

ESTADO DEL ARTE DE MIEMBROS COMPUESTOS BAJO CARGAS

German Daniel Herrera Laverde

RESUMEN: Este documento presenta la evolución del estado del arte como algo más que una simple técnica para conocer el desarrollo que ha tenido un tema de investigación. Indaga a nivel descriptivo los datos y resultados para establecer nuevas relaciones de interpretación del comportamiento de miembros compuestos de acero-concreto sometidos a cargas.

PALABRAS CLAVE: Miembros compuestos, Adherencia entre el acero-concreto, Cortante, Resistencia máxima.

ABSTRACT: This document presents the evolution of the state of art as something more than a simple technique to know the development that a research topic has had. It investigates at a descriptive level the data and results to establish new relations of interpretation of the behavior of composite members of steel-concrete subjected to loads.

KEY WORDS: Composite members, Adherence between steel-concrete, Cutting, Maximum resistance.

En 1967 Furlong [1] realizó experimentos para determinar la precisión de las estimaciones teóricas propuestas de la resistencia final de columnas de tubos de acero rellenos de concreto. Se comenzó por detallar las ventajas y desventajas del uso del CFT. Una ventaja que se encontró fue la optimización de la resistencia y rigidez del acero debido a su ubicación en la periferia de la sección transversal. Una segunda ventaja es que se pueden usar secciones de acero más delgadas porque el núcleo de hormigón fuerza todos los modos de pandeo local hacia afuera, asegurando que el tubo alcance su resistencia de elasticidad longitudinal antes del pandeo. Finalmente, dos ventajas económicas surgen al utilizar CFT. El concreto tiene una relación menor entre costo y resistencia y los tubos actúan como encofrados que disminuyen los costos de construcción. El autor citó dos desventajas principales: la cuestionable retención de la resistencia de los tubos de acero en los incendios y la falta de evidencia experimental con respecto a las conexiones y columnas de vigas. El principal objetivo del artículo era proporcionar datos experimentales de columnas y vigas y examinar este tipo de elementos. Se concluyó que los dos materiales se comportan por independiente. En las tensiones por debajo de 0.001 la proporción del concreto de poisson era de medio a dos tercios la del acero. Esta diferencia en la expansión lateral tendía a separar los

materiales. A medida que aumentaban las deformaciones, el hormigón se expandía lateralmente a un ritmo mayor que el acero. Por encima de 0.001, la relación de Poisson de concreto comenzó a aproximarse a la del acero.

Gardner y Jacobson [2] en ese mismo año investigaron los miembros de compresión CFT sometidos a carga axial. Los resultados se compararon con ACI (American Concrete Institute 318-63) y NBC (National Building Code of Canada, 1965), así como con las pruebas realizadas por Klöppel y Goder (1957). Intentaron predecir la carga final de los CFT cortos y la carga de pandeo de los CFT largos. Los datos para el análisis teórico de los CFT largos se obtuvieron a partir de una curva de desviación de carga derivada experimentalmente basada en las pruebas de una columna auxiliar con las mismas dimensiones de la sección transversal. Las pruebas de columna larga revelaron que la fórmula del módulo tangente predice de forma conservadora los resultados entre 0 y 16.8%. Pero el método requería una prueba de columna de código auxiliar para determinar Ect. El ACI-NBC implicó un factor de carga en la falla de 2.5, pero los factores experimentales variaron de 3.37 a 5.13. Para columnas cortas, la carga axial mostró buena concordancia. Sin embargo, se advirtió el uso de la formulación teórica debido a que no se desarrolló la resistencia concreta triaxial completa en las pruebas. Se afirmó que la resistencia adicional de la sección mostrada en los experimentos probablemente se debió más en parte a que el acero entró en el endurecimiento por deformación, en lugar de que el concreto estuviera confinado triaxialmente.

En 1968 nuevamente Furlong [3] realizó fórmulas de diseño y gráficos que representaban la capacidad a carga axial, resistencia a flexión y rigidez a flexión de columnas CFT. La unión entre los dos materiales se examinó a detalle, también se examinaron las tensiones de arrastre y residuales. Los resultados experimentales de diferentes investigaciones se compararon con las fórmulas teóricas. Los resultados indicaron una menor rigidez a comparación con el valor calculado de la fórmula de diseño que utiliza áreas transformadas. En las curvas de deformación el comportamiento fue similar, estas indicaron que el vínculo contribuyó poco o nada a la fuerza del miembro sin engrasar o incluso en el unido. Las pruebas en los tubos de acero mostraron extensas tensiones residuales, estas causaron un reblandecimiento o disminución de la rigidez elástica mucho antes del punto o rendimiento.

En 1973 Chen y Chen [4] investigaron el comportamiento elastoplástico de tubos de acero rellenos de concreto circulares, cuadrados y con patillas. Se analizaron tres tipos de relaciones de tensión según el estado uniaxial de tensión en el acero y el concreto, según el estado de tensión uniaxial en el estado de acero y tensión triaxial en el concreto, y según el estado de tensión de acero uniaxial y tensión del concreto triaxial, asumiendo

que el efecto triaxial aumenta la ductilidad y la resistencia del concreto. Los objetivos principales del estudio fueron desarrollar curvas de columna teóricas para la carga axial combinada y la flexión teniendo en cuenta el efecto del confinamiento del concreto, demostrar que una columna CFT carga axialmente puede predecirse con precisión suponiendo una cierta excentricidad en la aplicación de carga axial y presentar curvas de interacción para columnas CFT simplemente soportadas bajo cargas asimétricas. Los resultados de las pruebas obtenidos por Knowles y Park se compararon con los valores teóricos y existió una buena correlación para las proporciones de $L / D > 15$, especialmente para grandes excentricidades. Las columnas con relaciones L / D inferiores a 15 se vieron influenciadas por el efecto del confinamiento triaxial del concreto. Se obtuvo una predicción precisa de la carga axial final para columnas cuadradas utilizando el método "CCC" mediante el uso de la curva de tensión-deformación del concreto, asumiendo tensiones triaxiales con un aumento de la resistencia y la ductilidad. Debido a que los efectos triaxiales fueron mucho mayores para las columnas circulares que para las columnas cuadradas, las estimaciones teóricas para las columnas circulares fueron bastante conservadoras para las bajas relaciones L / D . Las columnas circulares se modelaron con mayor precisión al amplificar el valor de f'_c utilizado en la relación de tensión-tensión inicial. Para las columnas con carga axial y momento combinados encontraron que la curva de esfuerzo-deformación no confinada para el concreto era adecuada para las columnas con $L / D > 15$ bajo carga simétrica y asimétrica. Para las columnas con $L / D < 15$, los efectos de la inestabilidad de la columna se pueden ignorar y se debe usar la curva de tensión-deformación confinada del concreto.

En 1990 Cederwall, Engstrom y Grauers [5] realizaron pruebas experimentales en columnas CFT rectangulares rellenas de concreto de alta resistencia. Se probaron dieciocho columnas delgadas con grados de excentricidad para evaluar las ventajas del concreto de alta resistencia en los CFT, Los efectos de confinamiento de las secciones compuestas y la transferencia de corte en la interfaz acero / concreto. Los principales parámetros variables en las pruebas fueron la resistencia del concreto y el acero, el espesor del tubo de acero y la excentricidad de la carga. Además, se examinaron los CFT con refuerzo interior y los CFT con una interfaz desligada. Finalmente se observó un comportamiento dúctil en las columnas, el cual dependía de la existencia de unión entre el acero y el concreto. En las pruebas que los materiales estaban despegados, el núcleo de concreto no contribuía al comportamiento de la columna cuando se cargaba solo el acero y la columna se comportaba como un tubo hueco de acero. Cuando solo se cargó en concreto, la resistencia de la sección aumento porque el acero confino el concreto hasta cierto punto.

