

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Análisis del efecto de fibras de acero en vigas de
hormigón ante fuerzas cortantes.

Trabajo de investigación

Belkis Paulina Filián Abad

Ingeniería Civil

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de Ingeniera Civil

Quito, 22 de diciembre de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
Colegio de Ciencias e Ingeniería

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Análisis del efecto de fibras de acero en vigas de hormigón ante fuerzas
cortantes

Belkis Paulina Filián Abad

Calificación:

Nombre del profesor:

Eva Lantsoght, Ph.D.

Directora de Trabajo de Titulación

Quito, 22 de diciembre de 2017

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Belkis Paulina Filián Abad

Código: 00110970

Cédula de Identidad: 0930711536

Lugar y fecha: Quito, 22 de diciembre de 2017

RESUMEN

El uso de las fibras de acero en vigas de hormigón se ha estudiado en los últimos años, convirtiéndose en una alternativa para enfrentar los efectos del cortante. Los efectos de la fibra en vigas de hormigón son muy prometedoras. Las fibras de acero son un tema de actualidad su estudio se está ampliando para conocer su comportamiento a cortante. La teoría del desplazamiento cortante crítico se presenta como una alternativa que puede ser ampliada agregando una expresión que capture el efecto de las fibras en las vigas de hormigón. Muchas son las variables a considerar cuando se quiere agregar el efecto de las fibras entre ellas se encuentran el porcentaje de fibra en la mezcla, la geometría y forma. El presente estudio modela distintas ecuaciones con el fin de hallar una expresión que capture el aporte de las fibras de acero. Se evaluó los distintos modelos con una base de datos obtenida de la literatura. Finalmente, se obtuvo la relación V_u/V_{cal} de cada una de las modelaciones dando resultados estadísticos alentadores.

Palabras claves: fibras de acero, hormigón, cortante, teoría del desplazamiento cortante crítico.

ABSTRACT

The use of steel fibers in concrete beams has been studied in the last years, turning into an alternative to face the effects of shear. The effects of steel fiber in concrete beams are very promising. The steel fibers are topical issues; the study is being extended to know the shear behavior. The Critical Shear Displacement Theory presents itself as an alternative that could be extended adding an expression that should capture the effect of the fibers in concrete beams. Many are the variables to be considered when it is about to add the effect of the fibers some of them are the percentage of fiber in concrete, geometry, and shape. The present study model different equations in order to find an expression that captures the contribution of the steel fibers. The different models were evaluated with a database from the literature. Finally, there was obtained the ratio V_u/V_{cal} of each of the modeling giving promising statisticians results

Key Words: Steel fibers, concrete, Critical Shear Displacement Theory

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN (CAPÍTULO 1)	10
Antecedentes	10
El problema.....	11
Hipótesis y requerimientos de diseño de vigas con fibras según ACI.....	13
Propósito y significado del estudio	14
REVISIÓN DE LA LITERATURA (CAPÍTULO 2)	15
Mecanismos de transferencia de cortante	15
Capacidad del hormigón en la zona de compresión.....	16
Tensión residual del agrietamiento	16
Trabazón de los agregados	17
Acción del pasador o refuerzo longitudinal	20
Procesos de falla de hormigón armado sin refuerzo cortante.	20
Altura estabilizada de grieta.....	20
Espaciamiento de grietas	21
Criterio de comienzo de agrietamiento crítico inclinado.	22
Simplificaciones del modelo en base al desplazamiento cortante crítico.....	23
Simplificación del patrón de agrietamiento	24
Evaluación de la capacidad cortante de una viga de hormigón armada basada en desplazamiento crítico vertical.	24
Variables que intervienen en la evaluación del desplazamiento crítico.....	24
Procedimiento de evaluación	26
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN (CAPÍTULO 3)	29
Recolectar datos experimentales de la literatura.....	29
Definir variables para expresión matemática.....	30
Proponer expresión matemática.....	32
COMPARACIÓN ENTRE LA FORMULACIÓN PROPUESTA Y RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA LITERATURA (CAPÍTULO 4).....	45
CONCLUSIONES.....	55
RECOMENDACIONES Y FUTURO TRABAJO (CAPÍTULO 6).....	56
REFERENCIAS	58
ANEXO A: Datos y resultados de la modelación	63
ANEXO B: Resultado de los modelamientos	69

ANEXO C: Código Matlab modelado 1 viga rectangular.....	75
ANEXO D: Código Matlab modelado 2 viga rectangular	77
ANEXO F: Código Matlab modelado 3 viga rectangular	79
ANEXO G: Código Matlab modelado 4 viga rectangular	81
ANEXO H: Código Matlab modelado 1 viga I.....	83
ANEXO I: Código Matlab modelado 2 viga I.....	85
ANEXO J: Código Matlab modelado 3 viga I	87
ANEXO K: Código Matlab modelado 4 viga I.....	89

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propuestas de ecuaciones que capturan el cortante resistido por fibras 34

Tabla 2: Resultados estadísticos de la modelación 52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mecanismos de transferencia de cortante viga de hormigón.....	16
Figura 2: Esquema del mecanismo del trabazón de agregados (Walraven J. , 1981)..	17
Figura 3: Comparación entre el Modelo de Walraven y Modelo de Vecchio y Collins (Yang, 2014).....	19
Figura 4: Simplificación del agrietamiento.....	26
Figura 5: Diagrama de flujo proceso de evaluación teoría del desplazamiento crítico cortante.	28
Figura 6: Proceso de investigación.....	29
Figura 7: Representación de esfuerzo por fibras de acero en viga de hormigón	31
Figura 8: Distribución de deformación unitaria y equilibrio de fuerzas en vigas de hormigón reforzado con fibras de acero.	31
Figura 9: Relación $V_{\text{experimentales}}$ vs $V_{\text{calculado}}$ modelamiento 1.....	46
Figura 10: Relación $V_{\text{experimentales}}$ vs $V_{\text{calculado}}$ modelamiento 2.....	46
Figura 11: Relación $V_{\text{experimentales}}$ vs $V_{\text{calculado}}$ modelamiento 3.....	47
Figura 12: Relación $V_{\text{experimentales}}$ vs $V_{\text{calculado}}$ modelamiento 4.....	47
Figura 13: Relación V_u/V_{cal} vs. Ancho efectivo	48
Figura 14: Relación V_u/V_{cal} vs. Peralte efectivo	49
Figura 15: Relación V_u/V_{cal} vs. Diámetro agregado	49
Figura 16: Relación V_u/V_{cal} vs. f'_c	50
Figura 17: Relación V_u/V_{cal} vs. M/V_d	50
Figura 18: Relación V_u/V_{cal} vs. cuantía acero longitudinal	51
Figura 19: Relación V_u/V_{cal} vs. porcentaje de fibra en mezcla.....	51
Figura 20: Relación V_u/V_{cal} vs. relación longitud/diámetro fibra.....	52

INTRODUCCIÓN (CAPÍTULO 1)

Antecedentes

El estudio de los esfuerzos cortantes y su comportamiento se remontan al año 1856, donde Jourawski desarrolló un estudio sistemático acerca del comportamiento de miembros estructurales. Por otro lado, las estructuras de hormigón armado han sido estudiadas por muchos años, se han llevado a cabo estudios experimentales y teóricos con el fin de comprender mejor la naturaleza de las fallas a cortante en vigas de hormigón armado sin refuerzo transversal. A partir de los esfuerzos que se ha realizado ha sido posible definir, derivar fórmulas empíricas que permiten aplicar al diseño de las estructuras de hormigón armado siempre teniendo en cuenta la integridad estructural (Yang, 2014).

No obstante, el estudio del cortante sigue siendo un tema de actualidad a pesar de que por más de cien años se han realizado cientos de investigaciones, incontables experimentos y muchos descubrimientos. Como menciona Yang aún hay mucho más esperando ser descubierto (2014). De igual manera, se está continuamente buscando alternativas para enfrentar el problema del cortante. Las fibras de acero han llegado para dar una solución al problema.

En la industria de la construcción, los hormigones con contenido de fibras tienen distintas aplicaciones entre las que se encuentran pavimentos en aeropuertos, vías, revestimientos en túneles, cimentaciones, losas e incluso en tableros de puentes prefabricados en la última década (Wang, et al, 1987; Meda, et al, 2005; Bentur, 2007; Aoude, et al, 2012; Swamy & Bahia, 1989; Sahoo, et al, 2012). Sin embargo, se ha limitado el uso de fibras de acero en elementos estructurales más críticos. Se atribuye el poco uso

de este a la limitada investigación y la brecha que existe en el desarrollo de códigos de diseño que abarquen específicamente las fibras de acero (Lee, et al , 2013).

La incorporación de fibras aleatoriamente y discontinuamente en la matriz de hormigón altera la respuesta frágil propia de las características del hormigón. Introducir pequeñas proporciones de fibras incrementa las varias respuestas mecánicas, como lo son la resistencia a tensión, flexión, cortante; la ductilidad y la capacidad de absorción de energía (Narayanam & Darwish, 1985). Por tanto, agregar fibras lleva a un aumento de la tenacidad y ductilidad de vigas de hormigón con o sin aberturas. Así mismo, pasadas investigaciones en hormigones con fibras de acero han demostrado una reducción en la propagación de agrietamiento por la distribución de esfuerzos a tensión a lo largo del agrietamiento diagonal. La eficacia de las fibras a lo largo de los miembros depende entre algunas variables de la adherencia en la interfaz fibra-matriz; tamaño máximo de agregados: geometría, resistencia, tamaño y porcentaje del contenido de fibra de acero (Hameed, et al, 2009).

Adicionalmente, las fibras con un módulo de elasticidad proveen mayor resistencia frente a los efectos de cargas externas; mientras que bajos módulos de Young en las fibras son más efectivos en resistir incremento de fuerzas internas por el cambio de volumen (Mansur & Ong, 1991)

El problema

Los elementos estructurales están sujetos a distintos esfuerzos ya sean axiales, torsionales, flectores, cortantes o la combinación de varios de ellos. Los esfuerzos cortantes producen en elementos viga de hormigón las llamadas fallas cortantes. Las fallas cortantes se las considera como una de las fallas estructurales más críticas en estructuras

de hormigón armado y el efecto se amplifica cuando se trata de miembros con refuerzo transversal.

La falla a cortante de las vigas de hormigón sin refuerzo transversal es frágil y repentina. A causa de la variación entre los valores de cortante de los elementos estructurales y los que se obtiene de las ecuaciones de los distintos códigos de diseño ya sea del ACI (ACI Committee 318, 2014), Eurocode (British Standards Institution, 2008), Norma Canadiense (Canadian Standards Association, 2014), incluso de la Norma India (National Building Code Sectional Committee, 2016), se requiere un refuerzo mínimo para resistir los esfuerzos a tensión diagonal. No obstante, las losas de hormigón armado no suelen contar con refuerzo transversal. Las losas macizas y zapatas cuentan con requisitos menos exigentes para el refuerzo mínimo a cortante ya que existe la posibilidad de compartir la carga entre las zonas más débiles y más fuertes (ACI Committee 318, 2014). En base a lo antes expuesto las losas se convierten en elementos que facilitan el estudio y análisis de vigas sin refuerzo transversal.

Debido al complejo proceso de falla, la interacción y contribución de los mecanismos el comportamiento de estructuras de hormigón armado frente a esfuerzos cortantes sigue siendo foco de investigación. El cortante en vigas de hormigón armado destaca como una de las acciones más relevantes en el diseño de estructuras de hormigón.

En los últimos años se ha realizado investigación teórica y experimental en cuanto a la capacidad a cortante de las vigas con refuerzos de fibras de acero (SFRC). No obstante, en el Critical Shear Displacement Theory propuesta por Yang (2014) no se considera las fibras de acero o ningún otro elemento de refuerzo a cortante.

Hipótesis y requerimientos de diseño de vigas con fibras según ACI

La contribución de las fibras de acero es reconocida en la norma ACI 31814. El código intenta dar una alternativa de diseño para el refuerzo a cortante para vigas con refuerzo longitudinal a flexión donde se cumpla que V_u (cortante último) no excede de $\frac{1}{6}\phi\sqrt{f'c} b_w d$ ($f'c$ en Mpa) ó $2\phi\sqrt{f'c} b_w d$ ($f'c$ en psi) (ACI Committee 318, 2014).

Así mismo, menciona que el refuerzo de fibras de acero debe cumplir con (1) la norma ASTM A820, (2) tener una relación de longitud diámetro no menor a 50 ni mayor a 100, (3) estar bajo la norma ASTM C1116, (4) contener al menos 100 lb de fibras de acero por yarda cúbica de hormigón (59 kg/m^3) (ACI Committee 318, 2014).

Finalmente, el hormigón reforzado con fibras debe estar bajo las condiciones de aceptación de resistencia a la compresión del concreto para probetas curadas en forma estándar. La resistencia residual obtenida en el ensayo a flexión realizado de acuerdo con la norma ASTM C1609 cuando se llega a una deflexión en el centro de la luz igual a $1/300$ de la luz es por lo menos el mayor de (1) 90% de la resistencia del primer pico de resistencia obtenido en el ensayo a flexión y (2) 90% de la resistencia correspondiente a $7.5\sqrt{f'c}$. De igual manera, la resistencia residual obtenida en el ensayo a flexión realizado de acuerdo con la norma ASTM C1609 cuando se llega a una deflexión en el centro de la luz igual a $1/150$ de la luz es por lo menos el mayor entre (1) 75 por ciento de la resistencia del primer pico de resistencia obtenido en el ensayo a flexión y (2) 75 por ciento de la resistencia correspondiente a $7.5\sqrt{f'c}$ (ACI Committee 318, 2014).

Es decir, en los Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural del ACI no se considera el efecto como tal de la fibra. No se encuentra una expresión que determine la capacidad a cortante de las fibras de acero, mediante las variables como longitud y

diámetro de varilla, porcentaje de acero en la mezcla de hormigón, resistencia de las fibras. Como se ha podido observar, únicamente toma en cuenta los valores $f'c$ para determinar si la viga puede tener sólo refuerzo de fibras.

Propósito y significado del estudio

El presente estudio busca capturar el aporte de las fibras de acero en los elementos estructurales vigas de hormigón armado longitudinalmente. La Teoría del Critical Shear Displacement como menciona Yang en su tesis doctoral no proporciona información sobre el efecto de las fibras ante los esfuerzos cortantes. Agregar un término del efecto que tiene las fibras permite ampliar la teoría y conocer el comportamiento de los elementos estructurales viga sin refuerzo transversal convencional (estribos). Adicionalmente, llevaría a profundizar en el comportamiento, las variables que intervienen en la resistencia a cortante que aportan las fibras de acero.

Se vuelve trascendental agregar una expresión a la teoría que capture el cómo las fibras absorben y aportan resistencia a cortante ya que este material y su uso en vigas está tomando más fuerza en cuanto a su aplicación. Conocer teóricamente su aporte permite en un futuro proponer mejores formulaciones sobre su uso y puede llegar a ser predecible el comportamiento de las vigas con refuerzo de fibras.

REVISIÓN DE LA LITERATURA (CAPÍTULO 2)

Los efectos de cortante en vigas de hormigón armada (RC) es una de las acciones más importantes en el diseño de las estructuras de hormigón. A lo largo del tiempo se ha propuesto distintas teorías para abordar el análisis y diseño a cortante de vigas en vigas de hormigón armado tanto longitudinal como transversal. Entre algunas de las teorías se encuentra el truss analogy-based simple model (Mörsch, 1909) propuesta para el diseño de miembros de hormigón armado donde se supone un modelo de cerchas conectadas por bisagras, con puntales o miembros paralelos y miembros barras. Donde los arriostramiento del hormigón a compresión están inclinados a 45° con respecto al eje longitudinal y el refuerzo a cortante se representa con las barras a tensión (Mörsch, 1909). Por otro lado, la teoría del Compression Field Theory llevado a cabo por Vecchio y Collins (1986) predice la respuesta carga-deformación de elementos de hormigón armado sujetos a esfuerzos normales y cortantes. Finalmente otro modelo que busca responder el comportamiento de elementos a esfuerzos cortante es Strut-and Tie Models es una generalización del modelo truss analogy para vigas; el modelo es aplicable tanto para hormigón reforzado con o sin refuerzo transversal con la condición de un $a/d < 2.5$ (Schlaich, Shafer, & Jennewein, 1987).

Mecanismos de transferencia de cortante

Los mecanismos de falla en vigas con agrietamientos son ampliamente aceptados, se consideran que son cuatro tipos de mecanismos que transfieren las fuerzas cortantes en una viga de hormigón agrietada en elementos sin refuerzo a cortante. A continuación, se menciona los cuatro mecanismos y su correspondiente explicación, en la Figura 1 se puede apreciar los cuatro mecanismos.

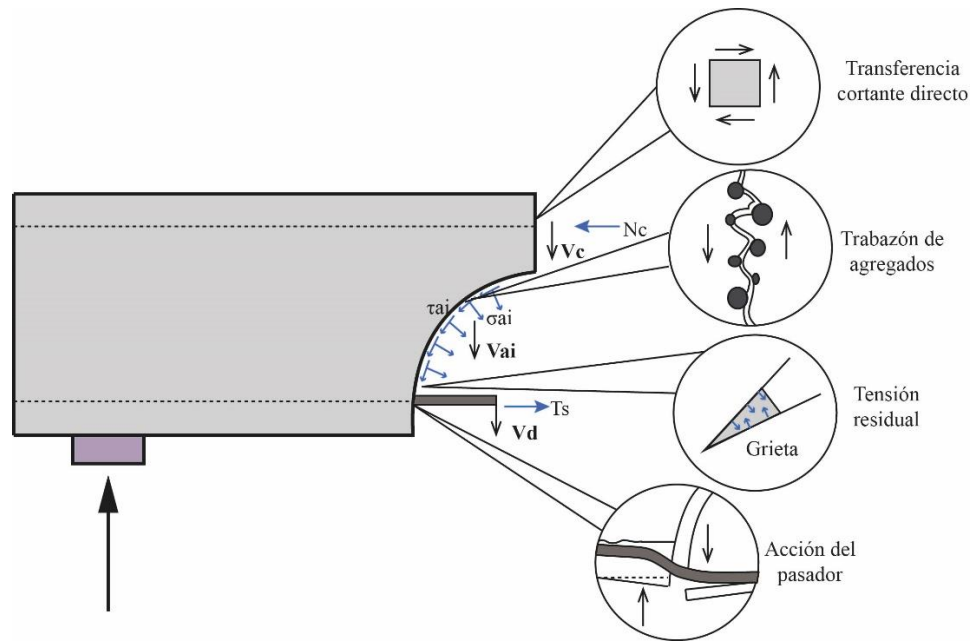


Figura 1: Mecanismos de transferencia de cortante viga de hormigón.

Capacidad del hormigón en la zona de compresión.

La capacidad de resistir cortante en hormigón está enteramente relacionada con la capacidad del hormigón en la zona de compresión. Las variables que determinan esta capacidad son el ancho de la zona de compresión, el peralte efectivo y la resistencia a compresión del hormigón (Taylor H. , 1973). La distribución del esfuerzo cortante se asume como una distribución parabólica de los esfuerzos cortantes sobre el eje neutro, esto se sigue usando para la contribución de la fuerza cortante en la zona de compresión. (Reineck, 1991). La contribución del hormigón en cuanto a fuerzas cortantes en las vigas se estima en un rango de 20% y 40% (Fenwick & Paulay, 1968; Kani, Huggins, & Wittkopp, 1979).

Tensión residual del agrietamiento

Las grietas en el hormigón no son siempre roturas limpias, la tensión residual a lo largo de la grieta contribuye a la capacidad cortante. Los esfuerzos a tensión pueden transmitirse a lo largo de las grietas, siempre y cuando el ancho sea menor que 0.1mm.

Es decir que, existe una relación entre el esfuerzo a tensión y ancho de grietas (Evans & Marathe, 1968) . La tensión residual es estudiada en la zona donde la deformación unitaria a tensión, sobrepasa la deformación unitaria máxima a tensión; la región antes mencionada es llamada la zona de tensión-ablandamiento (Pruijssers, 1986).

Trabazón de los agregados

La trabazón de los agregados se entiende como el efecto que se genera por el esfuerzo cortante como resultado del desplazamiento tangencial de dos superficies agrietadas. Una de las principales causas de la trabazón es gracias al contacto de fuerzas entre los agregados (o fricción). En trabazón de los agregados intervienen cuatro procesos de transferencia el esfuerzo cortante, esfuerzo normal, desplazamiento tangencial y desplazamiento normal en la Figura 2 se puede observar lo antes mencionado.

