aplican si las cargas son aplicadas en la cara superior de la viga y la viga está apoyada en su cara inferior. Cuando las cargas son aplicadas a los costados o en la cara inferior del miembro, se deben usar modelos puntal-tensor, como se definen en el Capítulo 23, para diseñar el refuerzo de modo que transfiera internamente las cargas hacia la parte superior de la viga y las distribuya a los apoyos adyacentes.

**R9.9.1.2** El Reglamento no contiene requisitos detallados para diseñar vigas de gran altura para resistir flexión, excepto que debe considerarse una distribución de deformación unitaria no lineal. En Chow et al. (1953), Portland Cement Association (1946), and Park and Paulay (1975), se dan guías para el diseño de vigas de gran altura.

### R9.9.2 Límites dimensionales

**R9.9.2.1** Se impone un límite dimensional para controlar la fisuración bajo cargas de servicio y para resguardo contra fallas diagonales por compresión en las vigas de gran altura.

### R9.9.3 Límites del refuerzo

**R9.9.3.1** Se deben usar los requisitos para los refuerzos mínimos de esta sección independientemente de la metodología de diseño, ya que tienen la intención de controlar el ancho y la propagación de las fisuras inclinadas. Ensayos (Rogowsky and MacGregor 1986, Marti 1985, Crist 1966) han demostrado que el refuerzo vertical para cortante, perpendicular al eje longitudinal del elemento, es más efectivo para la resistencia a cortante que el refuerzo para cortante horizontal, paralelo al eje longitudinal del elemento, en una viga de gran altura, pero el refuerzo mínimo especificado es el mismo en ambas direcciones para controlar el crecimiento y ancho de fisuras diagonales.

### R9.9.4 Detallado del refuerzo

**9.9.4.4** El desarrollo del refuerzo en tracción debe tener en cuenta la distribución de esfuerzos en el refuerzo que no sea directamente proporcional al momento flector.

**9.9.4.5** En apoyos simples, el refuerzo de momento positivo en tracción debe anclarse para desarrollar  $f_y$  en la cara del apoyo. Si una viga de gran altura se diseña de acuerdo con el Capítulo 23, el refuerzo de momento positivo en tracción debe anclarse de acuerdo con 23.8.2 y 23.8.3.

**9.9.4.6** En apoyos interiores debe cumplirse con (a) y (b):

- (a) El refuerzo de momento negativo en tracción debe ser continuo con el de los vanos adyacentes.
- (b) El refuerzo de momento positivo en tracción debe ser continuo o empalmarse con el de los vanos adyacentes.

**R9.9.4.4** En vigas de gran altura, el esfuerzo en el refuerzo longitudinal es más uniforme a lo largo de la viga que en una viga o región que no es alta. En las vigas de gran altura, los altos esfuerzos del refuerzo, normalmente limitados hacia la región central de una viga típica, pueden extenderse hacia los apoyos. Por lo tanto, los extremos del refuerzo longitudinal pueden requerir anclaje positivo en la forma de ganchos estándar, barras con cabeza, u otro anclaje mecánico en los apoyos.

**R9.9.4.5** El uso de métodos puntal-tensor para el diseño de vigas de gran altura ilustra que las fuerzas de tracción del refuerzo correspondiente al tensor en la cara inferior debe estar anclado en la cara del apoyo. Debido a esto, el refuerzo correspondiente al tensor debe ser continuo o desarrollarse en la cara del apoyo (Rogowsky and MacGregor 1986).





**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

### **Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo, POMA MARTEL CLINTON DUGAR estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Análisis Comparativo de vigas Reforzadas con Varillas de Fibra de Vidrio y Reforzadas con Acero", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

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

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
POMA MARTEL CLINTON DUGAR <b>DNI:</b> 74298463 <b>ORCID</b> 0000-0003-0627-0004	Firmado digitalmente por: CLPOMAM el 26-04-2021 15:47:11

Código documento Trilce: INV - 0154366