En 1993 Puente y Webb [6] realizaron un estudio experimental en tubos utilizados en la construcción de Mbourne, Australia. Los tubos tenían relación D/t de 120 más allá de los límites especificados por la norma australiana AS4100-1900 y el Eurocódigo 4 [véase Roik y Bergman (1993) para el Eurocódigo 4 D/t límites]. Por lo tanto, los autores propusieron un diámetro efectivo, para tener en cuenta el pandeo local y realizaron pruebas experimentales para verificar la precisión del diámetro efectivo propuesto. Se realizaron dos pruebas de CFT y dos pruebas de HT utilizando concreto de alta resistencia con características de bombeo adecuadas. Los CFT se cargaron en la etapa posterior a la final. El pandeo local comenzó antes del punto de carga final, aunque inicialmente en pequeñas magnitudes de deformación. Más allá de la carga final, todo el tubo de acero doblado localmente cerca de la altura media y el acortamiento axial se concentró en esta región. Las pruebas correspondientes en las secciones de HT mostraron que el acero solo contribuía con 10-12% de la resistencia a la compresión de la columna. Además de soportar las cargas de construcción antes de ser llenado con concreto, el tubo se usó principalmente para contener el concreto.

En 1994 Bergmann [7] realizó dieciséis pruebas para investigar el comportamiento de columnas de acero rellenas con concreto de alta resistencia (CFT), las muestras estaban compuestas por cuatro secciones transversales diferentes, cada una con cuatro condiciones de carga diferentes, se analizaron bajo una carga axial monótonamente creciente. De las cuatro secciones transversales, dos eran circulares, con diámetros de 12.75 pulg. y 20 pulg. y grosor de 0.22 pulg. y 0.25 pulg. Respectivamente, y dos eran cuadradas, con longitudes laterales de 7 pulg. y 10.25 pulg. y espesor de 0.25 pulg. y 0.28 pulg. Respectivamente. Las muestras que se cargaron solo en una pequeña porción del concreto experimentaron fallas locales en el punto de aplicación de la carga y mostraron una resistencia menor que la otra muestra. La resistencia de tres de las cuatro muestras con la sección transversal circular más grande excedió la capacidad de la máquina de prueba y solo se determinó un límite inferior de carga. Las curvas de deformación de carga de los especímenes restantes exhibieron rasgos similares. En particular, al alcanzar la carga final, la fuerza disminuyó repentinamente, seguida de una fuerza relativamente constante.

En 1997 Aho y Leon [8] evaluaron y compararon los procedimientos de diseño para columnas compuestas y columnas de vigas en las especificaciones AISC LRFD (1993) y EC4 (1993). Usando los resultados de las pruebas de las bases de datos se derivaron dos nuevos métodos de diseño para miembros compuestos. En el enfoque AISC LRFD (1993), se proporcionan propiedades de material modificadas para los miembros compuestos, que luego se tratan y diseñan como secciones de acero y el método EC4 (1993) utiliza propiedades de material individuales de la sección compuesta en los cálculos de diseño.

En 1998, Hossain et al. [9] Adelanto un estudio de una viga rellena compuesta de paredes delgadas, que consistía en una sección de caja de acero abierta, conformada en frío con un relleno de concreto. Se comprobó que la viga de la caja de acero abierta y el concreto inflado se integraron solo por diversos modos de dispositivos de mejora de resistencia en el extremo abierto de la sección de la caja. Los resultados experimentales indicaron que dicha viga era generalmente una conexión de corte parcial debido a que la fuerza de unión entre las interfaces de acero y concreto limitaba la resistencia. Durante el proceso de carga, una vez que la unión falló, el concreto comenzó a agrietarse en la interfaz de la placa de extensión de la brida de acero, seguido por la separación lateral de las placas de acero laterales del concreto en la parte superior.

El uso de secciones conformadas en frío como vigas compuestas en sistemas de placas ofrece una gran flexibilidad en el diseño y varias ventajas. En mayo del año 2000 Ariel Hanaor [10] realizó un ensayo de vigas compuestas con secciones conformadas en frío. Las pruebas incluían extracción de numerosos conectores de corte y pruebas de elementos compuestos a escala completa. Los resultados indicaron que el diseño de los conectores de corte en la mayoría de los casos coincidía con lo estipulado en los códigos para conexiones conformadas en frío. Además las pruebas a gran escala indicaron una alta ductilidad y capacidad entre los miembros compuestos.

En 2001 Elchalakani, Zhao y Grzebieta [11] investigaron el comportamiento a flexión de los CFT circulares. Doce muestra de CFT fueron probados bajo flexión pura. La resistencia, la capacidad de deformación y la disipación de energía de las muestras se controlaron y compararon con las de tubos huecos ensayados. Se recomendó una relación de D / t para las vigas CFT circulares para lograr el momento plástico. Se propuso una formulación para calcular la capacidad de momento de las secciones circulares de CFT. Entre unos de los resultados se encontró que la relación D / t limitante fue aproximadamente un 14% mayor que los límites calculados de acuerdo con las disposiciones del código de diseño de AIJ (1987). Esto se atribuyó a la presencia de fuerza axial en los experimentos que se usaron para derivar las ecuaciones en AIJ (1987). Suponiendo una unión perfecta y realizar un análisis de bloque de tensión rectangular, se propuso una ecuación para calcular la fuerza del momento de las secciones de CFT. Se obtuvo una buena correlación con los resultados experimentales y los valores de intensidad de momento de los procedimientos EC4 (1992) y CIDECT (1995).

Han y Yan [12] 2001, llevaron a cabo una serie de pruebas en CFT cuadrados que incluían columnas auxiliares, columnas y columnas de vigas. El objetivo principal era investigar los patrones de resistencia y falla de los CFT. Se probaron veinte columnas auxiliares, ocho columnas y veintidós columnas de vigas. Definieron un factor de confinamiento para dar cuenta de la acción compuesta entre los materiales. Otros

parámetros que incluyeron resistencia al concreto fueron la relación D/t , excentricidad y esbeltez. Se obtuvieron las relaciones de la carga frente a la desviación del tramo medio para los especímenes. Las curvas predichas coincidieron con los resultados experimentales con precisión. Las ecuaciones simplificadas para la capacidad de carga axial y la capacidad de momento se derivaron de los estudios de regresión lineal. Se generaron diagramas de interacción para las muestras analizadas por varios investigadores utilizando las ecuaciones propuestas y los métodos de las especificaciones AISC LRFD (1993), AIJ (1997) y EC4 (1996).

En 2002 Nakamura, S.-I [13] propuso un nuevo tipo de puente compuesto de acero y concreto con vigas de acero en forma de U. se realizaron pruebas de flexión para investigar el comportamiento a flexión estática de vigas compuestas. Según el los resultados, el modelo en el centro del tramo se comportó como una viga compuesta, en los soportes intermedios como una viga pretensada y el concreto relleno restringió la compresión local de las placas de acero. Se propuso un método de cálculo de diseño para la sección de las vigas, asumiendo el principio de Bernoulli-Euler, y se verificó mediante los resultados de la prueba. El estudio demostró que la nueva viga compuesta tiene suficiente resistencia a la flexión y capacidad de deformación.

En 2003 Han, Lin-Hai; Yao, Guo-Huang; Zhao y Xiao-Ling [14] desarrollaron un modelo mecánico para vigas y columnas de acero rellenas de concreto. En este se describe un factor de confinamiento para describir la acción compuesta entre el tubo de acero y el concreto relleno. Las comparaciones se realizaron con las resistencias de columnas y vigas utilizando los códigos LRFD, AISC, AIJ-1997, BS5400-1979 y EC4-1994. Los resultados indicaron que la relación de carga pronosticada frente a la deformación concuerda con las pruebas experimentales. Los estudios paramétricos y experimentales proporcionaron información para el desarrollo de fórmulas para el cálculo de la resistencia final de las columnas y vigas compuestas.

Nuevamente en 2003 Jianguo Nie y CS Cai [15] investigaron los efectos de deslizamiento por corte en la deformación de vigas compuestas de acero y concreto. La rigidez equivalente de las muestras se derivó considerando la compatibilidad de equilibrio y curvatura, a partir de la cual se desarrolló una fórmula general para tener en cuenta los efectos de deslizamiento. Los resultados se compararon con otros resultados de pruebas de haces simples y continuos. Se encontró que la inclusión de los efectos de deslizamiento mejoró significativamente la precisión de la predicción.