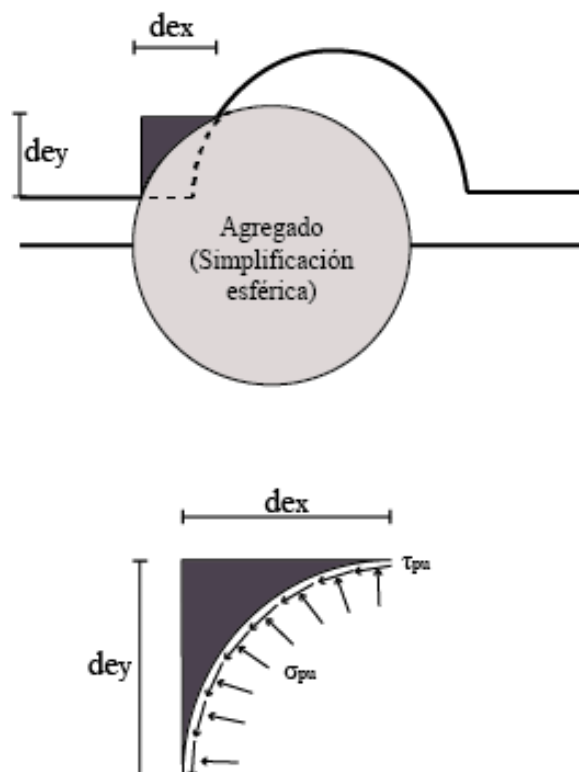


Figura 2: Esquema del mecanismo del trabazón de agregados (Walraven, 1981)

Muchos han estudiado el efecto de trabazón de los agregados en los esfuerzos cortantes (Fenwick & Paulay, 1968; Gaborava, 1981; Bažant & Gambarova, 1980). No obstante, a Walraven (1981) se atribuye la mayor comprensión de los mecanismos de trabazón de agregados en hormigón, desarrollando así el Basic theory: fundamental model for aggregate interlock. En el modelo propuesto se simplifica a los agregados con formas esféricas con diámetros y localización aleatorio; la matriz de cemento se rompe contra el agregado; hay deslizamiento y aplastamiento entre las superficies generando esfuerzos normales y cortantes (Walraven J. , 1981). Las principales factores que afectan este mecanismo son la resistencia a compresión, la microestructura, la energía de fractura del hormigón (Ghazavy-Khorasgany & Gopalaratnam, 1993), el tamaño y tipo de agregado (Regan , Kennedy-reid, Pullen, & Smith, 2005).

Vecchio y Collins (1986) realizaron una regresión de los resultados de la tesis doctoral de Walraven de donde derivaron una formula simplificada, que da una aproximación del máximo esfuerzo cortante:

$$\tau = 0.18 \tau_{max} + 1.64\sigma - 0.82\sigma^2/\tau_{max}$$

Donde

$$\tau_{max} = \frac{\sqrt{f_{cm}}}{0.31 + 24w/(D_{max} + 16)}$$

Y

σ : esfuerzo normal en la superficie agrietada [N/mm²]

τ_{max} : esfuerzo cortante máximo permitido [N/mm²]

w : ancho de la grieta en la dirección normal del agrietamiento.

En la Figura 3 se puede observar la comparación entre el modelo de Walraven y la simplificación de Vecchio y Collins. De la misma se observa que la simplificación tiene valores mayores para τ_{max} en comparación con w del modelo de Walraven.

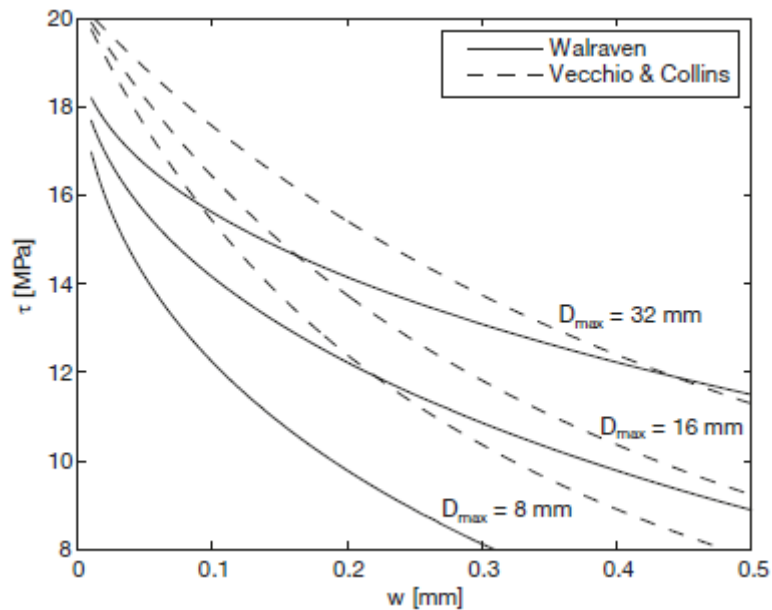


Figura 3: Comparación entre el Modelo de Walraven y Modelo de Vecchio y Collins (Yang, 2014).

A pesar de la buena aproximación de la simplificación, se presenta un problema con el esfuerzo normal en las vigas sin refuerzo transversal; ya que este no puede ser determinado por el estado complejo de esfuerzos. Bentz, Vecchio & Collins (2006) eliminan el esfuerzo normal en la teoría Simplified Modified Compressive Field (SMCF), de manera que la ecuación final está relacionada únicamente al ancho de la grieta.

La contribución de la trabazón de los agregados en la capacidad de resistir cortante en vigas se encuentra entre 33% a 70% (Taylor H. P., 1973; Sherwood, Bentz, & Collins, 2007).

Acción del pasador o refuerzo longitudinal

La fuerza del pasador o refuerzo longitudinal se genera como resultado entre la interacción entre las barras y el hormigón que las rodea; se genera un desplazamiento tangencial en el plano del agrietamiento del hormigón. El recubrimiento que soportar al pasador, la rigidez del hormigón y las características de adherencia afectan en gran medida el esfuerzo máximo cortante proveniente de la acción del refuerzo longitudinal (Lubbel, 2006).

Vintzeleou y Tassios (1986) mencionan que las fallas por la acción de los pasadores se pueden dar por dos modos (1) Aplastamiento del hormigón (2) Separación del hormigón. Se ha encontrado que para vigas sin refuerzo a cortante el segundo modo es más común.

Procesos de falla de hormigón armado sin refuerzo cortante.

Aunque se conoce los mecanismos que interviene en resistir las fuerzas cortantes, aún no se llega a un acuerdo en cuanto como estos mecanismos influyen en el proceso de falla, como se relacionan entre ellos y cual gobierna en los mecanismos de falla.

No obstante, se ha estudiado la formación de las grietas críticas inclinadas que se generan por el momento flector y la fuerza cortante en una sección. Los aspectos relacionados al patrón de agrietamiento son el espaciamiento de grieta, la altura de grieta y perfil de la grieta.

Altura estabilizada de grieta

La altura estabilizada de grieta se calcula a base del equilibrio de fuerzas, asumiendo que no hay esfuerzo a tensión en el hormigón. La altura de grieta en la dirección vertical está mayoritariamente relacionada con la distribución de esfuerzos en

la dirección longitudinal. La altura de la grieta se alcanza una vez que se llega al momento de agrietamiento. Es importante mencionar que la altura es independiente de la forma de la grieta (Yang, 2014).

Espaciamiento de grietas

Una vez que una grieta se ha formado, los esfuerzos continuos a la grieta son liberados. Por tanto, no se genera grietas adyacentes junto a la primera como consecuencia siempre se desarrollan nuevas grietas a cierta distancia. El espaciamiento entre grietas está concentradas al nivel del refuerzo (Yang, 2014). El promedio de espaciamiento de grietas l_{cr} al nivel del refuerzo en tensión es $l_{cr} = \psi_s l_t$; para el máximo espaciamiento el valor de ψ_s es 2.

Según Bazant et al. (1977; 1980) en un sistema de grietas paralelas no es posible que todas las grietas tengan la misma altura se base en que se debe cumplir con las condiciones de estabilidad del sistema. Por tanto, se denota $l_{cr,m}$ como la mayor de las grietas que es única, crítica en la capacidad cortante de la viga. Entonces se define:

$$l_{cr,m} = \frac{S_{cr}}{k_c}$$

como el mayor espaciamiento del mayor agrietamiento.

De la expresión anterior se concluye que el espaciamiento depende únicamente de la altura de la grieta y de la inclinación de la línea de esfuerzo.

Para poder determinar la dirección de la grieta Yang (2014) emplea el concepto de Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM). Del análisis de LEFM, resulta que el valor de M/V en un miembro estructural influye en la inclinación de la grieta.

Criterio de comienzo de agrietamiento crítico inclinado.

Diversos investigadores como Leonhardt & Walther (1962); Bažant & Kim (1984); Hillerborg (1976) han observado que usualmente las vigas colapsan seguidamente después de la formación del agrietamiento inclinado; el avance de este fenómeno ocurre cuando se alcanza el esfuerzo a tensión del hormigón y el máximo estrés en la dirección diagonal principal.

En el caso de que una viga falle después de que se produce la grieta inclinada crítica; la falla ocurre debido a que la resistencia cortante es menor que la fuerza cortante. De lo antes expuesto, se concluye que el comportamiento a cortante define el modo de falla del elemento viga, aunque puede ocurrir que la viga no falle inmediatamente después de la formación de la grieta crítica. (Yang, Walraven, & Uijl, 2017). A esta misma conclusión llegaron Vecchio & Collins (1986) y Reineck (1991), existen mecanismos que transfieren la fuerza cortante en las secciones agrietadas. Por ejemplo, el trabazón de agregados es uno de ellos ya que el agregado representa una de las más grandes contribuciones para resistir las fuerzas cortantes (Campana, et al., 2013).

Por otro lado, Walraven propuso un modelo donde se implica que el desplazamiento a cortante Δ y el ancho de agrietamiento w están relacionadas con el esfuerzo cortante τ y el esfuerzo normal σ . Del modelo se entiende que si hay un aumento del Δ no producirá el colapso del sistema, pero si un incremento gradual de los otros tres componentes. Sin embargo, Yang (2014) menciona que los resultados teóricos obtenidos son mucho mayores que la capacidad cortante.

Una vez que se desarrolla la grieta secundaria, que suele ser originada por agrietamiento del hormigón en la zona del refuerzo longitudinal, se vuelve más relevante la falla por cortante ya que se desarrolla el incremento del ancho de grieta por flexión.

Por tanto, con un ancho de grieta a flexión mayor, se vuelve necesario un desplazamiento cortante mayor con el fin de lograr el mismo esfuerzo cortante al nivel de la grieta; la grieta crece hasta que se da una falla en todo el sistema, de ahí es posible una falla por cortante (Yang, Walraven, & Uijl, 2017).

Si se inicia una bifurcación secundaria de grietas desde el origen de la mayor grieta en la dirección del refuerzo longitudinal es necesario generar un desplazamiento tangencial a lo largo del agrietamiento. Por tanto, hay un aumento en la resistencia cortante por el trabazón de los agregados que puede llegar a ser balanceado con una fuerza cortante adicional que es mayor que la generada por el patrón de agrietamiento original (Yang, 2014). Por consiguiente, la pérdida de la resistencia puede ser explicada cuando hay un incremento significativo en el ancho de grieta por el efecto del refuerzo longitudinal.

El desplazamiento crítico cortante Δ_{cr} , que es una simplificación del desplazamiento crítico cortante de las grietas en la caras a nivel del refuerzo longitudinal, puede ser determinado por el balance de energía de toda el sistema viga (Yang, 2014).

Una vez que se conoce la forma de la grieta es posible considerar un diagrama de cuerpo libre y evaluar las fuerzas que están aplicadas. El diagrama ayuda a resolver la razón del comienzo repentino de cierta grieta.

Simplificaciones del modelo en base al desplazamiento cortante crítico.

El criterio de falla cortante está definido en base al desplazamiento cortante crítico Δ_{cr} , es decir, que la relación fuerza cortante-desplazamiento es relevante en la capacidad máxima cortante de los elementos.

Simplificación del patrón de agrietamiento

El patrón de agrietamiento está definido por la altura y ancho, las mismas que están fuertemente relacionadas, determinadas por la fuerza cortante que se transmiten por el trabazón de agregados. El perfil de agrietamiento está caracterizado por la forma del patrón de agrietamiento y la distribución de la apertura de la grieta.

Yang (2014) menciona lo siguiente en cuanto a la simplificación del patrón de agrietamiento:

1. La forma del agrietamiento por flexión se relaciona con M/Vd de la sección agrietada. Secciones con menor M/Vd tienen mayor inclinación. Cuando hay relaciones M/Vd mayores a 3 la influencia de la razón es menos significativa.
2. Se consigue menor capacidad cortante cuando la grieta inclinada es mayor. No obstante, en este tipo de elementos es necesario un momento mayor para iniciar agrietamiento por flexión.
3. En secciones con valores altos de M/Vd , la apertura de una grieta tiene un rol importante. Las grietas inclinadas suelen estar localizadas cerca del punto de carga. Es decir, a mayores M/Vd mayores ancho de grieta consecuentemente menos resistencia a corte.

Evaluación de la capacidad cortante de una viga de hormigón armada basada en desplazamiento crítico vertical.

Variables que intervienen en la evaluación del desplazamiento crítico

Para llevar a cabo la evaluación de la teoría del desplazamiento crítico intervienen las siguientes variables tanto para hallar el valor de V_{ai} (Cortante absorbido

por el trabazón de agregados), V_{dw} (Corte absorbido por el efecto del refuerzo longitudinal) y V_c (corte absorbido por el hormigón).

1. Variables que intervienen en V_{ai}

- s_{cr} es la altura de la grieta completamente desarrollada que se define por la siguiente expresión.

$$s_{cr} = (1 + \rho_s * ne - \sqrt{(2 * \rho_s * ne + (\rho_s * ne)^2)}) * d$$

$$ne = Es/Ec;$$

Donde ρ_s es la cuantía de acero del refuerzo longitudinal, Es es el módulo de Young del acero y Ec el módulo de Young del hormigón.

- $l_{cr,m}$ es el promedio de espaciamiento de las grietas. Que queda definida por la ecuación que se muestra a continuación, donde k_c se asume como 1.28 (Krips, 1985)

$$l_{cr,m} = \frac{s_{cr}}{k_c}$$

- w_b es ancho de la grieta al nivel del refuerzo longitudinal en tensión. Si se desprecia la deformación unitaria del hormigón y se toma en cuenta la deformación unitaria del acero.

$$w_b = l_{cr,m} \varepsilon_s$$

- Δ_{cr} es el desplazamiento cortante.

En la Figura 4 se puede apreciar las variables antes mencionadas.

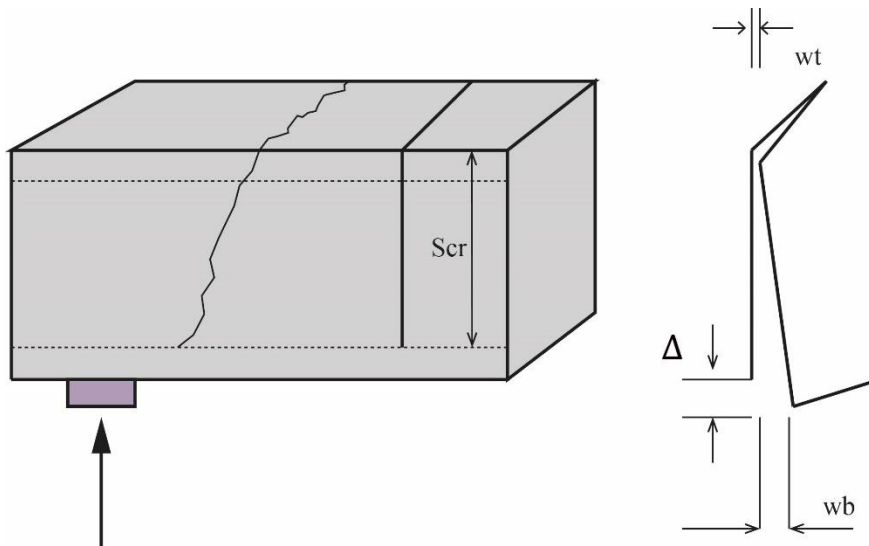


Figura 4: Simplificación del agrietamiento (Yang, etal. 2017)

2. Variables que intervienen en Vdw

Las principales variables que intervienen en para calcular Vdw es bn y $f'c$.

La variable bn es el ancho libre de la viga, es decir. $(b - n\phi)$.

3. Variables que intervienen en Vc , son la altura del zona de compresión z_c y el brazo de nivel interno z . No obstante la expresión puede ser reemplazada por la altura efectiva d y la altura de la grieta.

$$\frac{2 z_c}{3 z} = \frac{d - s_{cr}}{d + 0.5s_{cr}}$$

Procedimiento de evaluación

El procedimiento de evaluación de la capacidad a cortante de una viga de hormigón armado sin refuerzo cortante bajo ciertas cargas se describe a continuación:

Paso 1: Calcular la máxima fuerza cortante soportada por la acción de pasadores.

De donde se asume que la máxima fuerza por el refuerzo longitudinal se da cuando

se alcanza Δ_{cr} . La expresión propuesta para capturar esta fuerza es gracias a Bauman y Rüsç (1970)

$$V_{d\ max} = 1.64 b_n \phi^3 \sqrt{f_c} \quad (1)$$

Paso 2: Comenzar con un valor de fuerza cortante V_u , calcular el momento en la sección y el ancho de grieta w_b .

$$M_d = V_u d \frac{M}{V_d}$$

$$w_b = \frac{M_d}{z A_s E_s} l_{cr,m}$$

Paso 3: Determinar el desplazamiento crítico cortante Δ_{cr} , que se desarrolla en la grieta secundaria a lo largo del refuerzo a tensión. Es un valor constante ya que depende únicamente de la atura efectiva

$$\Delta_{cr} = \frac{d}{29800} + 0.005 < 0.025mm$$

Paso 4: Evaluar la fuerza soportado por el efecto trabazón de agregados con Δ_{cr} y w_b

$$V_{ai} = f_c^{0.56} s_{cr} b_w \frac{0.03}{w_b - 0.01} (-978\Delta^2 + 85\Delta - 0.27)$$

Paso 5: Calcular la fuerza cortante transferida en la zona de hormigón a compresión. Se la calcula con la aproximación de Mörsch (1909) de donde se asume una distribución lineal de esfuerzos en la zona de compresión e ignorando el esfuerzo residual a tensión.

$$V_c = \frac{2 z_c}{3 z} V = \frac{d - s_{cr}}{d + 0.5 s_{cr}} V$$

Paso 6: Recalcular la fuerza cortante V_u de toda la sección, repetir desde el paso 2 hasta paso 6 hasta que el valor de V_u converga.

$$V_u = V_c + V_d + V_{ai}$$

El proceso se encuentra resumido en la Figura 5, como se muestra a continuación.

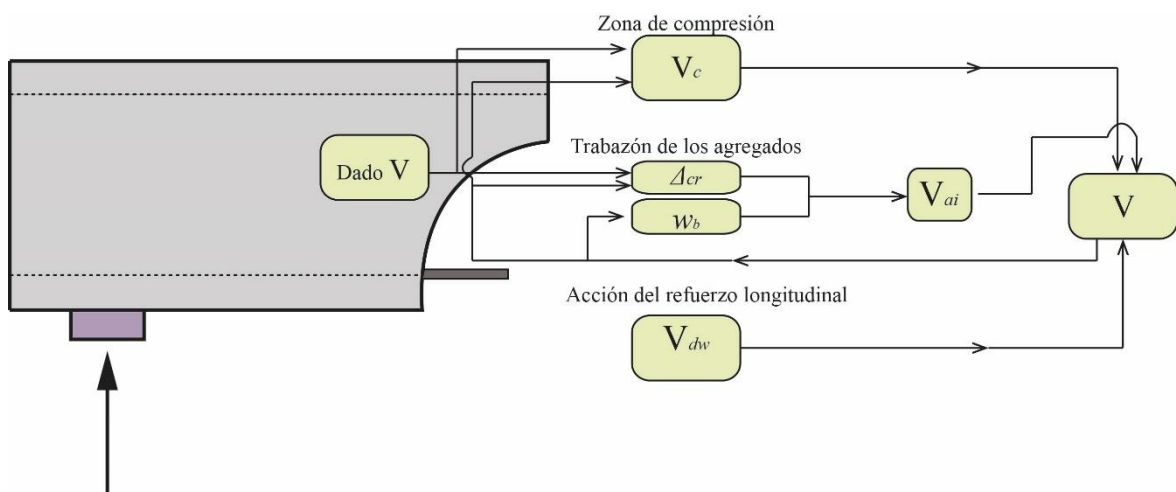


Figura 5: Diagrama de flujo proceso de evaluación teoría del desplazamiento crítico cortante.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN (CAPÍTULO 3)

Una vez que se tiene el procedimiento para calcular la fuerza cortante resistida sin efecto de fibras como se mostro en capítulo anterior en el procedimiento de evaluación; se realizó el procedimiento descrito en la Figura 6.

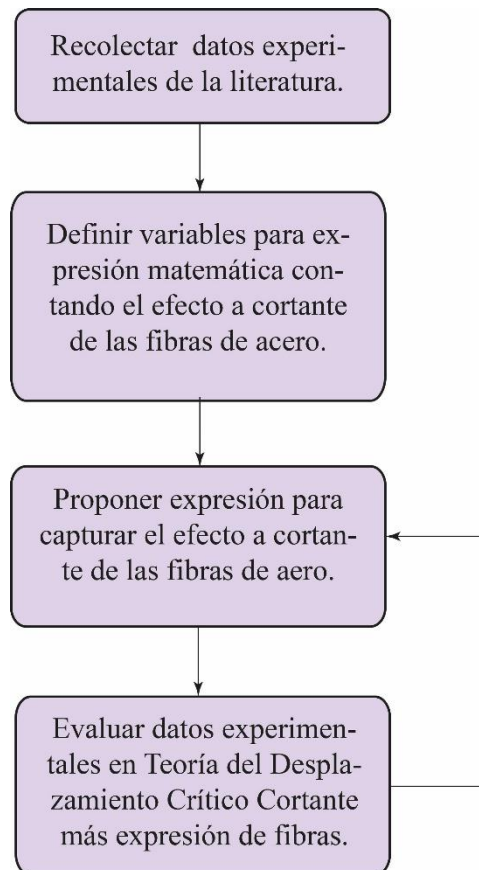


Figura 6: Proceso de investigación.

Recolectar datos experimentales de la literatura

Para poder comprobar la teoría propuesta fue necesario recolectar datos experimentales de la literatura que cuenten con la información necesaria para poder evaluar, los datos se encuentran en los anexos.

Algunas de las variables necesarias que debían ser obtenidas de los distintos experimentos realizados a lo largo de los años fueron los siguientes.

- 1) Diámetro de los agregados
- 2) Relación M/V
- 3) Ancho de viga
- 4) Peralte de viga
- 5) Cuantía de acero en cada viga
- 6) Configuración del refuerzo longitudinal
- 7) Porcentaje de fibra de acero en la viga
- 8) Longitud y diámetro de la fibra de acero

A lo largo del proceso de recolección de datos, se encontraron investigaciones que no contaban con toda la información necesaria para poder ser considerada. En el caso de que la configuración del refuerzo longitudinal no estuviera disponible es posible encontrar una configuración equivalente. Se basa en suponer una configuración de cuatro varillas, el diámetro se lo obtiene de la cuantía, altura efectiva y ancho de la viga. Se obtuvo información de 174 experimentos que se realizaron en vigas de hormigón no armadas con refuerzo transversal y con contenido de fibras de acero, los datos se encuentran en el Anexo A.

Definir variables para expresión matemática

Las fibras de acero alteran la respuesta a tensión de las vigas, incrementa la ductilidad y el control de agrietamiento. Por tanto, se puede resumir el rol de las fibras en dos aspectos. El primero, las fibras transfieren la tensión a lo largo de las grietas diagonales. La segunda, controla la abertura del agrietamiento diagonal; las fibras permiten que se transfiera cortante adicional a lo largo del trabazón de agregados e incluso incrementa la acción del refuerzo longitudinal (Dinh, Parra-Montesino, & Wight, 2011).

Las fuerzas a tensión transferidas a lo largo de la grieta inclinada mediante la tensión de las fibras dependen del ancho de grieta. Para poder estimar el valor de la fuerza, se suele emplear una constante de esfuerzo a tensión deseada, una de las distribuciones de las fibras se muestra en la Figura 7. La distribución se asume a lo largo de la longitud del agrietamiento diagonal crítico. La distribución de esfuerzos de la fibra depende del número de fibras por unidad de área y de la fuerza pullout por fibra. En el corte transversal como se presenta en la Figura 8 se puede observar la distribución de fuerzas y esfuerzos que se asume en vigas reforzadas con fibras de acero en el hormigón.

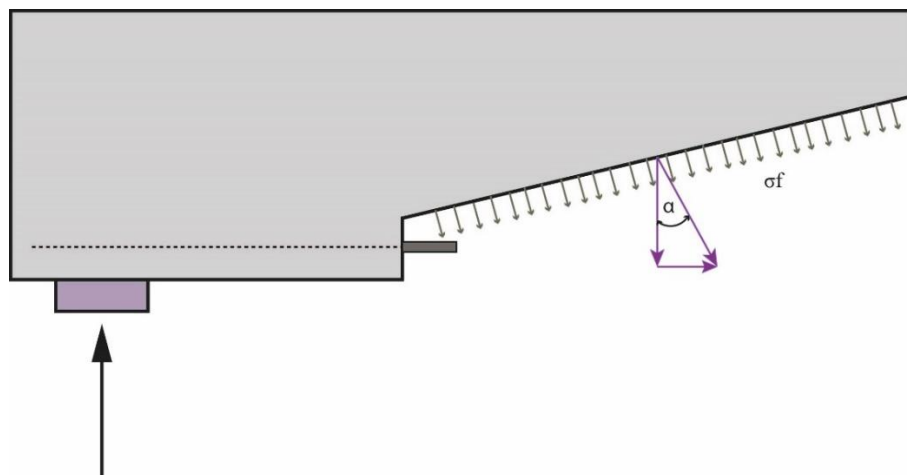


Figura 7: Representación de esfuerzo por fibras de acero en viga de hormigón

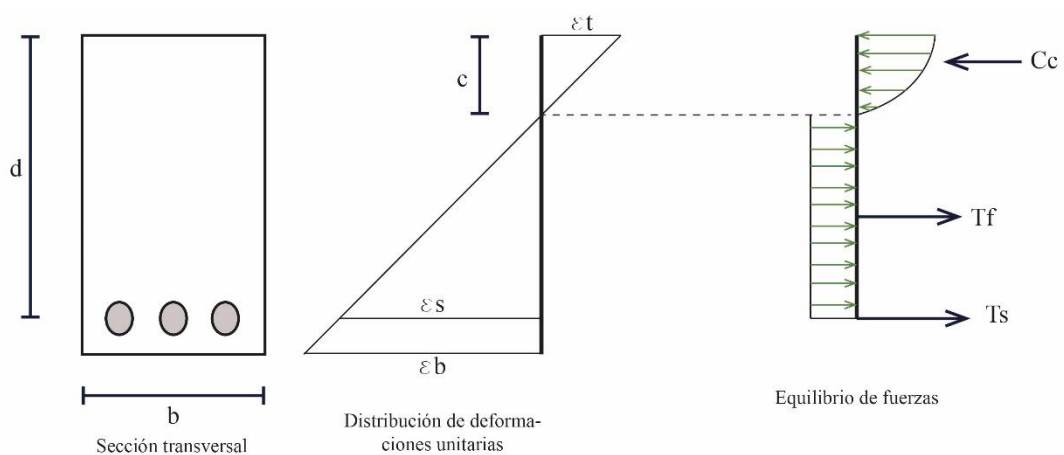


Figura 8: Distribución de deformación unitaria y equilibrio de fuerzas en vigas de hormigón reforzado con fibras de acero.

Proponer expresión matemática

Muchas ecuaciones basadas en experimentación y análisis teóricos han sido propuestas para calcular la capacidad cortante de las vigas de hormigón reforzado con fibras de acero. Las ecuaciones se suelen dividir en dos categorías presentadas a continuación.

La primera categoría considera que las fibras de acero influyen directamente en el análisis de la capacidad a cortante del hormigón. La influencia de las fibras se determina por la resistencia a la tracción de los cilindros (split tensile cylinder) o por el módulo de rotura, es decir, no se considera las características propias de las fibras.

La segunda categoría de ecuaciones considera las propiedades de resistencia cortante que provee las fibras de acero comparado con la resistencia de los hormigones convencionales sin estribos. En esta categoría se involucra las propiedades de las fibras, que son generalmente expresadas por el factor de fibra, F . El factor de fibra lo proponen Narayanan & Palajian (1984) y se presenta a continuación.

$$F = \left(\frac{L}{D}\right) \cdot V_f \cdot D_f$$

Donde:

L es la longitud de la fibra,

D es el diámetro de la fibra

$\frac{L}{D}$ es el aspecto de razón de fibra

V_f es el volumen en porcentaje de fibra en mezcla

D_f es el factor de adherencia, que varía de 0.5 a 1.0 dependiendo del tipo de fibra y matriz de hormigón.

Para proponer la expresión se buscó en la literatura las ecuaciones que capturan el cortante que resisten por las fibras.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de las ecuaciones encontradas en la literatura, muchas de ellas requieren de información con la que no se contaba para realizar la evaluación correspondiente.

Tabla 1: Propuestas de ecuaciones que capturan el cortante resistido por fibras

Autor	Ecuación	Terminología
Recomendación francesa (AFGC-Sétra) (2002)	$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,f} + V_{Rd,s}$ $V_{Rd,c} = 0,21 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$ $V_{Rd,f} = \frac{A_{fv} \sigma_{Rd,f}}{\tan \theta}$ $A_{fv} = b_w \cdot z = 0,9 \cdot b_w \cdot d$ $\sigma_{Rd,f} = \frac{1}{K} \cdot \frac{1}{w_{lim}} \cdot \int_0^{w_{lim}} \sigma(w) \cdot dw$ $w_{lim} = \max(w_u, w_{max})$	<p>$V_{Rd,c}$: Término de la participación del hormigón.</p> <p>$V_{Rd,f}$: Término de la participación de la fibra.</p> <p>$V_{Rd,s}$: Término de la participación de acero transversal.</p> <p>$\sigma_{Rd,f}$: Resistencia a tensión residual.</p> <p>b_w : ancho de viga</p> <p>d: ancho efectivo</p> <p>z: 0,9.d; brazo interno</p> <p>A_{fv}: Área de participación de fibras</p> <p>w_{lim}: límite nominal de ancho de grieta</p> <p>θ: ángulo de arriostramiento</p> <p>w_u: agrietamiento último</p> <p>w_{max}: agrietamiento máximo</p>

		K : coeficiente de orientación de fibras
International Model Code (2012)	$V_{Rd,f} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot \left[100 \cdot \rho_l \cdot \left(1 + 7,5 \cdot \frac{f_{Ftuk}}{f_{ctk}} \right) \cdot f_{ck} \right]^{1/3} + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} b_w \cdot d [N]$	$V_{Rd,f}$: Término de la participación de la fibra. $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$; factor de efecto de tamaño. ρ_l : cuantía refuerzo longitudinal f_{ctk} : resistencia a la tensión del hormigón. f_{ck} : resistencia a compresión (cilindros) $\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c < 2$; promedio esfuerzo en el hormigón por carga axial.
Narayanan and Darwish (1985)	$v_{cf} = 0,24f'_{spfc} + 20\rho \frac{d}{a} + 0,5F$ $F = \frac{L_f}{D_f} V_f d_f$ $f'_{spfc} = \frac{f_{cuf}}{20 - \sqrt{f}} + 0,7 + \sqrt{F}$	v_{cf} : Resistencia al agrietamiento por cortante a : vano cortante d : altura efectiva F : Factor de fibra D_f : Diámetro de fibra

	$v_{uf} = e \left[0,24f'_{spfc} + 80\rho \frac{d}{a} \right] + v_b$	<p>L_f: Longitud de fibra</p> <p>V_f: Porcentaje fibra</p> <p>d_f: factor que toma en cuenta la diferencia de adherencia, según tipo de fibra.</p> <p>ρ: cuantía refuerzo longitudinal</p> <p>f'_{spfc}: "Split cylinder strength</p> <p>f_{cuf}: resistencia de cubos con fibras en hormigón.</p> <p>$e = 1$ cuando $\frac{a}{d} > 2,8$</p> <p>$e = 2,8 \frac{d}{a}$ cuando $\frac{a}{d} < 2,8$</p> <p>$v_b: 0,41\tau F$</p> <p>$\tau = 4,15 MPa$; promedio de esfuerzo de adherencia en la interfaz de la matriz de fibra.</p>
--	--	---

<p>Ashour, Hasanain & Wafa (1992)</p>	<p>Para $\frac{a}{d} > 2,5$</p> $v_u = \left(2,11 \sqrt[3]{f'c} + 7F\right) \left(\rho \frac{d}{a}\right)^{0,333}$ $F = \frac{L_f}{D_f} V_f d_f$ <p>Para $\frac{a}{d} < 2,5$</p> $v_u = \left(2,11 \sqrt[3]{f'c} + 7F\right) \left(\rho \frac{d}{a}\right)^{0,333}$ $+ v_b \left(2,5 - \frac{a}{d}\right)$ $v_b = 1,7F$	<p>a: vano cortante</p> <p>d: altura efectiva</p> <p>ρ: cuantía refuerzo longitudinal</p> <p>F: Factor de fibra</p> <p>D_f: Diámetro de fibra</p> <p>L_f: Longitud de fibra</p> <p>V_f: Porcentaje fibra</p>
<p>Dinh et al. (2011)</p>	$Vu = V_{cc} + V_{FRC}$ $V_{cc} = 0.11f'c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b = 0,13A_s f_y$ $V_{FRC} = T_f \cos \alpha = [\sigma_{fu} b (d - c) \cot(\alpha)]$	<p>V_{FRC}: Resistencia cortante fibras</p> <p>V_{cc}: Resistencia a cortante del hormigón.</p> <p>A_s: Área del refuerzo longitudinal</p>

	$\sigma_{fu} = N \cdot f$ $N = 0,5 \frac{V_f}{\pi r_f^2}$ $f = \tau \pi D_f d_f \frac{l_f}{4}$ $\tau = 0,75 \sqrt{f'c}$	<p>f_y: tension reinforcement of yield strength</p> <p>σ_{fu}: esfuerzo resistido por fibras</p> <p>N: Número de fibras en na unidad de área de la grieta inclinada.</p> <p>f: fuerza de extracción (pullout)</p> <p style="text-align: center;">r_f</p> <p>D_f: Diámetro de fibra</p> <p>L_f: Longitud de fibra</p> <p>V_f: Porcentaje fibra</p> <p>α: inclinación ángulo de inclinación de la grieta diagonal.</p>
--	---	---

Kwak, etal (2002)	$v_u = Ae f_{spfc}^{exp1} \left(\rho \frac{d}{a} \right)^{exp2} + B v_b^{exp3}$ $v_b = 0,41. \tau. F$ $e = 1 \quad \frac{a}{d} \leq \frac{a}{d} \text{ transición}$ $A = 2,1$ $B = 0,8$ $a/d \text{ transición} = 3,5$ $exp1 = 0,7$ $exp2 = 0,22$ $exp = 0,97$	<p>f_{cuf}: Resistencia a compresión de cubos de hormigón con fibras.</p> <p>f_{spfc}: Resistencia de Split-cilindros de hormigón con fibras.</p>

	$v_u = 3,7ef_{spfc}^{2/3} \left(\rho \frac{d}{a}\right)^{1/3} + 0,8v_b^{0,97}$ $f_{spfc} = \frac{f_{cuf}}{20 - \sqrt[2]{F}} + 0,7 + \sqrt[2]{F}$	
Matthys & Soetens (2010)	$V = \left[k_v \sqrt{1 + k_p} \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) \left(3 \frac{d}{a} \rho_1 \right)^{1/3} \sqrt{f_{cm} + f_{Ftu}^*} (1 + 4k_p) \right] b_w z$ $k_p = \frac{\sigma_{cp}}{f_{ck}}$	<p>a: vano cortante</p> <p>d: altura efectiva</p> <p>ρ: cuantía refuerzo longitudinal</p> <p>σ_{cp}: esfuerzo a compresión</p> <p>f_{ck}: esfuerzo preesforzado resistencia a la compresión</p>

Casanova & Rossi (1997)	$V_f = 0,9. b. d. \frac{1}{w_m} \int_0^{w_m} \sigma_f(w). dw$	w_m : ancho de grieta σ_f : esfuerzo residual post-agrietamiento.
-------------------------	---	---

Después de analizar las ecuaciones obtenidas de la literatura se decidió emplear las siguientes ecuaciones.

La primera de ellas es la modificación de Singh y Jain (2014) de la ecuación propuesta por Dinh, et al. (2011).

$$V_{FRC} = T_f \cos \alpha = [\sigma_{fu} b (d - c) \cot(\alpha)]$$

Donde

T_f : es la resultante de la tensión de la fibra a lo largo de la grieta diagonal.

d : es la altura efectiva de la viga.

σ_{fu} : es el esfuerzo tensión resistido por las fibras por unidad de área en la grieta inclinada de

$$\sigma_{fu} = N \cdot f$$

Donde el número de fibras a lo largo de una unidad de área de la grieta inclinada N es una estimación de la ecuación de Hannant (1978) y f es el promedio de la fuerza pullout por fibra.

$$N = 0.5 \frac{V_f}{\pi r_f^2}$$

De la ecuación antes expuesta V_f es la fracción de volumen de las fibras y r_f es el radio equivalente de la fibra. Adicionalmente, f se define a continuación

$$f = \tau \pi D_f d_f \frac{l_f}{4}$$

De la expresión anterior τ es el promedio en pegamento de la interfaz fibra-matriz. D_f es el factor de adherencia de fibra (=1 para fibras hooked-end y 0.75 para fibras crimped); l_f y d_f son la longitud y el diámetro.

$$\tau = 0.85\sqrt{f'c} \text{ (para hooked-end)}$$

$$\tau = 0.75\sqrt{f'c} \text{ (para crimped)}$$

Lo antes expuesto lo compilo Khuntia, etal. (1999). De las ecuaciones antes expuestas se obtiene la expresión de la resistencia a cortante de las fibras.

$$V_{FRC} = \left[0.5\tau D_f V_f \frac{l_f}{d_f} b(d - c) \cot(\alpha) \right]$$

Para el ángulo α el rango está entre 25 a 36 grados. Sin embargo, el uso de un ángulo de 30 grados es recomendable. Así mismo, el valor de inclinación de 29 gados como lo emplea Dinh (2011).

Para la segunda modelación se empleó la siguiente formulación de Mansur (1972).

$$V_{sf} = \sigma_{tu} \cdot b \cdot d$$

$$\sigma_{tu} = 0.41 \cdot \tau \cdot F$$

$$F = \frac{d_f V_f L_f}{D_f}$$

$$\tau = 0.68\sqrt{f'c}$$

Donde d_f es igual a uno (1) cuando se emplea fibras de acero del tipo end-hooked.

Para la tercera modelación se empleó la siguiente formulación de Lee, etal.

(2017).

$$V_{sf} = 0.41 \cdot V_f \cdot \tau_{max} \cdot \frac{L_f}{d_f} \cdot \rho_w \cdot b_w \cdot (d_s - c) \cdot \cot\theta$$

Donde

τ_{max} es la máxima resistencia a la adherencia de las fibras de acero.

b_w es el ancho de la viga en mm

L_f es la longitud de la fibra de acero

d_f es el diámetro de la fibra de acero

d_s es el peralte efectivo de la viga

c es la altura del eje neutro.

$\cot\theta$, se tomó como 1 ya que el ángulo era de 45° .

Para esta formulación se tomó como Δ_{cr} como máximo 0.025 para la primera iteración y 0.05 para la segunda iteración con la el modelo antes presentado para capturar de mejor manera la deformación en las vigas de hormigón reforzadas con fibras de acero.

COMPARACIÓN ENTRE LA FORMULACIÓN PROPUESTA Y RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA LITERATURA (CAPÍTULO 4)

Para realizar la evaluación de los datos obtenidos de la literatura se realizó programas en Matlab para poder realizar los cálculos. Se realizó cuatro programas; (4) para vigas I con cada una de las formulaciones, cuatro (4) para las vigas prismáticas con cada una de las formulaciones antes expuestas. En los Anexos se encuentran los códigos de Matlab correspondientes para cada modelado tanto para las vigas prismáticas (rectangulares) como para las vigas I.

De los 174 datos obtenidos de la literatura, que se encuentran en el Anexo B, se empleó únicamente 158 ya que se eliminó los datos con valores M/Vd menores a 2 ya que la teoría de desplazamiento crítico de cortante está restringida con esta condición.