En 2004, Jianzhu Jiegou Xuebao [16] hizo un estudio denominado “Ensayos de flexión en vigas de acero en forma de U de paredes delgadas rellenas con bloques de

concreto derribados y concreto fresco” en el cual se evidenció la importancia del uso de miembros mixtos. Se probaron vigas de acero en U de pared delgada rellenas con bloques de concreto derribado (DCB) y concreto fresco (FC) a cargas de flexión, también se hizo uso de la fórmula de cálculo simple para la capacidad a flexión de las muestras, y se realizó una comparación entre la capacidad de flexión de las muestras y las de vigas de concreto armado convencional (RC) con el mismo porcentaje de acero. Se encontró que: las influencias de la proporción de reemplazo de DCB dentro de un rango de 0-40% en la rigidez inicial, ductilidad, capacidad de flexión, deslizamiento relativo entre el acero en forma de U y el concreto, y el desarrollo de la cepa de los especímenes es muy limitado; en comparación con el aumento del grosor del acero en forma de U, la adición de barras longitudinales es una forma más efectiva de mejorar la capacidad de flexión de las vigas de acero en forma de U de paredes delgadas llenas de DCB y FC, y las barras longitudinales ayudaron a aumentar la rigidez de los especímenes antes de la producción hasta cierto punto; el deslizamiento relativo entre el acero en forma de U y el concreto se puede reducir significativamente agregando barras longitudinales en la parte inferior de las vigas, y en este caso la sección final de la viga es la sección transversal con deslizamiento mínimo; se puede usar una fórmula simple derivada de la teoría del plástico para predecir la capacidad de flexión de las vigas de acero en forma de U de paredes delgadas llenas de DCB y FC.

En este mismo año Elchalakani, Zhao y Grizebieta [17] realizaron pruebas de flexión pura cíclica de amplitud constante en 23 vigas CFT circulares. La relación entre el momento máximo y el momento máximo en el primer ciclo se presentó en función del número de ciclos en grupos definidos por el índice de ductilidad. Las vigas tenían una longitud de 59 pulg. De punta a punta y la longitud de flexión pura era de 31,5 pulg. Los tubos de acero se fabricaron mediante laminación y soldadura por resistencia eléctrica. El acero tenía una resistencia media de 60,6 ksi. El concreto tenía una resistencia a la compresión promedio de 3.35 ksi. El diámetro de los tubos de acero varió de 4.3 pulg. Se observó que la relación entre los límites de esbeltez sísmica y estándar vario entre 0.5 y 1 con la baja relación correspondiente a las altas demandas de ductilidad.

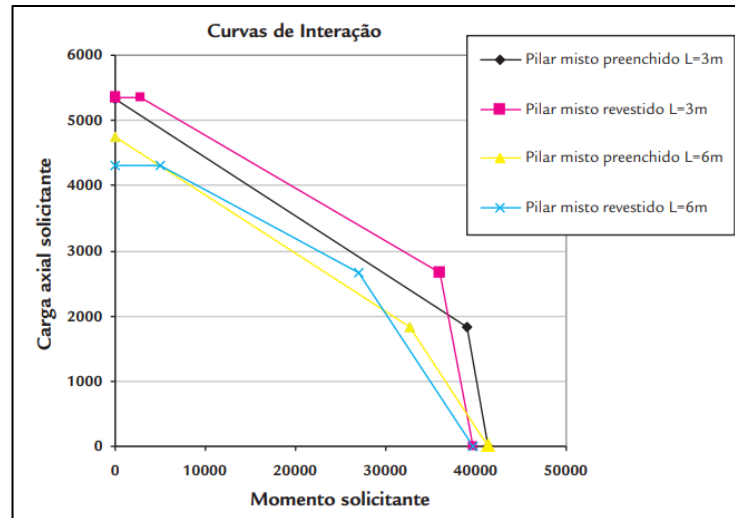
Ghannam, Jawad y Hunaiti [18] 2004, realizaron un estudio experimental para investigar los modos de falla de secciones tubulares de acero cuadradas, rectangulares y circulares rellenas de concreto normal o liviano. Se probaron cuarenta y cinco especímenes bajo carga axial concéntrica. Los especímenes rellenos con concreto liviano exhibieron un poco de pandeo local cuando ocurría la falla de pandeo por flexión. En contraste, las columnas rellenas con concreto normal no mostraron signos de pandeo local cuando se produjo el pandeo por flexión. Las muestras de tubos huecos fallaron por pandeo local.

Giakoumelis y Lam [19] 2004, realizaron pruebas en columnas CFT circulares. Examinaron el efecto de unión entre el tubo de acero y el núcleo de concreto para una gama de resistencias de concreto. Los resultados experimentales se compararon con los códigos de diseño europeos, estadounidense y australianos. Los principales parámetros de prueba fueron la resistencia del concreto, el espesor del tubo de acero y la unión entre el núcleo del concreto y el tubo de acero (engrasado o no engrasado). El diámetro del tubo de acero y la longitud de la columna se mantuvieron constantes para todas las pruebas, con una relación L / D de 2.6. Se utilizaron tres resistencias de concreto diferentes (4.3 ksi, 8.6 ksi y 14.3 ksi). El límite de elasticidad nominal del acero fue de 50 ksi, el valor medido se obtuvo de las pruebas de compresión en tubos huecos. Las columnas se taparon en ambos extremos para distribuir la carga uniformemente sobre el acero y el concreto. Se observó que para las columnas de alta resistencia, la carga máxima se obtuvo con un pequeño desplazamiento, mientras que para las columnas de resistencia normal, la carga máxima se obtuvo con grandes desplazamientos. Se observó además que la diferencia entre los especímenes engrasados y no engrasados variaba con la resistencia a la compresión del concreto. Para el concreto de resistencia normal, las curvas de desplazamiento de carga para los dos eran casi idénticas. Para el concreto de resistencia media, a la carga final, el engrasado y el no engrasado lograron la misma capacidad, pero la capacidad elástica fue mayor para el espécimen no engrasado. Para el hormigón de alta resistencia, se observó una variación significativa entre especímenes engrasados y no engrasados.

Al igual que el estudio mencionado en el año 2003 [17]. En 2005 Han y Yang [20] realizaron pruebas de carga axial constante y carga transversal cíclica en ocho muestras CFT circulares y dos muestras de HT. Se desarrolló un modelo analítico para replicar el comportamiento observado durante las pruebas. Se desarrollaron modelos simplificados a partir del modelo analítico para predecir el comportamiento histérico de las columnas circulares. Entre las principales conclusiones se destacó que la ductilidad de las columnas CFT disminuyó al aumentar el nivel de carga axial, la esbeltez y la resistencia del concreto, y La proporción incrementada de área de acero a área de concreto. La resistencia del acero tuvo menos efecto sobre la ductilidad.

En el año 2006 en Brasil Gomes Augusto y Graca Walnório [21] hicieron un estudio de miembros mixtos nombrado “Pilares Mixtos de Acero – Concreto en comparación con pilares de concreto reforzado”. En este trabajo se hizo un estudio económico a pilares mixtos y pilares de concreto reforzado, utilizando como medio principal la curva de interacción presentada por el EUROCODIGO 4 y a través de encuestas presupuestarias realizadas en la región de la Gran Victoria en Brasil. Se concluyó que la esbeltez era el factor que más influía en los pilares mixtos, pues, cuanto más esbelto fueran los pilares, mayor su costo, esto se debe principalmente por la necesidad de utilizar una mayor

cantidad de acero en la sección transversal, también cuando los materiales se dimensionan bajo la misma franja de esbeltez, se comprueba que el coste de los materiales de pilares mixtos acero – concreto es menor que el de pilares de concreto reforzado, además de presentar una mayor resistencia, así como lo muestra la siguiente figura.



En este mismo año Cole, B. Fam, a. [22] por medio de pruebas de carga flexural en tubos de PRF rellenos de concreto, acero longitudinal y barras de refuerzo evaluaron el rendimiento de vigas compuestas. Se ensayaron siete muestras con diámetro de 220 mm y una longitud de 2,43 m. las muestras se reforzaron con varilla de refuerzo con varilla de acero GRFP o polímero reforzado con fibra de carbono FRP de varios tamaños. Se utilizaron tubos de GFRP prefabricados con fibras orientadas en la dirección del aro en cinco muestras. Una muestra de control incluía espirales de acero convencionales de rigidez comparable al tubo GFRP y la otra no tenía refuerzo transversal. Los resultados de las pruebas demostraron que las vigas CFFT se desempeñan sustancialmente mejor que las vigas con una espiral de acero. A diferencia de los CFFT con barra de refuerzo de FRP, los CFFT con barra de refuerzo de acero fallaron de manera progresiva secuencial, lo que llevó a una ductilidad considerable. Un modelo analítico capaz de predecir la respuesta completa de los haces CFFT reforzados, incluida la falla progresiva secuencial. Se muestra que la estructura laminada del tubo afecta el comportamiento, solo después de ceder la barra de acero. La relación de refuerzo de acero afecta significativamente la rigidez y la resistencia, mientras que la resistencia del concreto tiene un efecto insignificante en el rendimiento general.