Un gráfico comparativo de los resultados experimentales y las predicciones realizadas con los distintos modelos se presenta gráficamente para cada uno de los modelamientos en la Figura 9

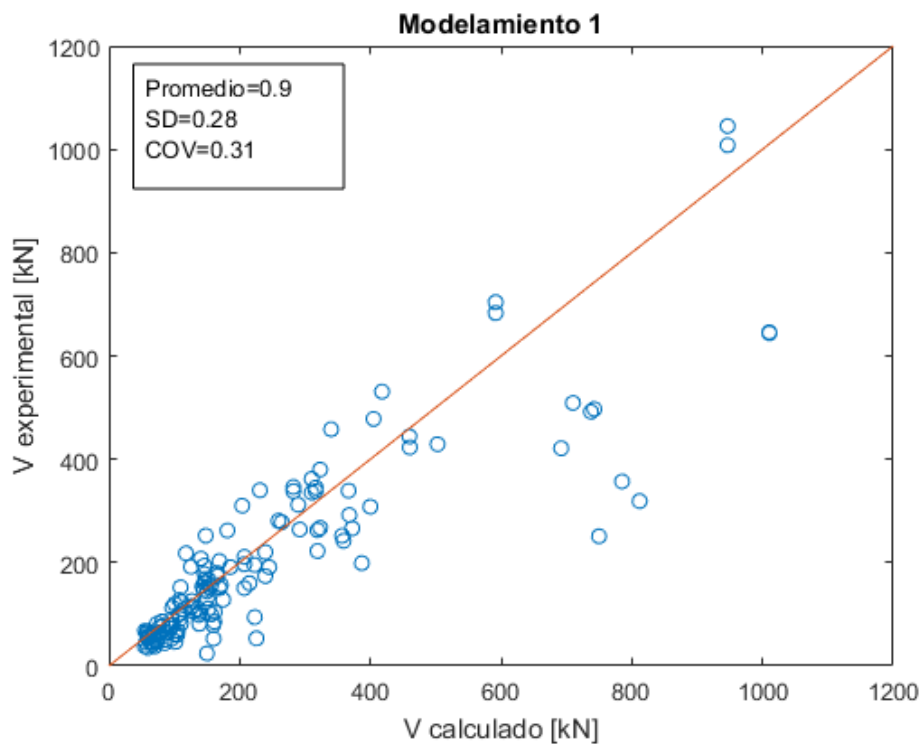


Figura 9: Relación $V_{\text{experimentales}}$ vs $V_{\text{calculado}}$ modelamiento 1

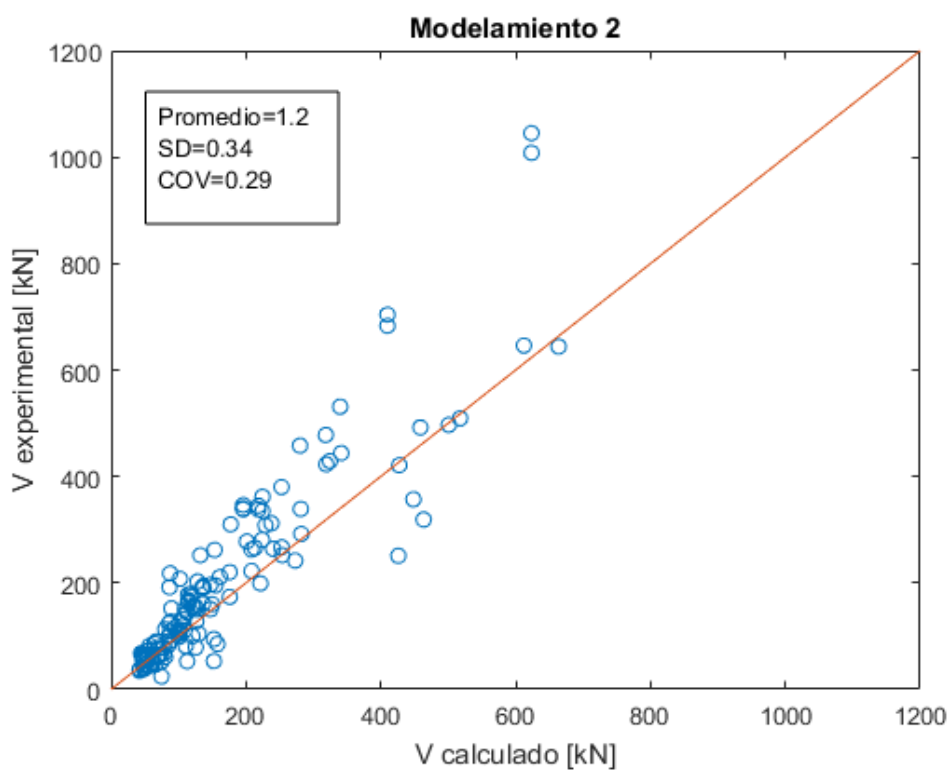
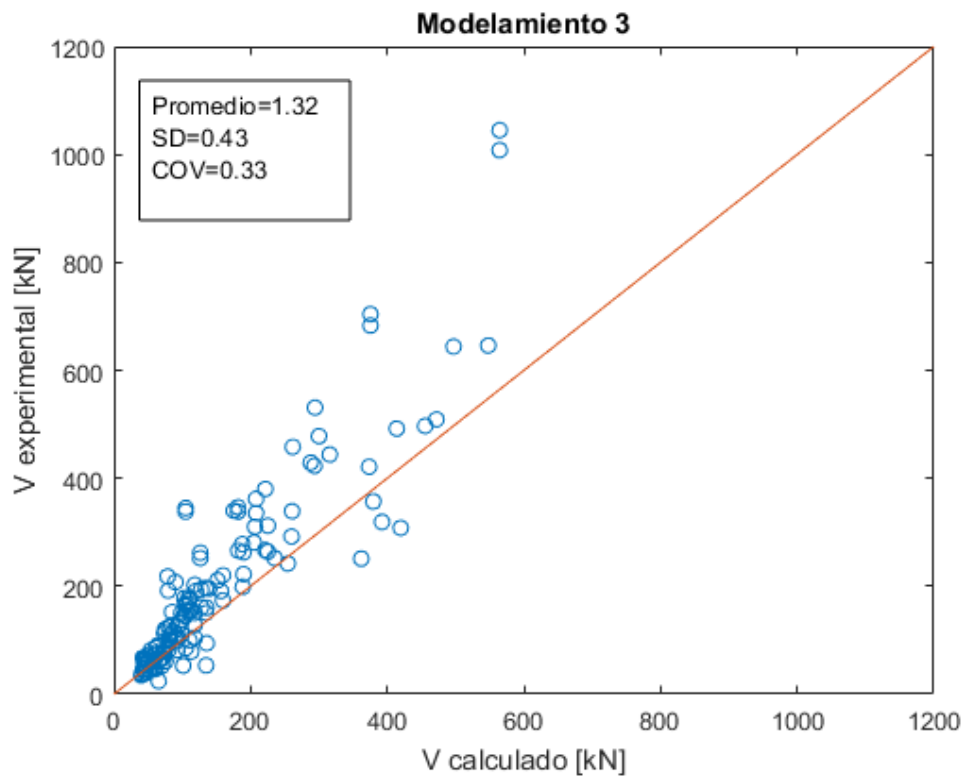
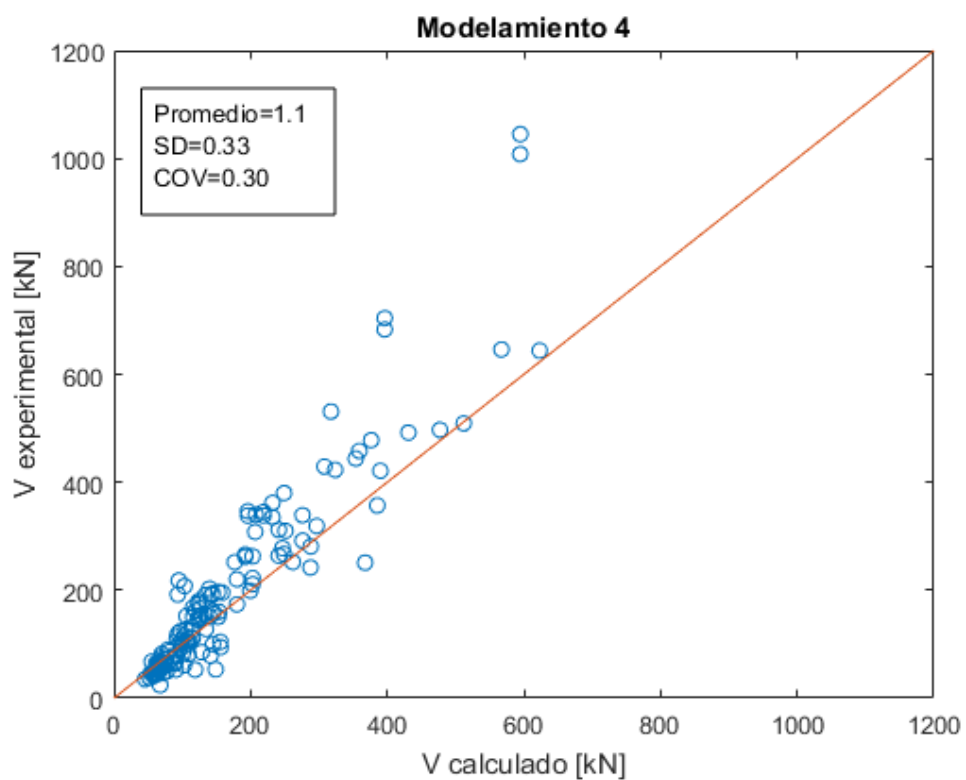


Figura 10: Relación $V_{\text{experimentales}}$ vs $V_{\text{calculado}}$ modelamiento 2

Figura 11: Relación $V_{\text{experimentales}}$ vs $V_{\text{calculado}}$ modelamiento 3Figura 12: Relación $V_{\text{experimentales}}$ vs $V_{\text{calculado}}$ modelamiento 4

A continuación, se presentan los gráficos para cada uno de los modelamientos. Los gráficos se graficaron la razón V_u/V_{cal} versus cada una de las variables que intervienen en la evaluación de la teoría del desplazamiento crítico cortante como lo son el ancho efectivo, peralte efectivo, diámetro del agregado, resistencia a la compresión del hormigón, relación M/Vd que se tomó como (a/d) y la cuantía del refuerzo longitudinal en la viga.

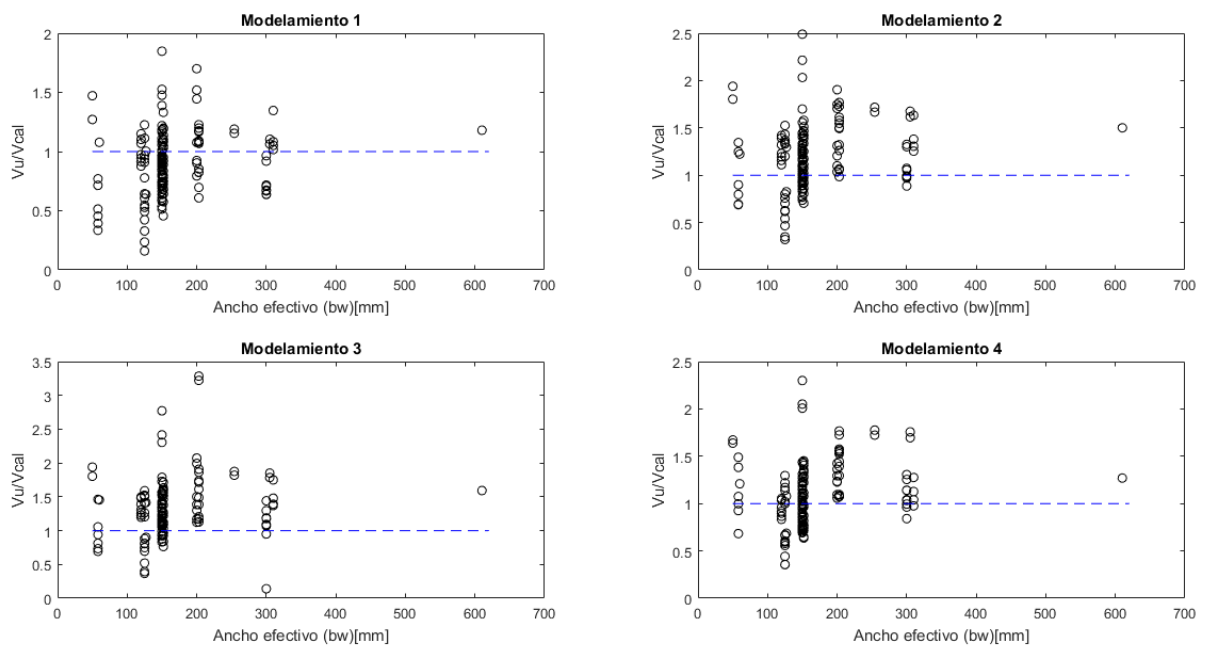


Figura 13: Relación V_u/V_{cal} vs. Ancho efectivo

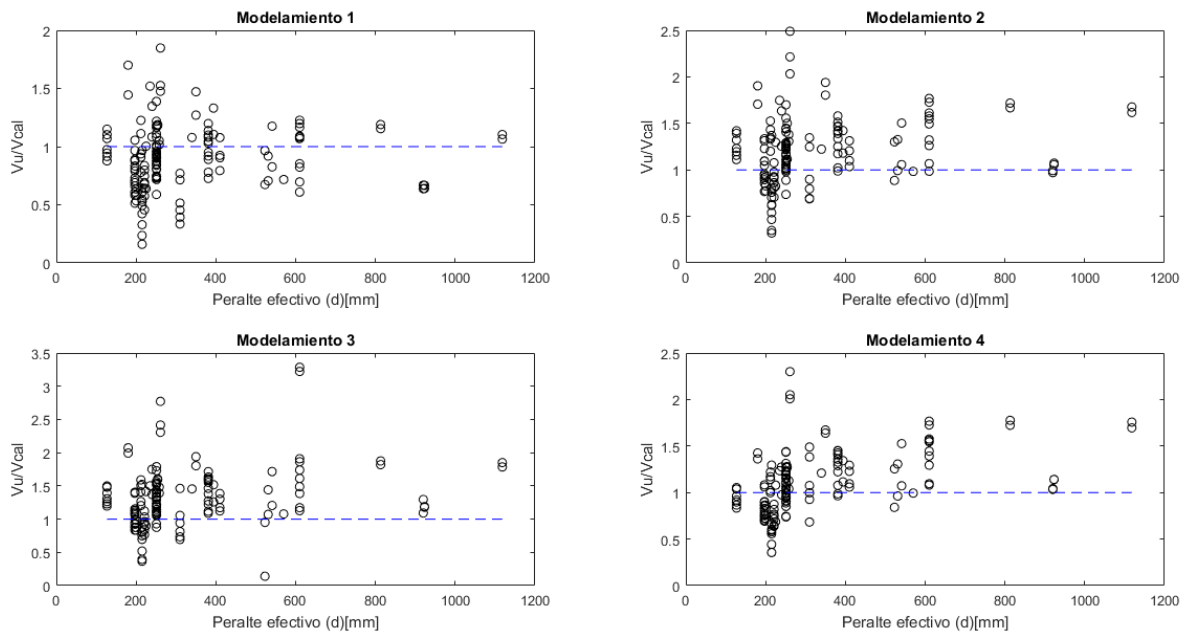


Figura 14: Relación V_u/V_{cal} vs. Peralte efectivo

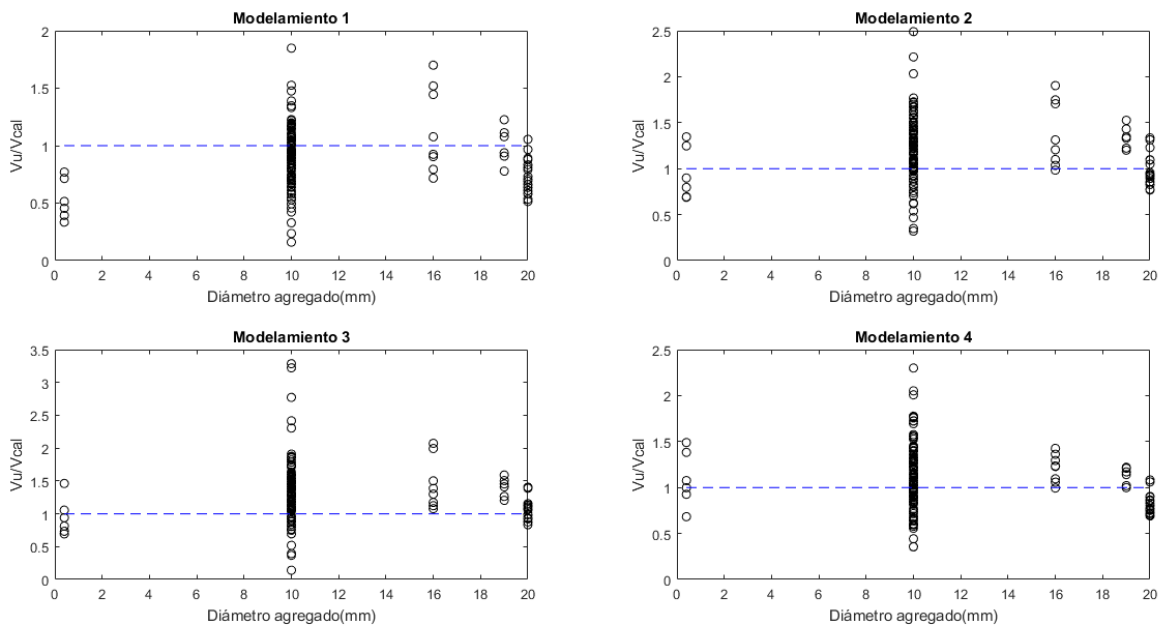


Figura 15: Relación V_u/V_{cal} vs. Diámetro agregado

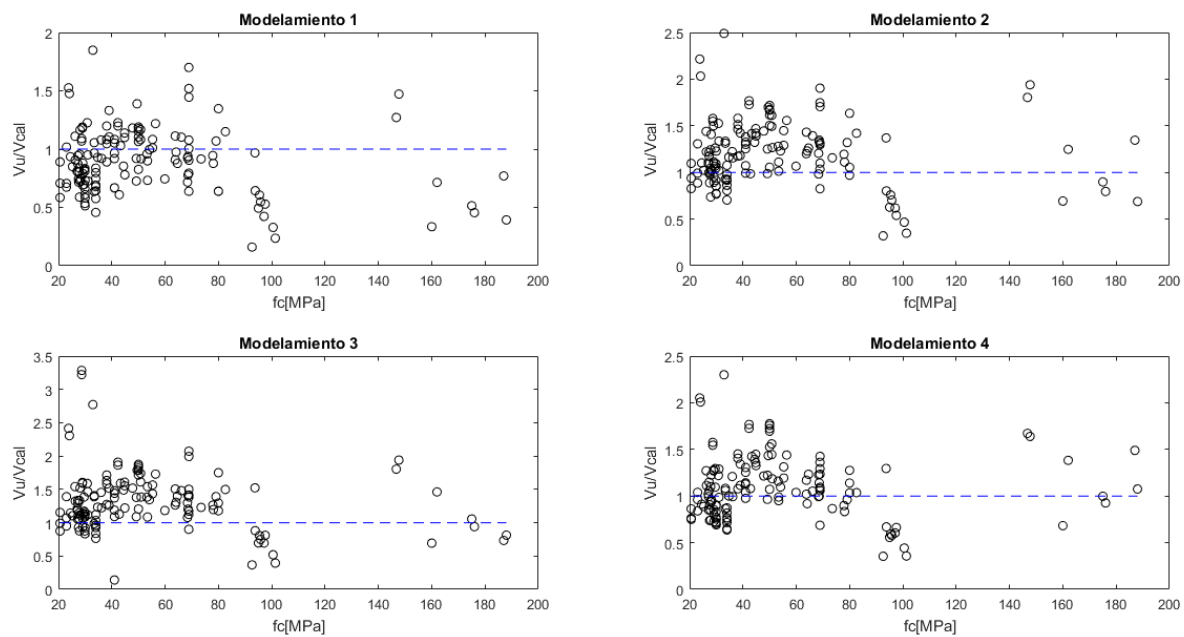


Figura 16: Relación V_u/V_{cal} vs. f_c .

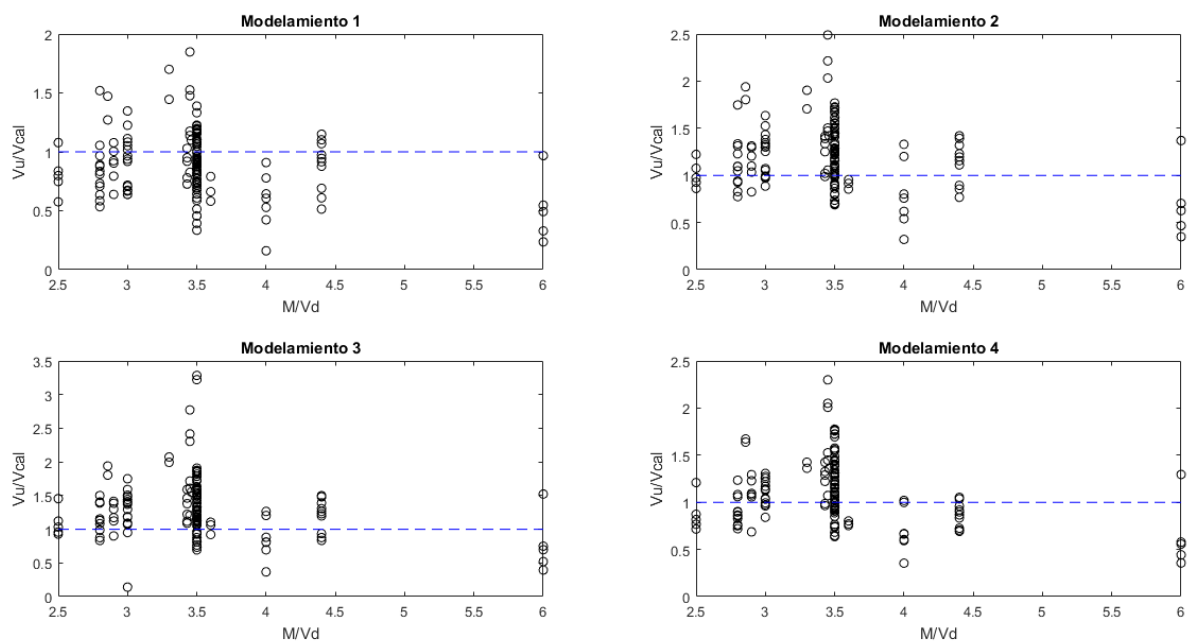


Figura 17: Relación V_u/V_{cal} vs. M/V_d

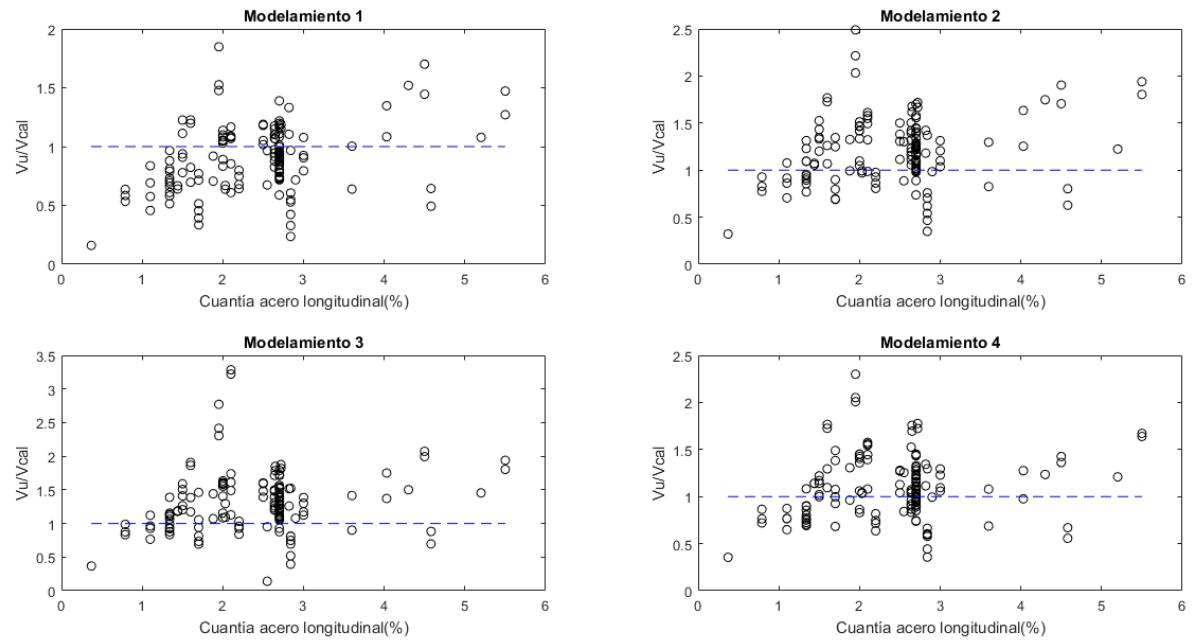


Figura 18: Relación V_u/V_{cal} vs. cuantía acero longitudinal

Así mismo, se graficaron la razón V_u/V_{cal} versus las variables que capturan la geometría, características de las fibras de acero en las vigas de hormigón.

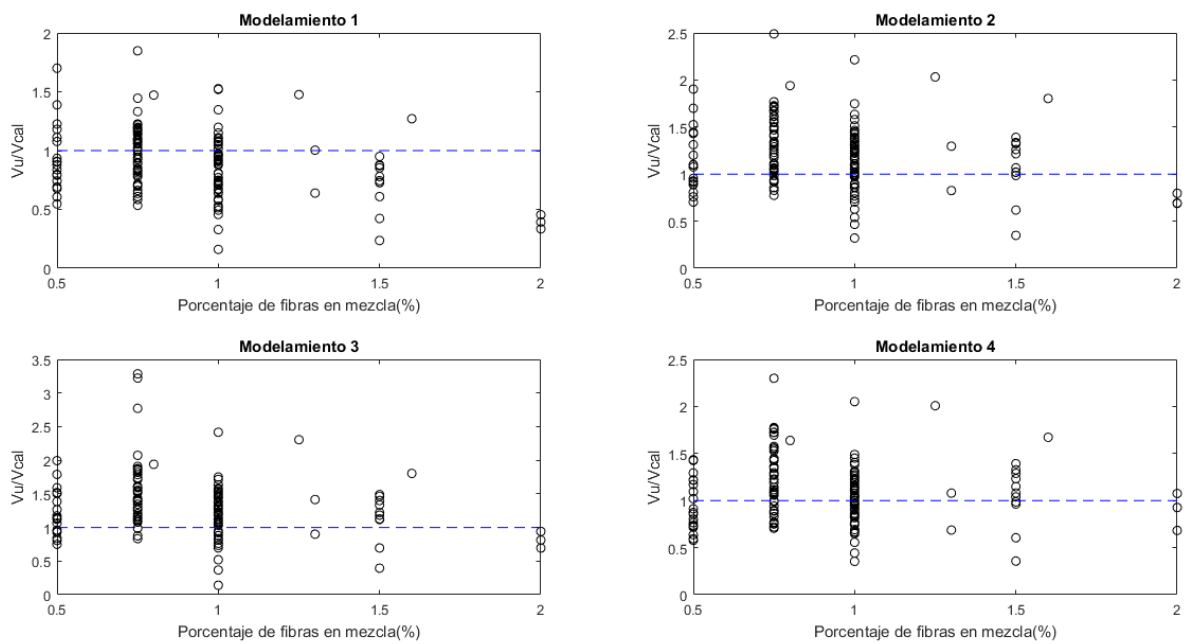


Figura 19: Relación V_u/V_{cal} vs. porcentaje de fibra en mezcla

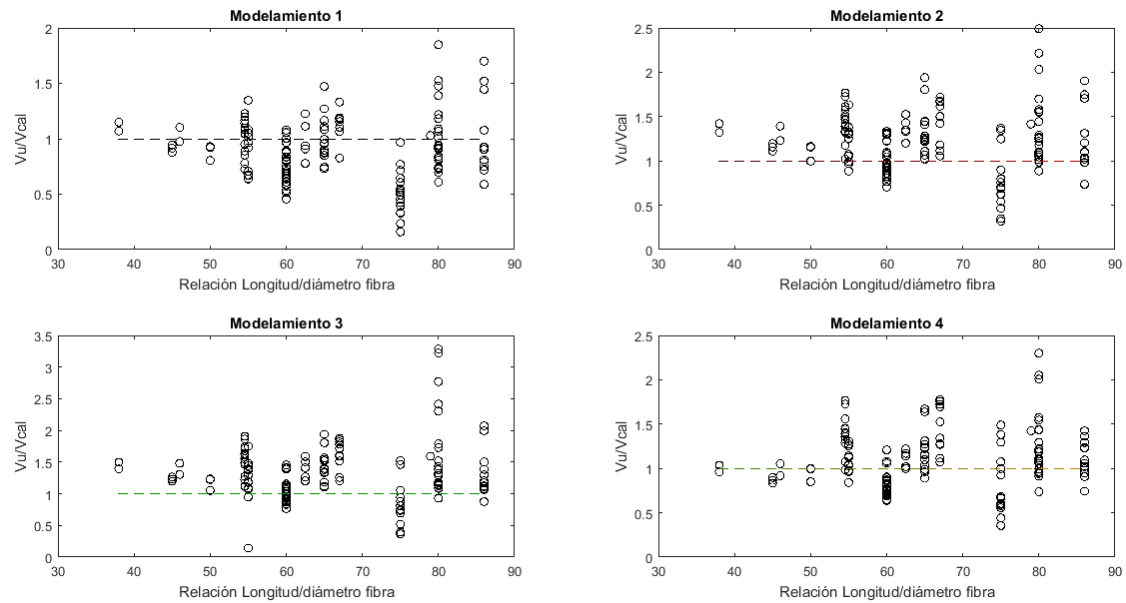


Figura 20: Relación V_u/V_{cal} vs. relación longitud/diámetro fibra

Después de haber evaluado los datos con las cuatro modelaciones se tabuló los datos con respecto a la razón V_u/V_{cal} , es decir, el valor de cortante último aplicado en cada uno de los experimentos respecto al cortante último calculado con cada una de las formulaciones, los resultados de las tabulaciones se encuentran en la Tabla 2.

Tabla 2: Resultados estadísticos de la modelación

	V_u/V_{cal1}	V_u/V_{cal2}	V_u/V_{cal3}	V_u/V_{cal4}
Promedio	0,90	1,20	1,31	1,10
Desviación estándar	0,28	0,34	0,44	0,33
Coefficiente de variación	0,31	0,29	0,34	0,30

Como se puede ver en la Tabla 2, la primera modelación da mejores valores estadísticos, a pesar de que se tenía un límite de delta crítico de 0.025mm. En general, todas las modelaciones dieron resultados alentadores en cuanto al uso de la teoría del

desplazamiento crítico cortante y añadiendo una expresión que capture el efecto de las fibras de acero en vigas de hormigón.

Según la Figura 16 se puede observar en el modelamiento 1 que para relaciones L_f/D_f entre 50 y 70 se obtiene valores V_u/V_{cal} más cercanos a uno (1), es decir, que el comportamiento de las vigas con esta restricción es mucho mejor. Adicionalmente, tener relaciones L_f/D_f entre 50 y 70 aumenta la resistencia de las fibras al pullout que es la principal falla que se puede dar en las fibras antes que alcance su máxima deformación. Por otro lado, el porcentaje de fibra en la mezcla también afecta el aporte de las fibras en la resistencia a corte de las vigas, valores entre 0.5 a 1.5% son suficientes y dan resultados positivos como se muestra en la Figura 15. Adicionalmente, porcentaje entre los valores antes mencionados permiten obtener mejor trabajabilidad en hormigón fresco.

Otro factor que es importante estudiar es el comportamiento de las vigas y el patrón de agrietamiento. Según Kwak, et al (2002), Dinh, et al (2011) y Shoaib, et al. (2014) el cortante crítico en vigas reforzadas con fibras de acero muestran múltiples agrietamientos inclinados seguido de un ensanchamiento de una grieta diagonal antes de la falla cortante. Los espaciamientos entre grietas reportadas en la literatura confirman que el espaciamiento de vigas con fibra se reduce en un 38% en comparación con vigas sin fibras de acero (Kwak, et al., 2002). El espaciamiento puede rondar entre $0.47d$ a $0.6d$ de manera que entre mayor sea el peralte efectivo (d) el espaciamiento es menor en vigas con peraltes menor (Shoaib, et al., 2014). El espaciamiento se vuelve crítico analizar ya que es uno de las variables que intervienen en la teoría del desplazamiento crítico. Adicionalmente, el efecto de altura interviene en las vigas con fibras ya que se ha determinado que vigas con mayores peraltes aumentan el ancho de la grieta (Carnovale & Vecchio, 2014). El comportamiento entre vigas con y sin fibras de acero difiere

considerablemente en el patrón de agrietamiento. Por tanto, la distribución de esfuerzos en las vigas es diferente consecuentemente la capacidad a cortante.

Se debe agregar que el efecto de trabazón de agregados se ve afectado cuando se agrega fibras de acero en vigas de hormigón incluso en moderadas fracciones; el efecto de la trabazón de agregados es reducido con la presencia de fibras de acero, esto se debe a que hay un aumento en el ancho de las grietas y como consecuencia la trabazón de agregados disminuye. (Walraven, 1981).

Simultáneamente, el efecto que tienen las fibras de acero en el comportamiento del refuerzo longitudinal es importante. Considerando que el Δ_{cr} en vigas con fibras tiende a aumentar, el aporte a resistir el cortante del refuerzo longitudinal es mayor que el que se tiene cuando no se emplea vigas. Es decir, ante vigas con fibras de acero aumenta el aporte a resistir cortante del refuerzo longitudinal y disminuye el aporte del agregado.

En cuanto al tipo de falla que presentan las vigas con fibras de acero se puede esperar que exista una falla a flexión y cortante combinado ya que las fibras de acero aumentan la ductilidad de las vigas. Tener vigas con mayor ductilidad son beneficiosas para evitar fallas frágiles muy comunes en vigas que fallan a corte puro.

En base a lo expuesto por Shoaib (2014) se debería tener un mayor control típicamente cuando $P > 0.9P_{max}$ ya que en ese punto hay un crecimiento rápido del ancho de la grieta diagonal. Conocer esta condición puede permitir determinar si la viga tiende a fallar más a flexión que a corte y de esta manera poder evaluar mejor el tipo de fallas en vigas reforzadas con fibras de acero.

CONCLUSIONES

Este trabajo de titulación ha introducido una expresión matemática a la Teoría del Desplazamiento Crítico Cortante. La ecuación introduce el aporte de las fibras de acero ante fuerzas cortantes en vigas de hormigón armado longitudinalmente sin refuerzo transversal.

Las variables que intervienen en la modelación de las fibras de acero se relaciona principalmente con la geometría; siendo las principales variables geométricas de fibras la longitud, diámetro y tipo de fibra de acero. Adicionalmente, el volumen de fibra presente en la mezcla, la resistencia promedio entre la adherencia fibra-matriz de hormigón, la eficiencia de adherencia de la fibra. En conclusión, el factor de fibra, F , captura el efecto de las fibras en vigas de hormigón.

Se concluye que limitando Δ_{cr} a $0.025mm$ y empleando la formulación de Singh y Jain la relación V_u/V_{cal} tiende a uno (1) y presenta menor desviación estándar. La ecuación propuesta por Lee, et al no dio resultados precisos utilizando Δ_{cr} a $0.025mm$, pero sí cuando se mejores efectos cuando se ocupó Δ_{cr} a $0.05mm$. Es decir, el modelamiento 1 y modelamiento 4 presentan mejores resultados y aproximaciones. Sin embargo, el modelamiento 4 tiene valores más conservativos comparando con los del modelamiento 1.

De los 174 datos analizamos que se encuentra en el Anexo B, se infiere que la resistencia a compresión f'_c no es un factor determinante ya que valores de entre 23 MPa a 93.7 MPa se obtiene relaciones V_u/V_{cal} entre 0.9 a 1.1. Adicionalmente, porcentajes de fibras de 0.5%, 0.8%, 1% y 1.5% brindan relaciones V_u/V_{cal} antes mencionadas.

RECOMENDACIONES Y FUTURO TRABAJO (CAPÍTULO 6)

Extender en trabajo futuro el estudio de las fibras en cuanto a los mecanismos de adherencia y como estos intervienen en el comportamiento de estas en las vigas podría llegar a ser muy útil. Ejemplo de los mecanismos adicionales que pueden ser estudiados están la interacción fibra fibra, la adherencia física o química y la fricción que existe entre el hormigón y la fibra. Esta última, se puede llegar a determinar de manera más precisa con experimentos de pullout.

Con lo antes mencionado, una sugerencia importante es considerar tener todos los valores que caracterizan mejor el comportamiento de las fibras. Es decir, conocer con precisión en la medida de lo posible los valores típicos que presentan los hormigones con fibra en cuanto a f'_{spfc} resistencia de Split-cilindros de hormigón con fibras f_{ctk} resistencia a la tensión del hormigón. Estos valores, permiten modelar con otras formulaciones expuestas en la literatura; ya que como se mencionó en el Capítulo 3 se puede modelar en base a módulos de rotura o por la resistencia a la tracción de los cilindros (split tensile cylinder).

Algunas recomendaciones adicionales que se pueden tomar en cuenta para la parte experimental es realizar vigas prismáticas rectangular y vigas con configuración tipo I. Habría que decir también, que vigas con cuantías de refuerzo longitudinal entre 1-3% se recomiendan para trabajos experimentales futuros.

Sugerencias a tomar en cuenta al tipo de fibra a emplear en el diseño experimental, es usar fibra con relaciones $\left(\frac{L}{D}\right)$ entre 50 y 100. Adicionalmente, porcentajes de fibra entre 0.5 a 2 para tener buena trabajabilidad del hormigón fresco

Así mismo, realizar especímenes con relaciones M/Vd mayores a 2.5 son altamente aconsejables, ya que es posible evaluar con la teoría del desplazamiento crítico. Otro rasgo a considerar para la parte experimental es la altura efectiva de las vigas, se debería incluir vigas con peraltes variados para capturar el efecto de altura y así analizar el comportamiento de las vigas con fibras ante esta variable.

Adicionalmente, de ser posible realizar DIC para tener mejor resultados y ver el comportamiento de las vigas cuando se va cargando, sobre todo para poder tener registro del proceso y patrón de agrietamiento de las vigas de hormigón con fibras de acero.

Se debería extender el estudio para analizar cómo se desarrolla el espaciamiento y altura de las grietas en las vigas reforzadas con fibras de acero. Profundizar en este tema se puede llegar a conocer cómo estas variables afectan la teoría del desplazamiento crítico cortante. De igual forma, extender el estudio para conocer la interacción que se desarrolla entre el refuerzo longitudinal y fibras con el fin de comprender su efecto en el desplazamiento cortante. Finalmente, analizar el efecto de las fibras de acero en la trabazón de agregados.

REFERENCIAS

- ACI Committee 318. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary. En A. C. Institute. Farmington Hills, MI.
- Aoude, H., Belghiti, M., William, D. C., & Mitchell, D. (2012). Reponse of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams with and without Stirrups,. *ACI Structural Journal*, 359-367.
- Ashour, S., Hasanain, G., & Wafa, F. (1992). Shear Behavior of High-Strength Fiber Reinforced Concrete Beams. *ACI Structural Journal*, 176-184.
- Association, C. S. (2014). *Design of Concrete Structures*. Ontario, Canada: CSA.
- Baumann, T., & Rüsçh, H. (1970). Versuche zum studien der verdübelungswirkung verdübelungswirkung[Estudio experimental en la acción del pasador en vigas de hormigón armado. *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb)*.
- Bažant, Z. P., & Gambarova, P. (1980). Rough Cracks in Reinforced Concrete. *Journal of the Structural Division* , 819-842.
- Bažant, Z. P., & Kim, J. K. (1984). Size effect in shear failure of longitudinal reinforced beams. *ACI J.*, 456–468.
- Bažant, Z. P., Kim, J. K., & . (1984). “Size effect in shear failure of. *ACI J*, 456–468.
- Bentur, A. (2007). *Fibre Reinforced Cementitious Composites*,. New York: S. Mindess, ed.
- Bentz, E. C., Vecchio, F. J., & Collins, M. P. (2006). Simplified Modified Compression Field Theory for Calculating Shear Strength of Reinforced Concrete Elements. *ACI Structural Journal* , 614-624.
- Campana, S., Ruiz, M. F., & Muttoni, A. (2013). Analysis of shear-transfer actions on one-way RC members based on measured cracking pattern and failure kinematics. *Mag. Concr. Res.*, 386–404.
- Carnovale, D., & Vecchio, F. (2014). Effect of Fiber Material and Loading History on Shear Behavior of Fiber-Reinforced Concrete. *ACI Structural Journal*, 1235-1244.
- Casanova, P., & Rossi, P. (1997). Analysis and Design of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams. *ACI Structural Journal*, 595-602.
- Casanova, P., & Rossi, P. (1999). High-Strength Concrete Beams Submitted to Shear: Steel Fibers Versus Stirrups. *Special Publication ACI*, 53-58.
- Chana, P. S. (1987). Investigation of the mechanism of shear failure of reinforced concrete beams. *Mag. Concr.*, 196–204.
- Chunxiang,, Q., & Patnaikuni, I. (1999). Properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete beams in bending. *Elsevier Science*, 73-81.

- Collins, M. P. (1978). Towards a rational theory for RC members in shear. *J. Struct. Div.*, 649–666.
- Committee, N. B. (2016). *National Building Code of India*. New Delhi.
- Dinh, H. H., Parra-Montesino, J., & Wight, J. (2011). Shear Strength Model for Steel Fiber Reinforced Beams without Stirrup Reinforced. *ASCE Journal of Bridge, Structural, and Construction*, 15(6), 04011001.
- Engineering, F. A.-F. (2002). *Ultra high performance fibre-reinforced concretes*. Bagnaux, France.
- Evans, R. H., & Marathe, M. S. (1968). Microcracking and stress-strain curves for concrete in tension. *Matériaux et Constructions*, 61-64.
- Fenwick, R. C., & Paulay, T. (1968). "Mechanisms of shear resistance of concrete beams. *J. Struct. Div.*
- Fenwick, R. C., & Paulay, T. (1968). Mechanisms of shear resistance of concrete beams. *Journal of the Structural Division, ASCE*, 2325–2350.
- fib. (2012). *Model Code 2010*.
- Gamborava, P. (1981). *On Aggregate Interlock Mechanism in Reinforced Concrete Plates with Extensive Cracking*. Delf: Colloquium on Advanced Mechanics of Reinforced Concrete.
- Ghazavy-Khorasgany, M., & Gopalaratnam, V. (1993). Shear strength of concrete – size and other influences. *Proceedings of the JCI International Workshop on Size Effect in Concrete Structures*, (págs. 51-62). Sendai, Japón.
- Hameed, R., Turatsinze, A., Duprat, F., Sellier, A., & . (2009). Metallic Fiber Reinforced Concrete: Effect of Fiber Ratio on the Flexural Properties. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(5), 67-72.
- Hannant, D. J. (1978). *Fibers Cements and Fibers Concretes*. John Wiley &, 234.
- Hillerborg, A., Modéer, M., Petersson, P. E., & . (1976). Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements. *Cem. Concr. Res.*, 773–781.
- Institution., B. S. (2008). *Eurocode 2 : design of concrete structures: British standard*. London: BSi.
- Kani, G. N. (1964). The riddle of shear failure and its solution. *ACI Journal Proceedings*, 441-467.
- Kani, M. W., Huggins, M. W., & Wittkopp, R. R. (1979). *Kani on Shear in Reinforced Concrete*. Toronto, Canada: Department of Civil Engineering, University of Toronto.
- Khuntia, M., Stojadinovic, B., & Goel, S. C. (1999). Shear Strength of Normal and High-Strength Fiber Reinforced Concrete Beams without Stirrups. *ACI Structural Journal*, 282-289.

- Kim, D., Kim, W., & White, R. N. (1999). Arch action in reinforced concrete beams. *ACI Structural Journal*, 586–593.
- König, G., & Fischer, J. (1995). “Model uncertainties concerning design equations for the shear capacity of concrete members without shear reinforcement. *CEB Bulletin*, 49–100.
- Krips, M. (1985). Rißbreitenbeschränkung im Stahlbeton und Spannbeton [Ancho de grieta en hormigón armado y pretensado]. *Mitteilungen aus dem Institut für Massivbau der TH Darmstadt*, 84-85.
- Kwak, Y., Eberhard, M., & Kim, W. (2002). Shear Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams without Stirrups. *ACI Structural Journal*, 530-538.
- Lee, D. H., Han, S. , Kim, K., & LaFave, J. M. (2017). Shear capacity of steel fiber-reinforced concrete beams. *Wiley fib*.
- Lee, S. C., Cho, J. Y., Vecchio, F. J., & . (2013). Simplified Diverse Embedment Model for SFRC Elements in Tension. *ACI Materials Journal*, 110(4), 403-4012.
- Leonhardt, F., & Walther, R. (1962). Schubversuche an einfeldrigen. *Bulletin of Deutscher Ausschuss für Stahlbeton*.
- Leonhardt, F., & Walther, R. (1962). *Schubversuche an einfeldrigen Stahlbetonbalken mit und ohne Schubbewehrung [Shear tests on single-span reinforced concrete beams with and without shear reinforcement]*. Ernst, Berlin: Bulletin of Deutscher Ausschuss für Stahlbeton.
- Lim, T. Y., Paramasivam, P., & Lee, S. L. (1987). Shear and moment capacity of reinforced steel-fibre-concrete beams. *Mahazine of Concrete Research*, 148-160.
- Lubbel, A. S. (2006). *Shear in Wide Reinforced Concrete Members. PhD dissertation*. Toronto .
- Mansur, M. A., & Ong, K. C. (1991). Behavior of Reinforced Fiber Concrete Deep Beams in Shear. *ACI Structural Journal* , 88(1), 31-38.
- Mansur, M. A., Ong, K. C., & Paramasivam, P. (1972). Steel Fibers as Shear Reinforcement in Beams. *ACI Journal Proceedings*, 640-644.
- Matthys, S., & Soetens, T. (2010). Engineering Model for SFRC Shear Strength. *Springer International Publishing*, 374-382.
- Meda, A., Minelli, F., Plizzari, G. A., Riva, P., & . (2005). Shear Behaviour of Steel Fibre Reinforced Concrete Beams. *Materials and Structures*, 343-351.
- Mörsch, E. (1909). *Der Eisenbetonbau [Construcción Hormigón-Acero]*. New York: Engineering News Publishing.
- Narayanam , R., & Darwish, I. Y. (1985). The Effectiveness of Steels Fibers as Shear Reinforcement. *Concrete International*, 7(3), 35-40.
- Narayanan, R., & Kareem- Palanjian, A. S. (1984). Effect of Fiber Addition on Concrete Strengths. *Indian Concrete Journal*, 100-103.