En 2006 Ellobody, Young y Lam [23] presentaron un estudio sobre el comportamiento y el diseño de columnas de tubos de acero circulares rellenos de

concreto cargados axialmente. El objetivo de este estudio fue desarrollar un modelo preciso de elementos finitos para simular el comportamiento de columnas compuestas por medio de un análisis de elementos finitos en el programa ABAQUS. Los componentes principales fueron el concreto confinado, el tubo de acero circular y la interfaz entre el concreto y el tubo de acero. Se utilizó un tamaño de malla de 1 (longitud): 1 (ancho): 2 (profundidad) para el análisis. Debido a la simetría, solo se modeló un cuarto de la columna. Se realizó una comparación entre los resultados experimentales y los resultados de elementos finitos. Se investigaron las cargas finales obtenidas de cada prueba, así como las curvas de acortamiento axial de la carga y las formas deformadas después de la falla. Se logró un buen acuerdo entre los dos conjuntos de resultados y se observó una diferencia máxima de 7% entre los resultados experimentales y numéricos. Las resistencias de la columna, las curvas de acortamiento axial de la carga y las formas deformadas de las columnas se pronosticaron utilizando el programa de elementos finitos y se han comparado bien con los resultados experimentales.

En 2007 Ahn y Ryu [24] publicaron un artículo sobre vigas de perfil compuesto modular, en donde la sección del módulo mejoro los esfuerzos de construcción, reduciendo las desviaciones debido a la contracción y deformación, además se sugirió una teoría de análisis de haces de perfil compuesto, y se compararon experimentalmente. El comportamiento de los módulos individuales con aumento de carga se midió con un medidor de tensión, y se analizó la relación de conexión de corte entre los módulos utilizando los valores medidos. Como resultado del experimento, se encontró que la resistencia a la flexión teórica en condición de conexión completa era de 57% a 80% por conexión de módulos para cada muestra.

En las vigas compuestas con láminas perfiladas existe una limitación de espacio en los canales para soldar suficientes conectores de corte, en muchos casos la conexión utilizada es parcial, lo cual no permite una acción conjunta total de los materiales. En un artículo publicado por Jianguo Nie, Jiansheng Fan y C.S. Cai [25] en 2007 se estudiaron trece vigas compuestas de acero y concreto con conexión parcial sometidas a momento positivo y negativo. Los principales parámetros considerados fueron la disposición de los pernos de corte, las láminas perfiladas, el número de refuerzo longitudinal y las condiciones de carga. El grado de conexión de corte vario de 0.25 a 1.85 en las pruebas, valores considerablemente más bajos que los límites del Eurocódigo 4 (1994), que especifica un valor mayor a 0.4 para vigas con una longitud inferior a 5 m. Los resultados de las pruebas se compararon con las especificaciones de Eurocódigo 4 (1994) y AISC (1999), así como con las predicciones teóricas. En general, los resultados de las pruebas coincidieron con los códigos de diseño y las predicciones teóricas. Las pruebas y los

cálculos demostraron que las conexiones de corte parcial se pueden utilizar en regiones de flexión positiva y negativa en vigas compuestas continuas.

Gupta, Sarda y Kumar [26] 2007, presentaron un estudio experimental y computacional sobre el comportamiento de columnas de tubos de acero rellenos de concreto y carga concéntrica circular hasta su falla. Se investigó el efecto del diámetro y la relación D/t de un tubo de acero en la capacidad de carga de las columnas de tubos rellenos de concreto. También se investigó el efecto del grado de concreto y el volumen de cenizas volantes en el concreto. Se desarrolló un modelo de elementos finitos no lineales para estudiar el mecanismo de carga de los CFT utilizando el código de elementos finitos ANSYS. En el estudio computacional, se observaron modos de falla idénticos a los encontrados en las pruebas. Se encontró que la pendiente inicial de las curvas de carga-deformación obtenida por el modelo analítico es mayor que la del experimental. La deformación de los especímenes de CFT en el punto de producción fue aproximadamente de un 20 a un 30 por ciento menos que sus homólogos experimentales.

En 2008 Elchalakani y Zhao [27] realizaron pruebas de flexión cíclica pura de amplitud creciente en diez muestras de CFT circulares para conocer el rendimiento sísmico de este tipo de miembros. Se presentaron gráficos de momento frente a rotación con indicación de inicio de pandeo local y fractura. Para muestras con varias relaciones D/t , la envoltura de momento cíclico frente a rotación se superpuso con el momento monotónico frente a la respuesta de rotación de muestras similares previamente probadas. A partir de estos gráficos, se hicieron varias observaciones. Primero, para relaciones de D/t más altas, se observó que la resistencia es significativamente menor bajo la carga cíclica, mientras que, para relaciones de D/t más bajas, no hay una degradación de la resistencia significativa. Además, en todos los casos se ve que la ductilidad se reduce bajo la carga cíclica. Se hicieron comparaciones adicionales entre tubos rellenos y huecos similares.

En 2009 J.R. Ubejd Mujagić y W.S. Pascua presentaron un artículo en el cual evidenciaron los resultados de un estudio de confiabilidad integral de vigas compuestas. El estudio consideró los cambios en las especificaciones desde el estudio de confiabilidad de Galambos y Ravindra en 1976, considera una base de datos más amplia de datos experimentales y evalúa las propuestas recientes para cambios en el diseño de conectores de corte. Se presenta una comparación de tres métodos de diseño diferentes basados en 15,064 cajas de vigas compuestas.

En 2010 Safat Al-deen, Gianluca Ranzi y Zora Vrcelj [28] realizaron un estudio experimental destinado a evaluar el comportamiento a largo plazo de vigas compuestas de acero-concreto diseñadas con una conexión de corte parcial formada por una vigueta

de acero y una losa de concreto sólido. Se prepararon y ensayaron tres vigas de apoyo a escala completa con tramos y secciones transversales iguales. Las muestras se diseñaron como vigas secundarias de un sistema de piso típico basado en las directrices australianas con el nivel más bajo permitido de conexión de corte de 0.5. Fueron moldeados simultáneamente para permitir comparaciones con respecto a las condiciones de vertido y carga. Una viga se lanzó sin apuntalar y se mantuvo descargada durante toda la duración de las pruebas a largo plazo para medir los efectos de la contracción. Las dos vigas restantes, fundidas en condiciones no apoyadas y apoyadas, respectivamente, fueron sometidas a una carga sostenida uniformemente distribuida. Se realizaron pruebas estándar a corto y largo plazo para obtener las propiedades relevantes del material, tanto del acero como del concreto. Se llevaron a cabo pruebas de expulsión a corto y largo plazo para obtener información sobre la respuesta de los conectores de corte. Los resultados experimentales fueron modelados por medio del método de elementos finitos. El comportamiento dependiente del tiempo se representó mediante un procedimiento paso a paso, mientras que la viga de acero y el refuerzo se asumieron como elásticos lineales. Se adoptaron dos relaciones constitutivas para la conexión de corte, es decir, una elástica lineal, y una nueva dependiente del tiempo, para tener en cuenta los efectos a largo plazo producidos en el complejo estado de tensión del concreto que rodea los conectores de corte. Las consideraciones de la precisión de las predicciones numéricas se presentaron en función de los dos modelos de conexión de corte.

Han y Li [29] 2010, investigaron el efecto sísmico tanto en tubos de acero rellenos de concreto (CFT) como en vigas de acero con losa de concreto armado (RC). En este se probó una combinación de vigas y columnas con compresión axial en la parte superior de las columnas y cargas cíclicas en los extremos de las vigas para investigar la influencia de las juntas interiores y exteriores. El parámetro principal para estos experimentos fue el tipo de unión (interior vs. exterior), la carga y el ancho de los especímenes. El concreto se preparó sin vibración y se usó para llenar el interior de los tubos de acero antes de que se usara un gato hidráulico para aplicar una carga axial constante. Los extremos de la columna estaban restringidos por el movimiento horizontal, aunque se les permitía girar. Para las juntas interiores, se observó que la presencia de un RC aumenta la resistencia de una viga, y que la parte superior de las bridas sufrió la menor cantidad de daño debido al soporte adicional del RC. Las muestras con falla de viga dominante mostraron la menor cantidad de daño en el núcleo de concreto, sin embargo, las muestras con falla de columna tuvieron un agrietamiento visible. Las juntas exteriores proporcionaron mucha más resistencia, con una carga máxima y una rigidez mucho más altas. Por último, se concluye que la tensión es menor para los especímenes con una sección de acero más grande, en comparación con los especímenes con una sección más pequeña.

En 2010 Susel García, Sosa Rafael Larrua, Jorge Douglas Bonilla Rocha y Roberto Vázquez Montes de Oca [30] investigaron acerca del comportamiento de conectores tipo canal en estructuras compuestas de concreto y acero sometidas a flexión bajo carga estática. A partir de los resultados de un programa de FE se realizó una simulación de uno de los especímenes, teniendo en cuenta la geometría, condiciones de borde, modelación de los materiales, tipo de elemento finito y densidad de la malla.

Las vigas de acero en forma de U rellenas de concreto se utilizan para aumentar la resistencia a la flexión y la rigidez de las vigas de acero mediante el uso de relleno de concreto. En un estudio hecho en 2011 por Hong Gun Park, Hyeon-Jong Hwang, Cheol-Ho Lee, Chang-Hee Park y Chang-am Lee [31] se desarrolló un detalle sísmico para la conexión de la columna de vigas de acero en forma de U llena de hormigón. Se usó un detalle especial que usa barras diagonales y conexiones de barras soldadas para fortalecer las juntas de viga y columna. Para verificar el rendimiento sísmico de la conexión viga-columna, se analizaron dos especímenes a escala completa bajo carga cíclica. El parámetro de prueba era el tamaño de la viga de acero en forma de "U". Las profundidades de las vigas compuestas fueron 610 mm (espesor de la placa de acero = 6 mm) y 710 mm (espesor de la placa de acero = 8 mm), incluida la profundidad de losa de 160 mm. Los resultados de las pruebas mostraron que las muestras exhibían buena capacidad de resistencia, deformación y disipación de energía. La capacidad de deformación superó el 4% de la relación de deriva entre pisos. El modo de falla primario de los especímenes fue el pandeo y la fractura de la placa de acero en la viga.

En 2011 Han, He y Liao [32] probaron 17 CFT y un tubo hueco para conocer el comportamiento a tracción de estos miembros. Los parámetros principales fueron la relación de acero (la relación entre el área de la sección transversal del tubo de acero y el concreto), el tipo de concreto (autolubricante o reforzado con fibra de acero) y, finalmente, el enlace entre las condiciones no vinculadas entre el acero y el concreto. Para probar las muestras, se aplicó una carga de tracción constante hasta que la tensión alcanzó los 40,000 μs , se usó un programa de descarga para reducir la carga de tracción a cero. Muchos especímenes no alcanzaron este límite y fallaron antes de alcanzar esta deformación longitudinal. La falla se observó principalmente en el área soldada, sin embargo, se encontraron algunas grietas distribuidas uniformemente en la superficie del concreto. Cuando el CFT estaba "sin adherir", se observaron grietas de tracción en el núcleo de concreto y se vio "pellizco" del tubo de acero.

Otro estudio en este año hecho por Han, He y Liao [33] analizaba tubos de acero de doble revestimiento rellenos de concreto (CFDST), en condiciones de carga a largo plazo. Se realizaron 6 pruebas y se compusieron dos CFDST circulares y dos cuadradas.

Además, se usaron 10 CFDST y CFT para referencia y comparación en términos de cargas finales. Con el fin de analizar las muestras, las barras fueron pretensadas y la prueba de carga a largo plazo se realizó durante tres años. Se observó que la tensión aumentó bajo cargas sostenidas a largo plazo hasta aproximadamente 1 mes, y luego aumentó mucho más lentamente y se estabilizó después de 100 días. Durante la prueba de resistencia definitiva, todos los miembros exhibieron pandeo.

En 2012 Y.H.Ng, N.E.Shanmugam y J.Y.Richard Liew [34] llevaron a cabo experimentos para investigar el comportamiento de carga final de las vigas compuestas. Se probaron tres tipos de vigas compuestas continuas a fallas. Se estudiaron dos proporciones diferentes de refuerzos de losa y dos longitudes diferentes para examinar la capacidad de carga final. Se encontró que a través de un diseño adecuado y detallado, se puede lograr un diseño óptimo de la viga compuestas cuando la bisagra de plástico forma un mecanismo de colapso plástico.

En 2013 Hildemar Hernández, Jorde Douglas Bonilla y Gilberto Rodríguez Plasencia [35] desarrollaron un estudio preliminar sobre el comportamiento de vigas compuestas de concreto y acero ensambladas mediante conectores tipo perno. El proceso de simulación numérica empleó un software llamado ABAQUS, que se basa en un Método de Elementos Finitos (FEM). Para modelar el comportamiento del acero, se empleó un modelo bilineal con criterio de falla de Von Mises, así como un modelo de plasticidad de daños en el concreto. Los resultados obtenidos de la simulación numérica en pruebas reales demostraron una relación bastante apropiada con los resultados obtenidos de la prueba de prueba, validando así el uso de FEM para el estudio de este tipo de estructuras. También se estudió la variabilidad de diversos parámetros físicos y su influencia en el comportamiento de la estructura compuesta.

En 2014 Yunita Idris y Togay Ozbakkaloglu [36] realizaron un estudio experimental sobre el comportamiento a flexión de vigas compuestas de acero reforzado con fibra de polímero (FRP) de alta resistencia (HSC). Se probaron siete vigas tubulares de doble revestimiento (DSTB) y un tubo de FRP relleno de concreto (CFFT) con una viga en I de acero interno como vigas simplemente soportadas en doblado de cuatro puntos. Los principales parámetros del estudio experimental incluyeron las formas de sección transversal del refuerzo interno de acero y el tubo FRP externo, la resistencia del concreto, la presencia (o ausencia) de relleno de concreto dentro del tubo de acero y los efectos del uso de conectores mecánicos en el acero interno. Los resultados indicaron que los DSTB son capaces de desarrollar deformaciones flexurales inelásticas muy altas. Sin embargo, los resultados también indican que el deslizamiento entre el concreto y el tubo de acero del DSTB puede ser relativamente grande, a menos que la unión entre el concreto y el

tubo de acero se mejore mediante el uso de conectores mecánicos. Los resultados de las pruebas de haz ilustran que el comportamiento a la flexión de los DSTB están significativamente influenciados por el diámetro y el espesor del tubo de acero interno. El concreto que llena el tubo de acero interno y aumenta la resistencia del concreto aumenta la capacidad de flexión de los DSTB sin afectar su ductilidad general. Además, la forma del tubo de acero interno influye tanto en la capacidad de flexión de los DSTB como en la aparición de deslizamiento entre el concreto y el tubo interior de acero. Se muestra que el deslizamiento de la unión entre el concreto y el tubo de acero interno se puede prevenir mediante el uso de conectores mecánicos.

Se ha desarrollado un nuevo sistema compuesto de vigas y pisos para lograr una mayor resistencia, ductilidad y economía. Para entender su comportamiento en 2014 Cheng-Tzu Thomas Hsu, Sun Punurai, Wonsiri Punurai y Yazdan Majdi [37] realizaron pruebas de haz compuesto para obtener la capacidad de momento positivo, desviación vertical y el deslizamiento final del sistema. Comparando con una sección no compuesta, la sección propuesta presentó mejor rendimiento tanto de resistencia como de ductilidad. Sobre la base de las pruebas de vigas actuales, la carga final y la desviación de la mitad del tramo de la sección compuesta propuesta se pueden aumentar en un 14–38% y en un 56–80%, respectivamente. De acuerdo con los resultados de la prueba de flexión experimental, la sección compuesta puede alcanzar la máxima resistencia sin falla local de corte o compresión cuando el conector de corte propuesto se presenta en la sección compuesta. El análisis y diseño de vigas compuestas con vigas de acero conformadas en frío y losas de concreto también se estudian para validar los resultados de las pruebas actuales.