- Noghabai, K. (2000). Beams of Fibrous Concrete in Shear and Bending: Experiment and Model. *Technical Paper ASCE*, 243-251.
- Pansuk, W., Nguyen, T. N., Sato, Y., Den Ujil, J. A., & Walraven, J. C. (2017). Shear capacity of high performance fiber reinforced concrete I-beams. *Construction and Building Materials*, 182-193.
- Pruijssers, A. F. (1986). *Shear Resistance of Beams Based on the Effective Shear Depth*. Delft: Delft University of Technology.
- Rajan, D., & Sharma, A. (2014). Effect of Steel Fiber Content on Behavior of Concrete Beams with and without Stirrups. *ACI Structural Journal*, 1157-1171.
- Randl, N., Mészöly, T., & Harsányi, P. (2017). Shear Behaviour of UHPC Beams . *Carinthia University of Applied Sciences with Varying Degrees of Fibre and Shear Reinforcement*, 500-507.
- Regan , P. E., Kennedy-reid, I. L., Pullen, A. D., & Smith, D. A. (2005). The influence of aggregate type on the shear resistance of reinforced concrete. *The Structural Engineer*, 27-32.
- Regan, P. E. (1993). "Research on shear: A benefit to humanity or a waste of time?". *Struct. Eng*, 337–347.
- Reineck, K. H. (1991). Ultimate shear force of structural concrete members without transverse reinforcement derived from a mechanical model. *ACI Structural Journal*, 592-602.
- Reza, M., & Chao, S.-H. (2017). Shear Strength Enhancement Mechanisms of Steel Fiber-Reinforced Concrete Slender Beams. *ACI Structural Journal* , 729-742.
- Sahoo, D. R., Flores, C. A., & Chao, S. H. (2012). Behavior of Reinforced Fiber Concrete Deep Beams in Shear. *ACI Structural Journal*, 193-203.
- Samir , A. A., GhaziI , S. H., & Faisal, F. (1992). Shear Behavior of High-Strength Fiber Reinforced Concrete Beams. *Structural Journal*, 176-184.
- Schlaich, J., Shafer, K., & Jennewein, M. (1987). Toward a Consistent Design of Structural Concrete. *Pci Journal*.
- Sherwood, E. G., Bentz, E. C., & Collins, M. R. (2007). Effect of aggregate size on beam-shear strength of thick slabs. *ACI Structural Journal*, 180-190.
- Shoaib, A., Lubell, A. S., & Bindiganavile, V. S. (2014). ize Effect in Shear for Steel Fiber-Reinforced Concrete Members without Stirrups. *ACI Structural Journal*, 1081-1090.
- Singh, B., & Jain, K. (2014). Appraisal of Steel Fibers as Minimum Shear Reinforcement in Concrete Beams. *ACI Structural Journal*, 1191-1208.
- Swamy, R., & Bahia, H. M. (1989). The Effectiveness of Steel Fibers as Shear Reinforcement. *Concrete International*, 35-40.

- Tan, K. H., Murugappan, K. , & Paramasivam, P. . (1993). Sheer Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams. *ACI Structural Journal*, 3-11.
- Taylor, H. (1973). The fundamental behavior of reinforced. *Proceedings of the ACI Symposium March and October*, (págs. 285–303.).
- Taylor, H. P. (1973). The fundamental behavior of reinforced concrete beams in bending and shear. *Proceedings of the ACI Symposium March and October 1973*, (págs. 258-303).
- Vecchio , F. J., & Collins, M. P. (1986). The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear. *ACI Journal*, 219-231.
- Vecchio, F. J., & Collins, M. (1986). The modified compression-field theory for reinforced concrete elements subjected to shear. *ACI J.*, 219–231.
- Vintzeleou, E. N., & Tassios, T. P. (1986). Mathematical Models for Dowel Action Under Monotonic and Cyclic Conditions. *Magazing of Concrete Research*, 13-22.
- Walraven, J. (1981). Fundamental Analysis of Aggregate Interlock. *Journal of structural Engineering, ASCE*, 2245 - 2270.
- Walraven, J. C., & Lehwalter, N. (1989). Die Tragfähigkeit von Betondruckstreben in Fachwerkmodellen am Beispiel von gedrungeenen Balken [Bearing capacity of concrete compression struts in strut and tie models, considering the example of short compact beams]. *Beton- und Stahlbetonbau*, 84(4), 81–87.
- Wang, Y., Backer, S., & Li, V. C. (1987). An Experimental Study of Synthetic Fibre Reinforced Cementitious Composites. *Journal of Materials Science*, 4281-4291.
- Yang, Y. (2014). *Shear Behaviour of Reinforced Concrete Members without Shear enforcement. A New Look at an Old Problem*. Netherlands: Optima.
- Yang, Y., Walraven, J., & Uijl, J. (2017). Shear Behavior of Reinforced Concrete Beams. *Journal Structural Engineering*, 10-24.

ANEXO A: Datos y resultados de la modelación

Fuente	ID viga	mvd	da	fc	h	d	bw	rho(%)	SL	Re		Fiber	L/D
		(-)	mm	Mpa	mm	mm	mm	%	mm	Cnt	mm	%	(-)
Reza & Chao (2017)	SFRC 12W6	3,5	10,0	29,0	305,0	254,0	152,0	2,5	15,8	2,0	19,0	0,8	67,0
	SFRC 12W24	3,5	10,0	29,0	305,0	254,0	610,0	2,5	53,9	8,0	19,0	0,8	67,0
	SFRC18a	3,5	10,0	39,0	457,0	394,0	152,0	2,8	12,8	3,0	19,0	0,8	67,0
	SFRC18b	3,5	10,0	39,0	457,0	394,0	152,0	2,8	12,8	3,0	19,0	0,8	67,0
	SFRC24a	3,5	10,0	50,0	610,0	541,0	203,0	2,6	31,8	1,0	32,0	0,8	67,0
	SFRC24b	3,5	10,0	50,0	610,0	541,0	203,0	2,6	31,8	1,0	32,0	0,8	67,0
	SFRC36a	3,5	10,0	50,0	915,0	813,0	254,0	2,7	27,9	11,0	25,0	0,8	67,0
	SFRC36b	3,5	10,0	50,0	915,0	813,0	254,0	2,7	27,9	11,0	25,0	0,8	67,0
	SFRC48a	3,5	10,0	50,0	1220,0	1118,0	305,0	2,7	38,1	11,0	32,0	0,8	67,0
SFRC48b	3,5	10,0	50,0	1220,0	1118,0	305,0	2,7	38,1	11,0	32,0	0,8	67,0	
Rajan & Sharma, (2014)	M20-S-0,75	3,5	10,0	32,9	300,0	261,0	150,0	2,0	23,0	3,0	18,0	0,8	80,0
	M20-S-1	3,5	10,0	23,8	300,0	261,0	150,0	2,0	23,0	3,0	18,0	1,0	80,0
	M20-S-1.25	3,5	10,0	24,1	300,0	261,0	150,0	2,0	23,0	3,0	18,0	1,3	80,0
Shoaib, etal. (2014)	N31	3,0	10,0	23,0	308,0	258,0	310,0	2,5	53,3	4,0	25,0	1,0	55,0
	N32	3,0	10,0	41,0	308,0	240,0	310,0	4,0	53,3	6,0	25,0	1,0	55,0
	H31	3,0	10,0	41,0	308,0	258,0	310,0	2,5	53,3	4,0	25,0	1,0	55,0
	H32	3,0	10,0	80,0	308,0	240,0	310,0	4,0	53,3	6,0	25,0	1,0	55,0
	N61	3,0	10,0	23,0	600,0	531,0	300,0	1,9	50,0	6,0	25,0	1,0	55,0
	N62	3,0	10,0	23,0	600,0	523,0	300,0	2,6	50,0	8,0	25,0	1,0	55,0

	H61	3,0	10,0	41,0	600,0	531,0	300,0	1,9	50,0	6,0	25,0	1,0	55,0
	H62	3,0	10,0	41,0	600,0	523,0	300,0	2,6	50,0	8,0	25,0	1,0	55,0
	N10-1	3,0	10,0	41,0	1000,0	923,0	300,0	1,4	50,0	8,0	25,0	1,0	55,0
	N10-2	3,0	10,0	41,0	1000,0	920,0	300,0	2,0	50,0	8,0	30,0	1,0	55,0
	H10-1	3,0	10,0	80,0	1000,0	923,0	300,0	1,4	50,0	8,0	25,0	1,0	55,0
	H10-2	3,0	10,0	80,0	1000,0	920,0	300,0	2,0	43,3	8,0	30,0	1,0	55,0
Singh & Jain (2014)	D-I	3,5	10,0	28,1	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	0,8	65,0
	D-II	3,5	10,0	25,3	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	0,8	65,0
	E-I	3,5	10,0	27,9	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	65,0
	E-II	3,5	10,0	26,2	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	65,0
	F-I	3,5	10,0	28,1	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,5	65,0
	F-II	3,5	10,0	27,3	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,5	65,0
	G-I	3,5	10,0	27,5	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	0,5	80,0
	G-II	3,5	10,0	24,5	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	0,5	80,0
	H-I	3,5	10,0	27,8	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	0,8	80,0
	H-II	3,5	10,0	27,3	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	0,8	80,0
	I-I	3,5	10,0	26,3	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	80,0
	I-II	3,5	10,0	27,1	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	80,0
	K-I	3,5	10,0	53,4	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	0,8	65,0
	K-II	3,5	10,0	54,1	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	0,8	65,0
	L-I	3,5	10,0	53,2	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	65,0
	L-II	3,5	10,0	55,3	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	65,0
	P-I	3,5	10,0	64,6	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,5	65,0
	P-II	3,5	10,0	59,9	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,5	65,0
	AA-I	3,5	10,0	47,8	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	0,5	80,0
AA-II	3,5	10,0	49,5	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	0,5	80,0	
M-I	3,5	10,0	55,3	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	0,8	80,0	

	M-II	3,5	10,0	56,4	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	0,8	80,0
	N-I	3,5	10,0	53,4	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	80,0
	N-II	3,5	10,0	51,0	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	80,0
	R-I	3,5	10,0	27,8	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	50,0
	R-II	3,5	10,0	27,2	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	50,0
	U-I	3,5	10,0	27,6	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	86,0
	U-II	3,5	10,0	27,9	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	86,0
	W-I	3,5	10,0	34,7	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	50,0
	W-II	3,5	10,0	36,2	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	50,0
	Z-I	3,5	10,0	27,0	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	86,0
	Z-II	3,5	10,0	28,3	300,0	251,0	150,0	2,7	26,0	5,0	16,0	1,0	86,0
Dinh,etal. (2011)	B18-1a	3,5	10,0	44,8	457,0	381,0	152,0	2,0	23,4	4,0	19,2	0,8	54,5
	B18-1b	3,5	10,0	44,8	457,0	381,0	152,0	2,0	23,4	4,0	19,2	0,8	54,5
	B18-2a	3,5	10,0	38,1	457,0	381,0	152,0	2,0	23,4	4,0	19,2	1,0	54,5
	B18-2b	3,5	10,0	38,1	457,0	381,0	152,0	2,0	23,4	4,0	19,2	1,0	54,5
	B18-2c	3,5	10,0	38,1	457,0	381,0	152,0	2,7	19,3	4,0	22,3	1,0	54,5
	B18-2d	3,5	10,0	38,1	457,0	381,0	152,0	2,7	19,3	4,0	22,3	1,0	54,5
	B18-3a	3,4	10,0	31,0	457,0	381,0	152,0	2,7	19,3	4,0	22,3	1,5	54,5
	B18-3b	3,4	10,0	31,0	457,0	381,0	152,0	2,7	19,3	4,0	22,3	1,5	54,5
	B18-3c	3,4	10,0	44,9	457,0	381,0	152,0	2,7	19,3	4,0	22,3	1,5	54,5
	B18-3d	3,4	10,0	44,9	457,0	381,0	152,0	2,7	19,3	4,0	22,3	1,5	54,5
	B18-5a	3,4	10,0	49,2	457,0	381,0	152,0	2,7	19,3	4,0	22,3	1,0	80,0
	B18-5b	3,4	10,0	49,2	457,0	381,0	152,0	2,7	19,3	4,0	22,3	1,0	80,0
	B18-7a	3,4	10,0	43,3	457,0	381,0	152,0	2,0	23,4	4,0	19,2	0,8	78,9
	B18-7b	3,4	10,0	43,3	457,0	381,0	152,0	2,0	23,4	4,0	19,2	0,8	78,9
	B27-1a	3,5	10,0	50,8	686,0	610,0	203,0	2,1	27,6	4,0	28,8	0,8	54,5
B27-1b	3,5	10,0	50,8	686,0	610,0	203,0	2,1	27,6	4,0	28,8	0,8	54,5	

	B27-2a	3,5	10,0	28,7	686,0	610,0	203,0	2,1	27,6	4,0	28,8	0,8	80,0
	B27-2b	3,5	10,0	28,7	686,0	610,0	203,0	2,1	27,6	4,0	28,8	0,8	80,0
	B27-3a	3,5	10,0	42,3	686,0	610,0	203,0	1,6	32,5	4,0	25,1	0,8	54,5
	B27-3b	3,5	10,0	42,3	686,0	610,0	203,0	1,6	32,5	4,0	25,1	0,8	54,5
	B27-4a	3,5	10,0	29,6	686,0	610,0	203,0	1,6	32,5	4,0	25,1	0,8	80,0
	B27-4b	3,5	10,0	29,6	686,0	610,0	203,0	1,6	32,5	4,0	25,1	0,8	80,0
	B27-5	3,5	10,0	44,4	686,0	610,0	203,0	2,1	27,6	4,0	28,8	1,5	54,5
	B27-6	3,5	10,0	42,8	686,0	610,0	203,0	2,1	27,6	4,0	28,8	1,5	80,0
Kwak, etal. (2002)	FHB2-3	3,0	19,0	63,8	250,0	212,0	125,0	1,5	88,0	2,0	16,0	0,5	62,5
	FHB3-3	3,0	19,0	68,6	250,0	212,0	125,0	1,5	88,0	2,0	16,0	0,8	62,5
	FHB2-4	4,0	19,0	63,8	250,0	212,0	125,0	1,5	88,0	2,0	16,0	0,5	62,5
	FHB3-4	4,0	19,0	68,6	250,0	212,0	125,0	1,5	88,0	2,0	16,0	0,8	62,5
	FNB2-3	3,0	19,0	30,8	250,0	212,0	125,0	1,5	88,0	2,0	16,0	0,5	62,5
Mansur,etal. (1972)	B2	2,8	20,0	29,1	225,0	197,0	150,0	1,3	113,0	2,0	16,0	0,5	60,0
	B3	3,6	20,0	29,1	225,0	197,0	150,0	1,3	113,0	2,0	16,0	0,5	60,0
	B4	4,4	20,0	29,1	225,0	197,0	150,0	1,3	113,0	2,0	16,0	0,5	60,0
	C2	2,8	20,0	29,9	225,0	197,0	150,0	1,3	113,0	2,0	16,0	0,8	60,0
	C3	3,6	20,0	29,9	225,0	197,0	150,0	1,3	113,0	2,0	16,0	0,8	60,0
	C4	4,4	20,0	29,9	225,0	197,0	150,0	1,3	113,0	2,0	16,0	0,8	60,0
	C5	2,8	20,0	29,9	225,0	200,0	150,0	0,8	57,5	3,0	10,0	0,8	60,0
	C6	2,8	20,0	29,9	225,0	197,0	150,0	2,0	48,5	3,0	16,0	0,8	60,0
	D2	2,8	20,0	30,0	225,0	197,0	150,0	1,3	113,0	2,0	16,0	1,0	60,0
	D3	3,6	20,0	30,0	225,0	197,0	150,0	1,3	113,0	2,0	16,0	1,0	60,0
	D4	4,4	20,0	30,0	225,0	197,0	150,0	1,3	113,0	2,0	16,0	1,0	60,0
	E1	2,8	20,0	20,6	225,0	200,0	150,0	0,8	57,5	3,0	10,0	0,8	60,0
	E2	2,8	20,0	20,6	225,0	197,0	150,0	1,3	113,0	2,0	16,0	0,8	60,0
E3	2,8	20,0	20,6	225,0	197,0	150,0	2,0	97,0	3,0	16,0	0,8	60,0	

	F1	2,8	20,0	33,4	225,0	200,0	150,0	0,8	57,5	3,0	10,0	0,8	60,0
	F2	2,8	20,0	33,4	225,0	197,0	150,0	1,3	113,0	2,0	16,0	0,8	60,0
	F3	2,8	20,0	33,4	225,0	197,0	150,0	2,0	97,0	3,0	16,0	0,8	60,0
Ashour, etal. (1992)	B-4-1.0-L	4,0	10,0	92,6	225,0	215,0	125,0	0,4	104,0	2,0	8,0	1,0	75,0
	B-6-1.0-L	6,0	10,0	93,7	225,0	215,0	125,0	2,8	76,0	2,0	22,0	1,0	75,0
	B-4-0.5-A	4,0	10,0	95,4	225,0	215,0	125,0	2,8	76,0	2,0	22,0	0,5	75,0
	B-6-0.5-A	6,0	10,0	95,8	225,0	215,0	125,0	2,8	76,0	2,0	22,0	0,5	75,0
	B-4-1.0-A	4,0	10,0	97,5	225,0	215,0	125,0	2,8	76,0	2,0	22,0	1,0	75,0
	B-6-1.0-A	6,0	10,0	100,5	225,0	215,0	125,0	2,8	76,0	2,0	22,0	1,0	75,0
	B-4-1.5-A	4,0	10,0	97,1	225,0	215,0	125,0	2,8	76,0	2,0	22,0	1,5	75,0
	B-6-1.5-A	6,0	10,0	101,3	225,0	215,0	125,0	2,8	76,0	2,0	22,0	1,5	75,0
	B-4-1.0-M	4,0	10,0	93,8	225,0	215,0	125,0	4,6	64,0	2,0	28,0	1,0	75,0
B-6-1.0-M	6,0	10,0	95,0	225,0	215,0	125,0	4,6	64,0	2,0	28,0	1,0	75,0	
Chunxiang, & Patnaikuni (1999)	IF	4,4	10,0	64,1	150,0	127,0	120,0	2,6	83,0	2,0	16,0	1,0	46,0
	IT	4,4	10,0	66,1	150,0	127,0	120,0	2,6	83,0	2,0	16,0	1,0	46,0
	IIF	4,4	10,0	79,1	150,0	127,0	120,0	2,6	83,0	2,0	16,0	1,0	38,0
	IIS	4,4	10,0	82,6	150,0	127,0	120,0	2,6	83,0	2,0	16,0	1,0	38,0
	IIT	4,4	10,0	77,9	150,0	127,0	120,0	2,6	83,0	2,0	16,0	1,0	45,0
	IIIF	4,4	10,0	73,5	150,0	127,0	120,0	2,6	83,0	2,0	16,0	1,0	45,0
	IIIS	4,4	10,0	78,1	150,0	127,0	120,0	2,6	83,0	2,0	16,0	1,0	45,0
Lim, etal. (1987)	2/1.0/2.5	2,5	10,0	34,0	254,0	221,0	152,0	1,1	115,0	2,0	16,0	1,0	60,0
	2/1.0/3.5	3,5	10,0	34,0	254,0	221,0	152,0	1,1	115,0	2,0	16,0	1,0	60,0
	2/0.5/2.5	2,5	10,0	34,0	254,0	221,0	152,0	1,1	115,0	2,0	16,0	0,5	60,0
	2/0.5/3.5	3,5	10,0	34,0	254,0	221,0	152,0	1,1	115,0	2,0	16,0	0,5	60,0
	4/1.0/2.5	2,5	10,0	34,0	254,0	221,0	152,0	2,2	27,7	4,0	16,0	1,0	60,0
	4/1.0/3.5	3,5	10,0	34,0	254,0	221,0	152,0	2,2	27,7	4,0	16,0	1,0	60,0
	4/0.5/2.5	2,5	10,0	34,0	254,0	221,0	152,0	2,2	27,7	4,0	16,0	0,5	60,0

	4/0.5/3.5	3,5	10,0	34,0	254,0	221,0	152,0	2,2	27,7	4,0	16,0	0,5	60,0
Casanova & Rossi (1999)	HSFRC 1	2,9	10,0	68,9	250,0	225,0	127,0	3,6	72,0	2,0	25,0	1,3	60,0
	HSFRC 2	2,9	10,0	68,9	250,0	225,0	127,0	3,6	72,0	2,0	25,0	1,3	60,0
	HSFRC 3	2,9	10,0	68,9	250,0	225,0	127,0	3,6	72,0	2,0	25,0	1,3	60,0
Noghabai (2000)	5 Type A	3,3	16,0	68,9	250,0	180,0	200,0	4,5	163,0	6,0	16,0	0,5	86,0
	6 Type A	3,3	16,0	68,9	250,0	180,0	200,0	4,5	163,0	6,0	16,0	0,8	86,0
	3 Type B	2,8	16,0	68,9	250,0	235,0	200,0	4,3	81,5	8,0	16,0	1,0	86,0
	7 Type C	2,9	16,0	68,9	500,0	410,0	200,0	3,0	175,0	6,0	10,0	0,5	86,0
	8 Type C	2,9	16,0	68,9	500,0	410,0	200,0	3,0	175,0	6,0	10,0	0,5	86,0
	9 Type C	2,9	16,0	68,4	500,0	410,0	200,0	3,0	175,0	6,0	10,0	0,8	86,0
	10 Type C	2,9	16,0	68,9	500,0	410,0	200,0	3,0	175,0	6,0	10,0	0,8	86,0
Pansuk, etal. (2017)	NS08	2,9	1-2	147,7	400,0	350,0	50,0	5,5	50,0	2,0	25,0	0,8	65,0
	NS16	2,9	1-2	146,7	400,0	350,0	50,0	5,5	50,0	2,0	25,0	1,6	65,0
Randl etal. (2017)	B19	3,5	0,4	160,0	350,0	310,0	58,0	1,7	55,0	7,0	20,0	2,0	75,0
	B25	3,5	0,4	188,0	350,0	310,0	58,0	1,7	55,0	7,0	20,0	2,0	75,0
	B30	3,5	0,4	176,0	350,0	310,0	58,0	1,7	55,0	7,0	20,0	2,0	75,0
	B20	3,5	0,4	162,0	350,0	310,0	58,0	1,7	55,0	7,0	20,0	1,0	75,0
	B24	3,5	0,4	175,0	350,0	310,0	58,0	1,7	55,0	7,0	20,0	1,0	75,0
	B29	3,5	0,4	187,0	350,0	310,0	58,0	1,7	55,0	7,0	20,0	1,0	75,0
Tan, etal. (1993)	5	2,5	19,0	36,0	350,0	340,0	60,0	5,2	32,0	8,0	13,0	1,0	60,0

ANEXO B: Resultado de los modelamientos

Fuente	ID viga	Vu	Vcal1	Vu/Vcal1	Vcal2	Vu/Vcal2	Vcal3	Vu/Vcal3	Vcal4	Vu/Vcal4
		(kN)	(kN)	(-)	(kN)	(-)	(kN)	(-)	(kN)	(-)
Reza & Chao (2017)	SFRC 12W6	120,0	100,9	1,2	107,7	1,1	74,8	1,6	93,8	1,3
	SFRC 12W24	478,0	405,0	1,2	318,5	1,5	300,1	1,6	376,5	1,3
	SFRC18a	161,0	145,7	1,1	136,4	1,2	127,9	1,3	144,5	1,1
	SFRC18b	194,0	145,7	1,3	136,4	1,4	127,9	1,5	144,5	1,3
	SFRC24a	267,0	323,2	0,8	252,8	1,1	221,5	1,2	249,0	1,1
	SFRC24b	380,0	323,2	1,2	252,8	1,5	221,5	1,7	249,0	1,5
	SFRC36a	683,0	591,7	1,2	409,8	1,7	375,4	1,8	396,4	1,7
	SFRC36b	704,0	591,7	1,2	409,8	1,7	375,4	1,9	396,4	1,8
	SFRC48a	1045,0	946,6	1,1	623,5	1,7	564,6	1,9	594,7	1,8
SFRC48b	1008,0	946,6	1,1	623,5	1,6	564,6	1,8	594,7	1,7	
Rajan & Sharma, (2014)	M20-S-0,75	218,0	118,0	1,8	87,6	2,5	78,6	2,8	94,8	2,3
	M20-S-1	191,8	125,7	1,5	86,6	2,2	79,4	2,4	93,5	2,1
	M20-S-1.25	207,7	140,7	1,5	102,2	2,0	90,1	2,3	103,4	2,0
Shoaib, etal., (2014)	N31	211,0	207,5	1,0	161,5	1,3	151,7	1,4	203,0	1,0
	N32	281,0	259,4	1,1	224,1	1,3	204,9	1,4	288,0	1,0
	H31	278,0	264,3	1,1	201,3	1,4	187,8	1,5	246,7	1,1
	H32	458,0	340,0	1,3	280,3	1,6	261,7	1,8	359,1	1,3
	N61	252,0	356,9	0,7	253,9	1,0	235,3	1,1	261,8	1,0
	N62	242,0	359,1	0,7	273,0	0,9	254,6	1,0	287,7	0,8

	H61	423,0	460,4	0,9	319,2	1,3	293,4	1,4	323,8	1,3
	H62	444,0	459,8	1,0	341,3	1,3	3158,8	0,1	353,9	1,3
	N10-1	492,0	737,6	0,7	458,7	1,1	414,0	1,2	431,0	1,1
	N10-2	497,0	742,6	0,7	500,9	1,0	455,5	1,1	477,1	1,0
	H10-1	646,0	1010,3	0,6	612,3	1,1	547,8	1,2	567,1	1,1
	H10-2	644,0	1010,5	0,6	663,9	1,0	497,2	1,3	623,1	1,0
Singh & Jain (2014)	D-I	113,0	97,0	1,2	80,3	1,4	74,2	1,5	92,2	1,2
	D-II	79,1	93,1	0,8	77,3	1,0	71,6	1,1	89,0	0,9
	E-I	109,2	114,2	1,0	87,8	1,2	81,9	1,3	99,2	1,1
	E-II	123,5	111,3	1,1	85,7	1,4	80,1	1,5	97,1	1,3
	F-I	111,1	152,3	0,7	109,1	1,0	99,3	1,1	115,3	1,0
	F-II	131,0	150,3	0,9	107,8	1,2	98,2	1,3	114,1	1,1
	G-I	64,8	87,3	0,7	72,9	0,9	69,7	0,9	87,8	0,7
	G-II	77,2	82,6	0,9	70,1	1,1	67,4	1,1	84,6	0,9
	H-I	91,1	108,6	0,8	87,1	1,0	79,4	1,1	96,8	0,9
	H-II	101,7	107,8	0,9	86,5	1,2	78,8	1,3	96,2	1,1
	I-I	116,0	127,9	0,9	95,0	1,2	87,6	1,3	104,1	1,1
	I-II	104,7	129,6	0,8	96,1	1,1	88,6	1,2	105,2	1,0
	K-I	113,0	125,6	0,9	101,7	1,1	73,3	1,5	114,2	1,0
	K-II	125,8	126,3	1,0	102,2	1,2	93,5	1,3	114,7	1,1
	L-I	144,2	150,4	1,0	112,7	1,3	104,2	1,4	124,4	1,2
	L-II	165,7	152,9	1,1	114,4	1,4	105,8	1,6	126,2	1,3
	P-I	195,4	222,6	0,9	154,9	1,3	139,5	1,4	158,5	1,2
	P-II	160,0	215,0	0,7	150,0	1,1	135,2	1,2	154,0	1,0
	AA-I	127,6	108,0	1,2	88,4	1,4	84,0	1,5	105,0	1,2
AA-II	152,1	109,5	1,4	89,5	1,7	85,0	1,8	106,1	1,4	
M-I	146,5	144,9	1,0	113,5	1,3	102,2	1,4	122,8	1,2	

	M-II	178,1	146,2	1,2	114,4	1,6	103,0	1,7	123,7	1,4
	N-I	128,0	174,8	0,7	126,4	1,0	118,0	1,1	134,7	1,0
	N-II	157,0	171,3	0,9	124,0	1,3	113,4	1,4	132,5	1,2
	R-I	78,7	97,9	0,8	78,8	1,0	74,5	1,1	92,4	0,9
	R-II	77,9	97,0	0,8	78,2	1,0	74,0	1,1	91,7	0,8
	U-I	98,6	137,6	0,7	100,7	1,0	92,5	1,1	108,8	0,9
	U-II	81,3	138,2	0,6	110,5	0,7	92,8	0,9	109,3	0,7
	W-I	99,4	107,0	0,9	85,4	1,2	80,6	1,2	99,4	1,0
	W-II	100,1	108,8	0,9	86,7	1,2	81,8	1,2	100,8	1,0
	Z-I	110,3	136,2	0,8	99,8	1,1	91,6	1,2	108,0	1,0
	Z-II	103,9	139,1	0,7	101,7	1,0	93,3	1,1	109,8	0,9
Dinh,etal. (2011)	B18-1a	167,9	147,6	1,1	114,2	1,5	104,4	1,6	116,0	1,4
	B18-1b	162,2	147,5	1,1	114,1	1,4	104,4	1,6	119,4	1,4
	B18-2a	173,7	166,0	1,0	118,7	1,5	109,9	1,6	123,7	1,4
	B18-2b	179,5	166,0	1,1	118,7	1,5	109,9	1,6	123,7	1,5
	B18-2c	202,7	169,2	1,2	128,3	1,6	118,2	1,7	139,7	1,5
	B18-2d	150,6	169,2	0,9	128,3	1,2	118,2	1,3	139,7	1,1
	B18-3a	150,6	207,2	0,7	147,4	1,0	134,6	1,1	152,7	1,0
	B18-3b	196,9	207,2	1,0	147,4	1,3	134,6	1,5	152,7	1,3
	B18-3c	191,1	245,2	0,8	137,4	1,4	156,5	1,2	144,0	1,3
	B18-3d	191,1	245,2	0,8	137,4	1,4	156,5	1,2	144,0	1,3
	B18-5a	173,7	239,3	0,7	175,9	1,0	159,5	1,1	180,0	1,0
	B18-5b	220,1	239,3	0,9	175,9	1,3	159,5	1,4	180,0	1,2
	B18-7a	191,1	185,6	1,0	135,0	1,4	120,1	1,6	134,1	1,4
	B18-7b	191,1	185,6	1,0	135,0	1,4	120,1	1,6	134,1	1,4
	B27-1a	361,9	310,2	1,2	224,5	1,6	208,1	1,7	232,1	1,6
B27-1b	335,4	310,2	1,1	224,5	1,5	208,1	1,6	232,1	1,4	

	B27-2a	345,0	316,5	1,1	218,5	1,6	105,0	3,3	219,0	1,6
	B27-2b	338,3	316,5	1,1	218,5	1,5	105,0	3,2	219,0	1,5
	B27-3a	338,3	282,3	1,2	195,9	1,7	181,5	1,9	196,0	1,7
	B27-3b	346,3	282,3	1,2	195,9	1,8	181,5	1,9	196,0	1,8
	B27-4a	262,7	319,1	0,8	208,3	1,3	189,7	1,4	203,0	1,3
	B27-4b	222,3	319,1	0,7	208,3	1,1	189,7	1,2	203,0	1,1
	B27-5	429,1	502,8	0,9	324,5	1,3	288,1	1,5	308,1	1,4
	B27-6	421,3	691,9	0,6	427,4	1,0	373,5	1,1	390,0	1,1
Kwak, etal. (2002)	FHB2-3	81,9	73,6	1,1	57,2	1,4	54,4	1,5	70,0	1,2
	FHB3-3	90,1	96,1	0,9	66,9	1,3	63,9	1,4	79,0	1,1
	FHB2-4	63,9	70,3	0,9	53,2	1,2	50,5	1,3	62,6	1,0
	FHB3-4	72,6	93,3	0,8	54,6	1,3	60,3	1,2	72,7	1,0
	FNB2-3	67,6	55,1	1,2	44,3	1,5	42,5	1,6	55,4	1,2
Mansur,etal. (1972)	B2	52,5	59,7	0,9	47,9	1,1	46,4	1,1	61,4	0,9
	B3	45,0	56,9	0,8	47,1	1,0	42,3	1,1	56,1	0,8
	B4	38,0	55,0	0,7	42,5	0,9	40,6	0,9	52,4	0,7
	C2	60,0	74,1	0,8	54,9	1,1	52,0	1,2	66,9	0,9
	C3	47,5	71,8	0,7	51,9	0,9	43,0	1,1	61,6	0,8
	C4	41,0	67,3	0,6	47,9	0,9	46,8	0,9	58,1	0,7
	C5	37,5	70,2	0,5	48,4	0,8	45,0	0,8	52,1	0,7
	C6	65,0	78,0	0,8	62,0	1,0	60,0	1,1	78,4	0,8
	D2	65,0	88,9	0,7	52,9	1,2	57,6	1,1	72,0	0,9
	D3	50,5	86,9	0,6	59,1	0,9	54,8	0,9	67,0	0,8
	D4	44,0	85,6	0,5	57,3	0,8	52,8	0,8	63,6	0,7
	E1	35,0	59,9	0,6	42,3	0,8	40,0	0,9	45,9	0,8
	E2	45,0	63,6	0,7	47,9	0,9	45,4	1,0	60,0	0,8
	E3	60,0	67,4	0,9	54,7	1,1	52,0	1,2	69,5	0,9

	F1	46,8	73,6	0,6	50,5	0,9	47,5	1,0	54,1	0,9
	F2	75,0	77,6	1,0	57,1	1,3	54,0	1,4	69,3	1,1
	F3	86,0	81,5	1,1	64,4	1,3	61,2	1,4	81,1	1,1
Ashour, etal. (1992)	B-4-1.0-L	24,0	150,0	0,2	74,8	0,3	65,4	0,4	67,7	0,4
	B-6-1.0-L	150,0	155,0	1,0	109,5	1,4	98,5	1,5	115,8	1,3
	B-4-0.5-A	61,0	100,7	0,6	80,4	0,8	75,6	0,8	102,7	0,6
	B-6-0.5-A	52,4	95,8	0,5	74,6	0,7	70,0	0,7	90,7	0,6
	B-4-1.0-A	85,2	161,2	0,5	157,8	0,5	105,0	0,8	128,5	0,7
	B-6-1.0-A	52,7	160,2	0,3	112,9	0,5	101,4	0,5	119,0	0,4
	B-4-1.5-A	94,3	223,1	0,4	152,6	0,6	135,8	0,7	156,0	0,6
	B-6-1.5-A	53,2	225,7	0,2	152,5	0,3	135,0	0,4	149,1	0,4
	B-4-1.0-M	104,3	162,0	0,6	130,0	0,8	118,4	0,9	155,8	0,7
	B-6-1.0-M	78,7	159,7	0,5	125,6	0,6	113,2	0,7	141,4	0,6
Chunxiang, & Patnaikuni (1999)	IF	57,2	58,7	1,0	46,5	1,2	43,8	1,3	62,3	0,9
	IT	65,6	59,5	1,1	47,1	1,4	44,3	1,5	62,3	1,1
	IIF	61,8	57,8	1,1	46,8	1,3	44,4	1,4	64,3	1,0
	IIS	67,6	58,8	1,1	47,6	1,4	45,1	1,5	65,2	1,0
	IIT	59,4	62,9	0,9	49,7	1,2	47,0	1,3	66,1	0,9
	IIIF	56,2	61,4	0,9	48,6	1,2	45,7	1,2	64,9	0,9
	IIIS	55,2	62,9	0,9	49,7	1,1	46,1	1,2	66,2	0,8
Lim, etal. (1987)	2/1.0/2.5	60,2	104,6	0,6	69,9	0,9	64,9	0,9	78,4	0,8
	2/1.0/3.5	46,5	101,8	0,5	66,0	0,7	60,8	0,8	71,7	0,6
	2/0.5/2.5	58,0	69,3	0,8	53,9	1,1	51,7	1,1	66,4	0,9
	2/0.5/3.5	45,2	65,4	0,7	49,4	0,9	47,0	1,0	59,1	0,8
	4/1.0/2.5	82,6	110,5	0,7	84,7	1,0	80,0	1,0	101,0	0,8
	4/1.0/3.5	67,4	105,0	0,6	78,1	0,9	72,8	0,9	90,3	0,7
	4/0.5/2.5	63,7	79,8	0,8	68,7	0,9	66,5	1,0	88,9	0,7

	4/0.5/3.5	49,4	72,9	0,7	61,3	0,8	58,9	0,8	77,6	0,6
Casanova & Rossi (1999)	HSFRC 1	156,5	156,0	1,0	120,7	1,3	110,6	1,4	145,1	1,1
	HSFRC 2	156,5	156,0	1,0	120,7	1,3	110,6	1,4	145,1	1,1
	HSFRC 3	99,6	156,0	0,6	120,7	0,8	110,6	0,9	145,1	0,7
Noghabai (2000)	5 Type A	252,0	148,2	1,7	132,4	1,9	126,4	2,0	176,8	1,4
	6 Type A	262,0	181,3	1,4	153,6	1,7	126,4	2,1	192,4	1,4
	3 Type B	310,0	204,0	1,5	177,4	1,7	206,5	1,5	251,1	1,2
	7 Type C	264,0	291,9	0,9	240,2	1,1	225,2	1,2	241,2	1,1
	8 Type C	312,0	289,6	1,1	237,7	1,3	225,2	1,4	241,2	1,3
	9 Type C	339,0	366,7	0,9	281,3	1,2	260,8	1,3	276,0	1,2
	10 Type C	292,0	367,8	0,8	282,1	1,0	260,0	1,1	276,0	1,1
	4 Type D	509,0	710,0	0,7	517,6	1,0	472,1	1,1	511,9	1,0
Pansuk, etal. (2017)	NS08	340,0	231,0	1,5	195,4	1,9	175,3	1,9	207,5	1,6
	NS16	531,0	417,8	1,3	339,7	1,8	294,4	1,8	317,6	1,7
Randl etal. (2017)	B19	251,0	750,0	0,3	426,0	0,7	362,0	0,7	367,7	0,7
	B25	319,0	812,1	0,4	463,6	0,7	392,4	0,8	296,7	1,1
	B30	357,0	785,2	0,5	448,5	0,8	379,6	0,9	385,5	0,9
	B20	266,0	372,3	0,7	213,2	1,2	182,0	1,5	192,4	1,4
	B24	199,0	387,0	0,5	221,5	0,9	188,6	1,1	199,5	1,0
	B29	308,0	400,0	0,8	228,9	1,3	419,8	0,7	206,8	1,5
Tan, etal. (1993)	5	154,2	143,0	1,1	126,1	1,2	106,0	1,5	127,5	1,2

ANEXO C: Código Matlab modelado 1 viga rectangular

```

mvd=input('mvd (is the maximum value of M/Vd in the calculated span in [-])=');
da=input('da (the maximum aggregate size in [mm])=');
fc=input('fc (the compressive strength of concrete in [MPa])=');
d=input('d (the effective depth of the beam in [mm])=');
bw=input('bw ((the width of the beam in [mm]))=');
rho=input('rho (the reinforcement ratio of the beam, the percentage is not.)=');
Re=input('Re, matrix with longitudinal reinforcement(example [1 28; 2 16])=');
Vf=input('Vf,the fiber volume fraction=');
lfd=input('Lf/Df,ratio between fiber length and fiber diameter=');

```

```

global Es Ec

```

```

Es = 210000;

```

```

Ec = 40000;

```

```

n=1;

```

```

As = rho*bw*d;

```

```

if fc>65

```

```

    Ra=(7.2/(fc-38.86))+1;

```

```

else

```

```

    Ra=1;

```

```

end

```

```

tam=size(Re,1);

```

```

if tam>1

```

```

    D= sum(Re(:,1).*Re(:,2).^2)/sum(Re(:,1).*Re(:,2));

```

```

    br= sum(Re(:,1).*Re(:,2)) ;

```

```

else

```

```

    D= sum(Re(1,1).*Re(1,2).^2)/sum(Re(1,1).*Re(1,2));

```

```

    br= sum(Re(1,1).*Re(1,2));

```

```

end

```

```

ne = Es/Ec;

```

```

delta = min((3.267e-5.*d*25/D+.002204), .025);

```

```

scr = (1+rho.*ne-(2*rho.*ne+(rho.*ne).^2).^5).^5.*d;

```

```

lcrm = scr./1.28;

```

```

z = (2*d + scr)/3;

```

```

zc=d-scr;

```

```

V1 =1.5*d*bw; % first guess of shear resistance

```

```

V0=0; count=0;

```

```

taufiber=0.85*sqrt(fc);

```

```

Df=1; %Df is the fiber bond efficiency factor =1 for hooked-end fibers and 0.75 for
crimped fibers);

```

```

F=Df*Vf*lfd;

```

```

while abs(V0-V1)>10

```

```

    M0 = V1*d*mvd; % cross sectional moment

```

```

    w = (M0*lcrm)/(z*As*Es); % estimation of average crack width eq.(4.8)

```

```

V0=V1;

Vai=(fc^0.56)*scr*bw*(0.03/(w-0.01))*((-978*(delta^2))+(85*delta)-0.27);
Vc=(2*(d-scr)*V0)/(3*z);
%Vc2(i,j)=2*(d-z)/z*V11(i,j);
Vdw = 1.64*(bw-br)*D*((fc)^.333);
Vfb= 0.5*taufiber*F*bw*(d-zc)*cot(29*(pi/180)); %cot(29°)
V1= Vdw+Vc+Vai+Vfb;
%error(i,j)=-V1(i,j)+V0(i,j) ;
V=V1;

mvd0 = 2;
if mvd < 2
V = V*2/mvd0;%averiguar esta condición
end

if count==20;
    break;
end
count=count+1;

end
V