Han, Hou, Zhao y Rasmussen [38] 2014 realizaron un estudio para determinar la capacidad de impacto de miembros CFT. Se probaron 12 CFT y tubos de acero hueco de referencia en un equipo de martillo suspendido sujeto a carga de impacto transversal. Los parámetros principales fueron la longitud del espécimen, la masa y altura del martillo de caída. Se probó una combinación de columnas circulares y cuadradas con diferentes condiciones finales. Las pruebas concluyeron que los CFT tienen una alta ductilidad y resistencia bajo carga de impacto. Para probar la energía de impacto del martillo de gota de cromo, se utilizó un láser para medir la velocidad inicial. Todos los CFT mostraron deformación por flexión, y se observó un pandeo local alrededor de la parte superior del tramo medio y en la parte inferior de las columnas fijas-fijas. La fractura ocurrió en el área de la soldadura, y condujo a una mayor desviación. Las columnas huecas mostraron mucha más desviación y la prueba concluye que los CFT son mucho más dúctiles.

En Ecuador Xavier Flores [39] 2014, realizó ensayos con secciones huecas y secciones rellenas de concreto sometidas a flexión para analizar la contribución del concreto a la resistencia del elemento. Se usaron dos tipos de secciones, unas armadas por medio de soldadura y otras no, estas fueron rellenas de concreto y sometidas a la prueba de deflexión de 4 puntos. Se observó que las secciones que no requirieron armado previo mostraron mejor comportamiento al ser ensayadas, en cambio las secciones armadas presentaron fallos por soldadura en los elementos rellenos. Las curvas de momento – deflexión obtenidas en los ensayos de los elementos vacíos, fueron más lineales según su relación b/t era menor, en cambio las mayores presentaron desfases importantes debido al acomodo del material mientras recibía la carga.

En 2015 Yuchen Jiang, Xiamin Hu, Wan Hong y Boliang Wang [40] realizaron un estudio experimental y teórico de haces compuestos continuos parcialmente encajonados. En este explicaban el comportamiento mecánico y la ley de distribución del haz compuesto continuo parcialmente encajonado (PECCB). La variable principal fueron 3 muestras de PECCB reforzadas con acero longitudinal en la losa de concreto. A medida que aumenta la cantidad de refuerzo en la losa de concreto de la región del momento de acaparamiento, el grado de redistribución del momento de PECCB disminuye. Sobre la base de analizar el requisito de redistribución de momento para el diseño de plástico y la capacidad de rotación final de la sección de momento de acaparamiento, se obtienen los factores de redistribución de momento requerido y disponible de PECCB. Un parámetro “ r_p ” se introdujo para evaluar la relación relativa entre el refuerzo longitudinal en la losa de concreto y la parte restante de la sección parcialmente encapsulada, el valor de R_p debe restringirse dentro de 0.35 para permitir la redistribución total del momento para el diseño de plástico de PECCB. Se concluyó que debido a la contribución de la cobertura de la banda, los PECCB tienen una velocidad de propagación de grieta mucha más lenta en la losa de concreto de la región del momento de acaparamiento. El recubrimiento de la banda también contribuye a posponer el rendimiento de la fibra superior y evita el pandeo local en la viga de acero.

En 2015 Huiyong Ban, Mark A. Bradford, Brian Uy y Xinpei Liu [41] hicieron una investigación para cuantificar la capacidad de rotación disponible en vigas compuestas utilizando materiales de alta resistencia (HS) sometidos a flexión. Se utilizó un modelo tridimensional avanzado de elementos finitos para calcular la rotación de las vigas compuestas de un solo punto cargadas y soportadas. El modelo demostró ser adecuado y confiable para predecir la resistencia a flexión y la respuesta de desviación de la carga mediante comparaciones con numerosos resultados experimentales informados en otros lugares. Se modelaron 1380 vigas con diversas resistencias de acero y concreto, así como una amplia gama de grado de conexión y geometrías de corte, y se incorporan losas

sólidas y losas compuestas que utilizan tablonces de acero perfilado. Los análisis indicaron que la profundidad del eje neutro es el parámetro más esencial para determinar la capacidad disponible de rotación, de la cual un valor incrementado conduce a una capacidad de rotación más baja. El acero también tiene efectos notables con valores más altos que dan como resultado un peor rendimiento de rotación. La capacidad de rotación disponible también es sensible a la relación entre el alcance y la profundidad de las vigas. .

Nuevamente en el año 2015 Daniel Carapaz y Elvis Escudero [42] con base en el estudio propuesto por su compañero [39], realizaron un estudio experimental de columnas tubulares de acero rellenas de concreto y huecas, sometidas a carga axial para analizar la capacidad al pandeo local. Se observó que la carga nominal obtenida experimentalmente en las columnas huecas resultó ser menor que la estudiada teóricamente. Lo cual indico que los efectos del pandeo local son mucho más influyentes en secciones esbeltas. En cambio la carga nominal obtenida experimentalmente en las columnas rellenas de concreto resulto ser en algunos casos mayor y en otro menor a la estudiada teóricamente por los diferentes códigos. Lo que indico que las normativas tienen una predicción moderadamente similar a la encontrada experimentalmente.

En el año 2016 Juan Ceballos y Juan Rodriguez [43] realizaron un estudio en Colombia denominado “Comparación Técnica y Económica del Diseño de una Estructura Mixta con Respecto a una Convencional de Concreto Reforzado”, en el cual se hizo una comparación de dos tipos de edificación, una en concreto reforzado bajo los estándares de la NSR-10 y la otra en sección compuesta bajo lo establecido en el Eurocodigo 4 y la NSR-10, teniendo en cuenta factores técnicos como: el peso muerto de la estructura, dimensiones, índices de esfuerzo y aspectos económicos. A manera de conclusión se observa que la ejecución de una estructura mixta es un 6.3% más costosa que una en concreto reforzado, para dicho caso por una diferencia de aproximadamente 64 millones de pesos, valor un poco despreciable en contraste a las ventajas que proporciona dicho sistema estructural, también se aclara que unos de los factores que más incide en el aumento de los costos de este sistema estructural es el alto precio de importación de perfilaría metálica y la necesidad de mano de obra calificada para la respectiva unión entre los miembros estructurales.

Además de comprobar la acción compuesta de los dos materiales, también se han hecho investigaciones de análisis inelástico no lineal en vigas compuestas, tal es el de un estudio hecho por Cosmin G. Chiorean y Stefan M. Buru en el año 2016 [44], el objetivo del proyecto fue modelar los efectos combinados de la acción compuesta parcial y la plasticidad distribuida utilizando un elemento de viga-columna de 2 nodos, el rendimiento gradual a lo largo de la sección transversal se describió a través de ecuaciones

constitutivas no lineales de equilibrio, compatibilidad, material y conexión de corte por medio de una simulación en el software ABAQUS. Se concluyó que el comportamiento global de las vigas compuestas con acción parcial, tanto en el campo elástico como en el post-elástico, así como la capacidad de carga final predicha por el enfoque propuesto, se correlaciona bien con los resultados experimentales y los modelos avanzados de elementos finitos. Pero con eficiencia computacional, generalmente solo es necesario analizar un elemento por miembro. Se demostró que el modelo es aplicable a vigas compuestas que usan losas sólidas con diferentes propiedades de material, diversas relaciones de geometría para losas, parámetros variados de sección transversal, diferentes longitudes de vigas y diversos escenarios de carga.

En ese mismo año Shenhao Wang, Genshu Tong y Lei Zhang [45] desarrollaron una teoría para el análisis de vigas compuestas de acero y concreto con deslizamiento interfacial y deformación por corte. Se consideraron ejemplos para calcular varias cantidades de vigas. Comparando los resultados calculados por las soluciones suministradas por el software ANSYS. Finalmente se define una fórmula que explica la rigidez a la flexión equivalente de las vigas compuestas.