```

ANEXO D: Código Matlab modelado 2 viga rectangular

```

mvd=input('mvd (is the maximum value of M/Vd in the calculated span in [-])=');
da=input('da (the maximum aggregate size in [mm])=');
fc=input('fc (the compressive strength of concrete in [MPa])=');
d=input('d (the effective depth of the beam in [mm])=');
bw=input('bw ((the width of the beam in [mm]))=');
%br=input('br (the part of width occupied by rebar for dowel force)=');
rho=input('rho (the reinforcement ratio of the beam, the percentage is not.)=');
Re=input('Re, matrix with longitudinal reinforcement(example [1 28; 2 16])=');
Vf=input('Vf,the fiber volume fraction=');
lfdf=input('Lf/Df,ratio between fiber length and fiber diameter=');

```

```

global Es Ec

```

```

Es = 210000;

```

```

Ec = 40000;

```

```

n=1;

```

```

As = rho*bw*d;

```

```

if fc>65

```

```

    Ra=(7.2/(fc-38.86))+1;

```

```

else

```

```

    Ra=1;

```

```

end

```

```

tam=size(Re,1);

```

```

if tam>1

```

```

    D= sum(Re(:,1).*Re(:,2).^2)/sum(Re(:,1).*Re(:,2));

```

```

    br= sum(Re(:,1).*Re(:,2)) ;

```

```

else

```

```

    D= sum(Re(1,1).*Re(1,2).^2)/sum(Re(1,1).*Re(1,2));

```

```

    br= sum(Re(1,1).*Re(1,2));

```

```

end

```

```

ne = Es/Ec;

```

```

delta = min((3.267e-5.*d*25/D+.002204), .025);

```

```

scr = (1+rho.*ne-(2*rho.*ne+(rho.*ne).^2).^5).^5.*d;

```

```

lcrm = scr./1.28;

```

```

z = (2*d + scr)/3;

```

```

zc=d-scr;

```

```

V1 =1.5*d*bw; % first guess of shear resistance

```

```

V0=0; count=0;

```

```

while abs(V0-V1)>10

```

```

    M0 = V1*d*mvd; % cross sectional moment

```

```

    w = (M0*lcrm)/(z*As*Es); % estimation of average crack width eq..(4.8)

```

```

    V0=V1;

```

```

Vai=(fc^0.56)*scr*bw*(0.03/(w-0.01))*((-978*(delta^2))+(85*delta)-0.27);
Vc=(2*(d-scr)*V0)/(3*z);
%Vc2(i,j)=2*(d-z)/z*V11(i,j);
Vdw =1.64*(bw-br)*D*((fc)^.333);
Vfb=(0.41*0.68*sqrt(fc)*1*Ifdf*(Vf))*(bw*d);
V1= Vdw+Vc+Vai+Vfb;
%error(i,j)=-V1(i,j)+V0(i,j) ;
V=V1;

mvd0 = 2;
if mvd < 2
V = V*2/mvd0;%averiguar esta condición
end

if count==20;
    break;
end
count=count+1;

end
V

```

ANEXO F: Código Matlab modelado 3 viga rectangular

```

mvd=input('mvd (is the maximum value of M/Vd in the calculated span in [-])=');
da=input('da (the maximum aggregate size in [mm])=');
fc=input('fc (the compressive strength of concrete in [MPa])=');
h=input('depth of the beam in [mm]=');
d=input('d (the effective depth of the beam in [mm])=');
bw=input('bw ((the width of the beam in [mm]))=');
%bflange=input('the width of flange in [mm])=');
%br=input('br (the part of width occupied by rebar for dowel force)=');
rho=input('rho (the reinforcement ratio of the beam, the percentage is not.)=');
sl=input('sl, maximun spacing between bars [mm]:');
Re=input('Re, matrix with longitudinal reinforcement(example [1 28; 2 16])=');
Vf=input('Vf,the fiber volume fraction=');
lfdf=input('Lf/Df,ratio between fiber length and fiber diameter=');

```

```

global Es Ec fy

```

```

Es = 210000;

```

```

Ec = 40000;

```

```

fy= 420;

```

```

n=1;

```

```

As = rho*bw*d;

```

```

if fc>65

```

```

    Ra=(7.2/(fc-38.86))+1;

```

```

else

```

```

    Ra=1;

```

```

end

```

```

tam=size(Re,1);

```

```

if tam>1

```

```

    D= sum(Re(:,1).*Re(:,2).^2)/sum(Re(:,1).*Re(:,2));

```

```

    br= sum(Re(:,1).*Re(:,2)) ;

```

```

else

```

```

    D= sum(Re(1,1).*Re(1,2).^2)/sum(Re(1,1).*Re(1,2));

```

```

    br= sum(Re(1,1).*Re(1,2));

```

```

end

```

```

ne = Es/Ec;

```

```

ne = Es/Ec;

```

```

delta = min((3.267e-5.*d*25/D+.002204), .025);

```

```

scr = (1+rho.*ne-(2*rho.*ne+(rho.*ne).^2).^5).*d;

```

```

lcrm = scr./1.28;

```

```

z = (2*d + scr)/3;

```

```

zc=d-scr;

```

```

V1=1.5*d*bw; % first guess of shear resistance

```

```

V0=0; count=0;

```

```

while abs(V0-V1)>10
    M0 = V1*d*mvd; % cross sectional moment
    w = (M0*lcrm)/(z*As*Es); % estimation of average crack width eq.(4.8)
    V0=V1;

    Vai=(fc^0.56)*scr*bw*(0.03/(w-0.01))*((-978*(delta^2))+85*delta)-0.27);
    Vc=(2*(d-scr)*V0)/(3*z);
    % Vc2(i,j)=2*(d-z)/z*V11(i,j);
    Vdw = 1.64*(bw-br)*D*((fc)^.333);
    Vfb= 0.41*Vf*0.825*sqrt(fc)*lfd*(0.7*d)*bw;
    V1= Vdw+Vc+Vai+Vfb;
    V=V1;

    mvd0 = 2;
    if mvd < 2
        V = V*2/mvd0;%averiguar esta condición
    end

    if count==20;
        break;
    end
    count=count+1;

end
V

```


ANEXO G: Código Matlab modelado 4 viga rectangular

```

mvd=input('mvd (is the maximum value of M/Vd in the calculated span in [-])=');
da=input('da (the maximum aggregate size in [mm])=');
fc=input('fc (the compressive strength of concrete in [MPa])=');
h=input('depth of the beam in [mm]=');
d=input('d (the effective depth of the beam in [mm])=');
bw=input('bw ((the width of the beam in [mm]))=');
rho=input('rho (the reinforcement ratio of the beam, the percentage is not.)=');
sl=input('sl, maximun spacing between bars [mm]:');
Re=input('Re, matrix with longitudinal reinforcement(example [1 28; 2 16])=');
Vf=input('Vf,the fiber volume fraction=');
lfd=input('Lf/Df,ratio between fiber length and fiber diameter=');

global Es Ec fy
Es = 210000;
Ec = 40000;
fy= 420;
n=1;
As = rho*bw*d;
if fc>65
    Ra=(7.2/(fc-38.86))+1;
else
    Ra=1;
end

tam=size(Re,1);
if tam>1
    D= sum(Re(:,1).*Re(:,2).^2)/sum(Re(:,1).*Re(:,2));
    br= sum(Re(:,1).*Re(:,2)) ;
else
    D= sum(Re(1,1).*Re(1,2).^2)/sum(Re(1,1).*Re(1,2));
    br= sum(Re(1,1).*Re(1,2));
end

ne = Es/Ec;

%cracking

k=50/lfd;
Cc=30;
cy=sl;
k1=0.4; %(deformed bars)
Smx=k*((2*(Cc+(sl/10)))+(0.25*k1*(D/rho)));
Smy=(2*d)/0.71;
Smtheta=2*d/0.71; %sin(45)
nu=Smtheta/Smx;
nu1=(0.47*d)/(h-d);

tmax=2.5*sqrt(fc);

```

```

tx=0.15*tmax;
fsxmax=(2*tx/D)*Smx;
Esp=0.01*Es;

if (fsxmax<fy)
    es=(Smx/Es)*(fsxmax/2);

else
    es=(Smx/Es)*(fy-(fsxmax/2))+((Smx/Esp)*(fsxmax-fy));
end

fcr=(7.5/12)*sqrt(fc);
er= fcr/Ec;
wf=(es-er)*Smx;

ws=nu1*wf*0.71; %sin(45°)

delta = min(ws,0.05);
scr = (1+rho.*ne-(2*rho.*ne+(rho.*ne).^2).^0.5).^0.5.*d;
lcrm = scr./1.28;
z = (2*d + scr)/3;
zc=d-scr;
V1=1.5*d*bw; % first guess of shear resistance
V0=0; count=0;

while abs(V0-V1)>10
    M0 = V1*d*mvd; % cross sectional moment
    w = (M0*lcrm)/(z*As*Es); % estimation of average crack width eq.(4.8)
    V0=V1;

    Vai=(fc^0.56)*scr*bw*(0.03/(w-0.01))*((-978*(delta^2))+85*delta)-0.27);
    Vc=(2*(d-scr)*V0)/(3*z);
    % Vc2(i,j)=2*(d-z)/z*V11(i,j);
    Vdw = 1.64*(bw-br)*D*((fc)^.333);
    Vfb= 0.41*Vf*0.825*sqrt(fc)*lfd*(0.7*d)*bw;
    V1= Vdw+Vc+Vai+Vfb;
    V=V1;

    mvd0 = 2;
    if mvd < 2
        V = V*2/mvd0;%averiguar esta condición
    end

    if count==20;
        break;
    end
    count=count+1;

end
V

```

ANEXO H: Código Matlab modelado 1 viga I

```

mvd=input('mvd (is the maximum value of M/Vd in the calculated span in [-])=');
da=input('da (the maximum aggregate size in [mm])=');
fc=input('fc (the compressive strength of concrete in [MPa])=');
d=input('d (the effective depth of the beam in [mm])=');
bw=input('bw ((the width of the beam in [mm]))=');
bflange=input('the width of flange in [mm])=');
rho=input('rho (the reinforcement ratio of the beam, the percentage is not.)=');
Re=input('Re, matrix with longitudinal reinforcement(example [1 28; 2 16])=');
Vf=input('Vf,the fiber volume fraction=');
lfd=input('Lf/Df,ratio between fiber length and fiber diameter=');

global Es Ec
Es = 210000;
Ec = 40000;
n=1;
As = rho*bw*d;
Ra=1; %Just for normal concrete
tam=size(Re,1);
if tam>1
    D= sum(Re(:,1).*Re(:,2).^2)/sum(Re(:,1).*Re(:,2));
    br= sum(Re(:,1).*Re(:,2)) ;
else
    D= sum(Re(1,1).*Re(1,2).^2)/sum(Re(1,1).*Re(1,2));
    br= sum(Re(1,1).*Re(1,2)) ;
end

ne = Es/Ec;
delta = min((3.267e-5.*d*25/D+.002204), .025);
scr = (1+rho.*ne-(2*rho.*ne+(rho.*ne).^2).^5).^5.*d;
lcrm = scr./1.28;
z = (2*d + scr)/3;
zc=d-scr;
V1 =1.5*d*bw; % first guess of shear resistance
V0=0; count=0;
taufiber=0.85*sqrt(fc);
Df=1; %Df is the fiber bond efficiency factor =1 for hooked-end fibers and 0.75 for
crimped fibers);
while abs(V0-V1)>10
    M0 = V1*d*mvd; % cross sectional moment
    w = (M0*lcrm)/(z*As*Es); % estimation of average crack width eq.(4.8)
    V0=V1;

    Vai=(fc^0.56)*scr*bflange*(0.03/(w-0.01))*((-978*(delta^2)+(85*delta)-0.27);
    Vc=(2*(d-scr)*V0)/(3*z);
    Vdw = 1.64*(bw-br)*D*((fc)^.333);
    Vfb = 0.5*taufiber*Df*Vf*lfd*bflange*(d-zc)*cot(0.523599); %cot(30°)
    V1= Vdw+Vc+Vai+Vfb;

```

```
V=V1;
mvd0 = 2;
if mvd < 2
V = V*2/mvd0;%averiguar esta condición
end

if count==20;
    break;
end
count=count+1;

end
```

ANEXO I: Código Matlab modelado 2 viga I

```

mvd=input('mvd (is the maximum value of M/Vd in the calculated span in [-])=');
da=input('da (the maximum aggregate size in [mm])=');
fc=input('fc (the compressive strength of concrete in [MPa])=');
d=input('d (the effective depth of the beam in [mm])=');
bw=input('bw ((the width of the beam in [mm]))=');
bflange=input('the width of flange in [mm])=');
rho=input('rho (the reinforcement ratio of the beam, the percentage is not.)=');
Re=input('Re, matrix with longitudinal reinforcement(example [1 28; 2 16])=');
Vf=input('Vf,the fiber volume fraction=');
lfdf=input('Lf/Df,ratio between fiber length and fiber diameter=');

global Es Ec
Es = 210000;
Ec = 40000;
n=1;
As = rho*bw*d;
Ra=1; %Just for normal concrete
tam=size(Re,1);
if tam>1
    D= sum(Re(:,1).*Re(:,2).^2)/sum(Re(:,1).*Re(:,2));
    br= sum(Re(:,1).*Re(:,2)) ;
else
    D= sum(Re(1,1).*Re(1,2).^2)/sum(Re(1,1).*Re(1,2));
    br= sum(Re(1,1).*Re(1,2)) ;
end

ne = Es/Ec;
delta = min((3.267e-5.*d*25/D+.002204), .025);
scr = (1+rho.*ne-(2*rho.*ne+(rho.*ne).^2).^5).^5.*d;
lcrm = scr./1.28;
z = (2*d + scr)/3;
zc=d-scr;
V1 =1.5*d*bw; % first guess of shear resistance
V0=0; count=0;
taufiber=0.85*sqrt(fc);
Df=1; %Df is the fiber bond efficiency factor =1 for hooked-end fibers and 0.75 for
crimped fibers);
while abs(V0-V1)>10
    M0 = V1*d*mvd; % cross sectional moment
    w = (M0*lcrm)/(z*As*Es); % estimation of average crack width eq.(4.8)
    V0=V1;

    Vai=(fc^0.56)*scr*bflange*(0.03/(w-0.01))*((-978*(delta^2))+85*delta)-0.27);
    Vc=(2*(d-scr)*V0)/(3*z);
    % Vc2(i,j)=2*(d-z)/z*V11(i,j);
    Vdw = 1.64*(bw-br)*D*((fc)^.333);
    Vfb=(0.5*0.68*sqrt(fc)*1*lfdf*(Vf))*(bflange*d);
    V1= Vdw+Vc+Vai+Vfb;

```

```
%error(i,j)=-V1(i,j)+V0(i,j) ;  
V=V1;  
  
mvd0 = 2;  
if mvd < 2  
V = V*2/mvd0;%averiguar esta condición  
end  
  
if count==20;  
    break;  
end  
count=count+1;  
  
end  
V
```

ANEXO J: Código Matlab modelado 3 viga I

```

mvd=input('mvd (is the maximum value of M/Vd in the calculated span in [-])=');
da=input('da (the maximum aggregate size in [mm])=');
fc=input('fc (the compressive strength of concrete in [MPa])=');
d=input('d (the effective depth of the beam in [mm])=');
bw=input('bw ((the width of the beam in [mm]))=');
bflange=input('the width of flange in [mm])=');
rho=input('rho (the reinforcement ratio of the beam, the percentage is not.)=');
Re=input('Re, matrix with longitudinal reinforcement(example [1 28; 2 16])=');
Vf=input('Vf,the fiber volume fraction=');
lfdf=input('Lf/Df,ratio between fiber length and fiber diameter=');

```

```

global Es Ec

```

```

Es = 210000;

```

```

Ec = 40000;

```

```

n=1;

```

```

As = rho*bw*d;

```

```

if fc>65

```

```

    Ra=(7.2/(fc-38.86))+1;

```

```

else

```

```

    Ra=1;

```

```

end

```

```

tam=size(Re,1);

```

```

if tam>1

```

```

    D= sum(Re(:,1).*Re(:,2).^2)/sum(Re(:,1).*Re(:,2));

```

```

    br= sum(Re(:,1).*Re(:,2)) ;

```

```

else

```

```

    D= sum(Re(1,1).*Re(1,2).^2)/sum(Re(1,1).*Re(1,2));

```

```

    br= sum(Re(1,1).*Re(1,2));

```

```

end

```

```

ne = Es/Ec;

```

```

delta = min((3.267e-5.*d*25/D+.002204), .025);

```

```

scr = (1+rho.*ne-(2*rho.*ne+(rho.*ne).^2).^5).^5.*d;

```

```

lcrm = scr/1.28;

```

```

z = (2*d + scr)/3;

```

```

zc=d-scr;

```

```

V1=1.5*d*bw; % first guess of shear resistance

```

```

V0=0; count=0;

```

```

while abs(V0-V1)>10

```

```

    M0 = V1*d*mvd; % cross sectional moment

```

```

    w = (M0*lcrm)/(z*As*Es); % estimation of average crack width eq.(4.8)

```

```

    V0=V1;

```

```

Vai=(fc^0.56)*scr*bflange*(0.03/(w-0.01))*((-978*(delta^2))+(85*delta)-0.27);
Vc=(2*(d-scr)*V0)/(3*z);
%Vc2(i,j)=2*(d-z)/z*V11(i,j);
Vdw = 1.64*(bw-br)*D*((fc)^.333);
Vfb= 0.41*Vf*0.825*sqrt(fc)*lfd*(0.7*d)*bflange;
V1= Vdw+Vc+Vai+Vfb;
V=V1;

mvd0 = 2;
if mvd < 2
V = V*2/mvd0;%averiguar esta condición
end

if count==20;
    break;
end
count=count+1;

end
V

```


ANEXO K: Código Matlab modelado 4 viga I

```

mvd=input('mvd (is the maximum value of M/Vd in the calculated span in [-])=');
da=input('da (the maximum aggregate size in [mm])=');
fc=input('fc (the compressive strength of concrete in [MPa])=');
h=input('depth of the beam in [mm]=');
d=input('d (the effective depth of the beam in [mm])=');
bw=input('bw ((the width of the beam in [mm]))=');
bflange=input('the width of flange in [mm])=');
%br=input('br (the part of width occupied by rebar for dowel force)=');
rho=input('rho (the reinforcement ratio of the beam, the percentage is not.)=');
sl=input('sl, maximum spacing between bars [mm]:');
Re=input('Re, matrix with longitudinal reinforcement(example [1 28; 2 16])=');
Vf=input('Vf,the fiber volume fraction=');
lfd=input('Lf/Df,ratio between fiber length and fiber diameter=');

```

```

global Es Ec

```

```

Es = 210000;

```

```

Ec = 40000;

```

```

n=1;

```

```

As = rho*bw*d;

```

```

if fc>65

```

```

    Ra=(7.2/(fc-38.86))+1;

```

```

else

```

```

    Ra=1;

```

```

end

```

```

tam=size(Re,1);

```

```

if tam>1

```

```

    D= sum(Re(:,1).*Re(:,2).^2)/sum(Re(:,1).*Re(:,2));

```

```

    br= sum(Re(:,1).*Re(:,2)) ;

```

```

else

```

```

    D= sum(Re(1,1).*Re(1,2).^2)/sum(Re(1,1).*Re(1,2));

```

```

    br= sum(Re(1,1).*Re(1,2));

```

```

end

```

```

ne = Es/Ec;

```

```

k=50/lfd;

```

```

Cc=30;

```

```

cy=sl;

```

```

k1=0.4; %(deformed bars)

```

```

Smx=k*((2*(Cc+(sl/10)))+(0.25*k1*(D/rho)));

```

```

Smy=(2*d)/0.71;

```

```

Smtheta=2*d/0.71; %sin(45)

```

```

nu=Smtheta/Smx;

```

```

nu1=(0.47*d)/(h-d);

```

```

tmax=2.5*sqrt(fc);

```

```

tx=0.15*tmax;
fsxmax=(2*tx/D)*Smx;
Esp=0.01*Es;

if (fsxmax<fy)
    es=(Smx/Es)*(fsxmax/2);

else
    es=(Smx/Es)*(fy-(fsxmax/2))+((Smx/Esp)*(fsxmax-fy));
end

fcr=(7.5/12)*sqrt(fc);
er= fcr/Ec;
wf=(es-er)*Smx;

ws=nu1*wf*0.71; %sin(45°)

delta = min(ws,0.05); scr = (1+rho.*ne-(2*rho.*ne+(rho.*ne).^2).^0.5).*d;
lcrm = scr./1.28;
z = (2*d + scr)/3;
zc=d-scr;
V1 =1.5*d*bw; % first guess of shear resistance
V0=0; count=0;

while abs(V0-V1)>10
    M0 = V1*d*mvd; % cross sectional moment
    w = (M0*lcrm)/(z*As*Es); % estimation of average crack width eq.(4.8)
    V0=V1;

    Vai=(fc^0.56)*scr*bflange*(0.03/(w-0.01))*((-978*(delta^2))+85*delta)-0.27);
    Vc=(2*(d-scr)*V0)/(3*z);
    % Vc2(i,j)=2*(d-z)/z*V11(i,j);
    Vdw = 1.64*(bw-br)*D*((fc)^.333);
    Vfb= 0.41*Vf*0.825*sqrt(fc)*lfd*(0.7*d)*bflange;
    V1= Vdw+Vc+Vai+Vfb;
    V=V1;

    mvd0 = 2;
    if mvd < 2
        V = V*2/mvd0;%averiguar esta condición
    end

    if count==20;
        break;
    end
    count=count+1;

end
V

```