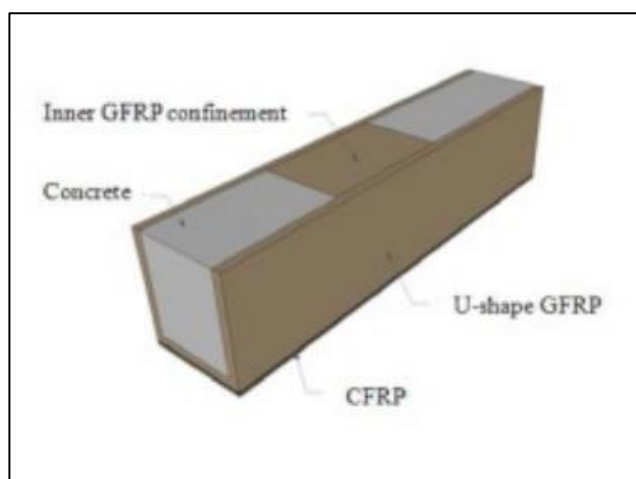
También se han hecho pruebas en miembros compuestos de madera y concreto como el de Samuel C. Auclair, Luca Sorelli y Alexander Salenikovich [46]. Este estudio se desarrolló y validó por medio de un modelo de 4 niveles para una viga TCC con tacos de acero con pruebas experimentales de corte en las conexiones de madera y concreto y pruebas de flexión. Teniendo como aportes a la teoría de vigas compuestas:

- la no linealidad de la ley de conexión y del craqueo del concreto mediante un enfoque de rigidez secante.
- Pruebas que evidencian que la acción compuesta evita de manera eficiente la concentración del agrietamiento del concreto.
- Aumento de la rigidez axial debido a la acción compuesta

Existen antecedentes de estudios en miembros compuestos diferentes a la combinación del concreto y el acero, tal es el caso de un estudio hecho por Marcin Kozłowski, Marta Kadela y Jacek Hulimka [47] en el año 2016 acerca de vigas compuestas de madera y vidrio sometidas a cargas. Se realizó un estudio numérico para el modelado de fallas frágiles en el vidrio. Se analizó la influencia de la geometría del elemento, el tamaño del elemento y el desempeño estructural. Los modelos fueron validados con ensayos experimentales. Se concluyó que los parámetros estipulados anteriormente no afectaban la respuesta del modelo en términos de cargas de desplazamiento.

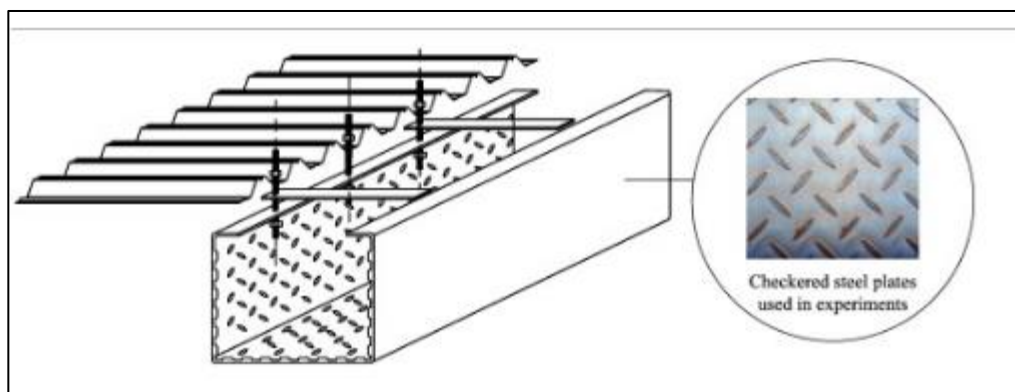
En 2016 Vinh Xing, Qinghua Han, Jie Xu, Qi Guo y Yihong Wang [48] hicieron un estudio experimental y numérico sobre el comportamiento estático de vigas compuestas elásticas de concreto y acero. Los resultados mostraron que el concreto elástico podría mejorar el comportamiento de ductilidad de las vigas de vástago y compuesto, Reducir la anchura de las grietas del concreto, mayor grado de conexión de corte para alargar la etapa elástica y retardar el desarrollo y la propagación del deslizamiento. Además, los resultados del análisis mostraron un buen comportamiento y aplicabilidad del concreto elástico en las vigas compuestas conectadas a cizallamiento parcial. Con la ayuda del concreto elástico, la ductilidad de la viga compuesta se mejoró de manera efectiva para que sea posible aplicar grandes pernos en la práctica.

En el año 2017 Liang Huang, Chen Zhang , Libo Yan y Bohumil Kasal [49] realizaron un análisis denominado “Comportamiento a flexión de vigas compuestas de perfil FRP en forma de U con confinamiento interno del tubo GFRP en la zona de compresión del concreto”, este investigo experimentalmente el comportamiento a flexión de los materiales compuestos de perfil hibrido en forma de U con y sin confinamiento interno del tubo GFRP en la zona de compresión del concreto bajo una prueba de flexión de cuatro puntos. Los resultados indicaron que el confinamiento interno del tubo GFRP en la zona de compresión del concreto resultó en una ductilidad significativamente mayor, y las capacidades de carga de las vigas compuestas se mejoraron significativamente mediante el uso del perfil en forma de U y el confinamiento del tubo GFRP. En la siguiente imagen se observa el sistema mencionado anteriormente.



Con base en lo establecido en los estudios [24] y [9] que demostraron que la acción de unión entre la viga de acero y el concreto tiene una gran influencia en el rendimiento mecánico de las vigas compuestas. En el año 2017 Li-hua Chen, Shu-

ting Li, Hong-yang Zhang y Xiao-feng Wu [50] propusieron un nuevo tipo de viga compuesta de concreto revestida de acero a cuadros. En esta configuración se usaron placas de acero a cuadros para producir la viga de acero, aumentar el efecto de unión entre los dos materiales y disminuir la cantidad y dimensiones de pernos de corte utilizados normalmente para unión. Se concluyó que el patrón a cuadros de la viga de acero mejoro sustancialmente el efecto de unión entre los materiales, además de comprobar que los valores teóricos son consistentes con los valores experimentales en los cuales se tuvieron en cuenta la capacidad máxima a flexión y elástica de las vigas compuestas. La composición entre los dos materiales se ilustra en la siguiente imagen.



Otro estudio sobre miembros compuestos a destacar en 2017 fue el hecho por Piotr Lacki, Anna Derlatka y Przemysław Kasza [51]. En este se evidencia una comparación de una columna compuesta de acero-concreto y una columna de acero sometida a compresión y flexión uniaxial. La columna de acero estaba hecha de un perfil en H soldado y la columna compuesta se diseñó como una alternativa a la columna de acero existente utilizando un método analítico. El objetivo principal era realizar un análisis numérico utilizando el sistema ADINA basado en el método de elementos finitos teniendo en cuenta las tensiones en los elementos de acero y concreto, su distribución y desplazamientos. Finalmente se encontró que la columna compuesta es más rígida que la de acero y sufre un menor desplazamiento, además que la capacidad de carga analítica calculada para la columna compuesta fue del 90%

Si habláramos de marcos compuestos de columnas circulares rellenas de concreto (CFST) y vigas compuestas, un análisis hecho por Fa-xing Ding, Guo-an Yin, Li-zhong Jiang y Yu Bai [52] es el más indicado para explicar su comportamiento, en este se investigó a través de un estudio experimental y un modelo de elementos finitos los efectos de relación de compresión axial, relación de rigidez lineal y relación de esbeltez. Se encontró que los marcos compuestos caracterizados por una columna CFST circular unida a una viga compuesta de acero y concreto podrían proporcionar una ductilidad satisfactoria (3.52

$\leq \mu \leq 4.88$) y capacidad de disipación de energía ($1.46 \leq E' \leq 2.29$) incluso bajo la alta relación de compresión axial de 0.7. También mostraron un buen rendimiento sísmico, evidenciado por su relación de disipación de energía y el coeficiente de degradación de la rigidez.

Además de estudios que evalúen la resistencia de miembros compuestos, se vienen adelantando algunos que verifiquen y mejoren la conexión entre los mismos, tal es el caso del estudio hecho por Jingchen Liu, Yuanlong Yang, Jiepeng Liu y Xuhong Zhou [53] en china en el año 2017. En este se hizo una evaluación experimental y numérica sobre el comportamiento sísmico de una columna tubular rellena de concreto con forma especial para uniones de vigas de acero. Se realizó un experimento pseudoestático para conocer el mecanismo de transmisión de carga, el modo de falla y el índice de rendimiento sísmico basado en curvas de deformación. Se comparó y evaluó el comportamiento sísmico de dos tipos de articulaciones. La desviación entre los pisos de las muestras se calculó con datos de aparatos de laboratorio y se verificó con los resultados de las pruebas. Se propuso una fórmula de diseño de resistencia de corte conjunta basada en la transmisión de carga interna para aplicaciones de ingeniería. Se concluyó que el modo de falla de las muestras fue de corte de la zona del panel de la junta en las muestras 1 y 2, detectando grietas en el concreto y hebillas locales del tubo de acero, en la muestra 3 la falla fue por tracción del concreto en la zona del panel de la junta y en la muestra 4 la falla la destrucción se le atribuye al efecto significativo de segundo orden de la carga a compresión vertical constante. Además la deriva se calculó y observo que la deriva entre los pisos generada por la deformación por flexión elástica de la viga y la columna está por debajo de la mitad de la deriva total entre pisos.

En 2017 también se realizó un estudio por Samer Ahmad, Adnan Masri y Zaher Abou Saleh [54] sobre vigas compuestas parcialmente encajonadas y sin aberturas de banda. Los parámetros incluidos en este estudio fueron el área de la sección transversal del miembro, la distribución de las aberturas de banda en la viga de acero revestida, el grado del concreto. Se probaron seis vigas compuestas con diferentes porcentajes de acero. Las pruebas se realizaron aplicando una carga concentrada que actúa en la mitad del tramo. Se encontró que las muestras con aberturas en la web ofrecían un mejor rendimiento en comparación con las que no tenían aberturas en la web. Además, la existencia de aberturas de banda en las vigas de acero revestidas es eficaz para mejorar la capacidad de flexión y la absorción de energía. Esto aumenta la ductilidad y por lo tanto reduce el peso de la estructura. Se presenta un análisis de elementos finitos no lineales para evaluar el comportamiento de flexión de las vigas compuestas. Los resultados de las pruebas también se compararon con el software de

elementos finitos Se han logrado buenas correlaciones entre lo que se modeló y los resultados experimentales reales.

Ese mismo año V.KR Kodur y M.Z. Naser [55] presentaron un enfoque simplificado para evaluar la degradación de la capacidad de corte en el acero expuesto al fuego y las vigas compuestas. El enfoque tomaba en cuenta la degradación de la fuerza inducida por la temperatura, efectos de inestabilidad en la sección y el nivel de acción compuesta desarrollada en la interfaz de la losa y el perfil de acero. Se compararon las predicciones del enfoque propuesto con los resultados obtenidos del análisis de elementos finitos y las pruebas de incendio. Los resultados indicaron que el enfoque propuesto puede evaluar la degradación en la capacidad de corte del acero expuesto al fuego y de las vigas compuestas en una amplia gama de escenarios de carga.

Un experimento hecho por Therese Sheehan, Xianghe Dai y Dennis Lam [56] en este mismo año en una viga compuesta para explorar la respuesta no proyectada con un bajo grado de conexión de corte y una carga distribuida uniformemente, tenía como principal objetivo demostrar que las directrices de diseño del Eurocódigo son conservadoras, más exactamente en la relación con el grado de conexión requerido a corte. La viga probada estaba compuesta por un perfil de acero en I y una losa de concreto sostenida. Los resultados indicaron que el momento máximo de flexión de la viga compuesta estuvo cerca de la resistencia a la flexión según el Eurocódigo 4. No se evidenciaron aplastamiento en el concreto ni fallas, los deslizamiento superaron los 6 mm. Además la prueba demostró los méritos de una construcción no proyectada, que actualmente no está totalmente explotada en el Eurocódigo 4. La comparación y el análisis sugieren que los límites de diseño que rigen el grado mínimo de conexión de corte pueden ser revisados.

Las vibraciones producidas por las estructuras o componentes estructurales son las principales fuentes de problemas en las construcciones. Un método resistente para mejorar la capacidad de amortiguación es por medio de estructuras compuestas. Se sabe que los compuestos tienen mejor resistencia, rigidez, resistencia a la corrosión y fatiga superior. En 2017 Antara Bhattacharjee y Bijoy Kumar Nanda [57] realizaron un estudio del amortiguamiento en vigas compuestas para estimar las relaciones de amortiguación y frecuencias naturales. Las diversas vigas compuestas utilizadas son de epoxi reforzado con fibra de vidrio (GFR), poliéster reforzado con fibra de vidrio (GFP) y epoxi relleno de carbono negro (CBFE). El método de decremento logarítmico se utilizó para evaluar los parámetros de amortiguamiento a partir de los gráficos de amplitud versus tiempo. Los resultados indicaron que la relación de amortiguamiento y los valores de frecuencia natural se encontraban en 0.2281 y 1664.94 rad/s respectivamente para CBFE. Por lo

tanto se demuestra que el CBFE tiene un amortiguamiento más alto en comparación con GFE y GFP.

En 2017 Emil Manoach, Jerzy Warminski, Lukasz Kloda y Andrzej Teter [58] realizaron un estudio numérico y experimental para la detección y ubicación de daños en vigas compuestas. El método propuesto se comparó con el método de los desplazamientos modales, el método de las curvas modales y el método de energía de tensión. Se utilizó un modelo de elementos finitos de vigas compuestas intactas y dañadas para validar la corrección y la eficiencia. Los resultados muestran que los modos y las frecuencias de las vibraciones naturales obtenidas mediante el uso del nuevo método pueden usarse para la detección de daños en vigas compuestas. El método de energía de tensión modal muestra la mejor capacidad para indicar la presencia de fallas y su ubicación entre los métodos basados en modos más populares. Requiere, sin embargo, más modos de ser considerados en el análisis. El método podría usarse para estimar la severidad del daño porque el caso no dañado corresponde al valor de energía $DI \approx 1$. Los resultados numéricos para haz con espesor reducido por daño muestran que el método de energía de tensión mejorada, que incluye la deformación por cizallamiento, podría ser Mucho más eficaz cuando las tensiones de corte son esenciales. El nuevo método mejorado basado en el mapa de Poincaré da excelentes resultados en los procedimientos de detección de fallas, en ambos casos de datos numéricos y experimentales obtenidos. Estos resultados muestran que se podría aplicar para SHM en línea.

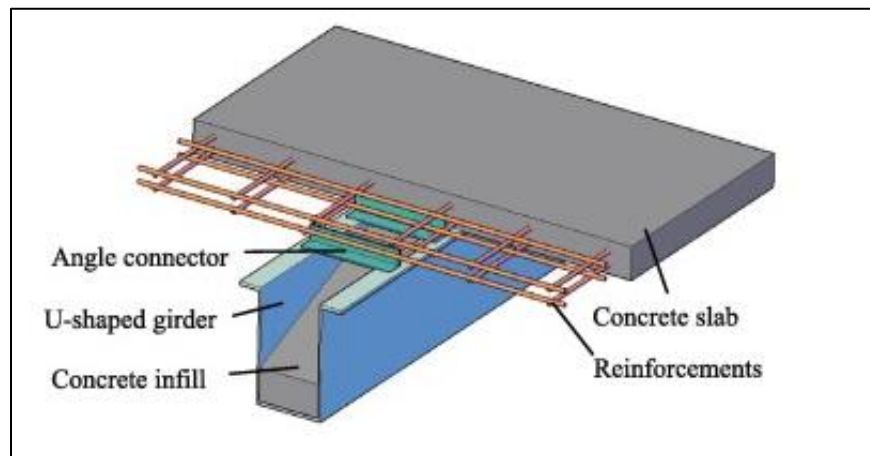
Con el fin de investigar la respuesta dinámica de vigas compuestas de acero y concreto bajo vibración forzada, en 2017 Zhang Yanling, Liu Bei, Liu Han, Li Yunsheng y Zhang yue [59] hicieron un modelo dinámico experimental bajo la carga armónica con diferentes cargas estáticas los componentes, las amplitudes de carga y las frecuencias de carga se realizaron en cada haz de prueba, se obtuvieron la aceleración y desviación de la mitad del tramo, la desviación media y la amplitud de deslizamiento en diferentes puntos de medición. Los resultados indicaron que el valor de deslizamiento medio y la amplitud de deslizamiento en la superficie entre la viga de acero y la losa de hormigón, la aceleración en el tramo medio y la desviación dinámica mostraron una forma de onda sinusoidal bajo la carga armónica sinusoidal.

Muhammad NS Hadi y Jian Song Yuan [60] realizaron un estudio experimental sobre el comportamiento a flexión de viga compuestas reforzadas con barras de acero de tracción longitudinal y polímero de fibra de vidrio reforzado (GFRP). Para este se probaron cinco muestras de vigas entre las cuales se consideró una en concreto reforzado y las demás compuestas, se modelaron y probaron bajo el ensayo de curvatura de cuatro puntos. Las variables tenidas en cuenta fueron el tipo de barra a tracción longitudinal y la

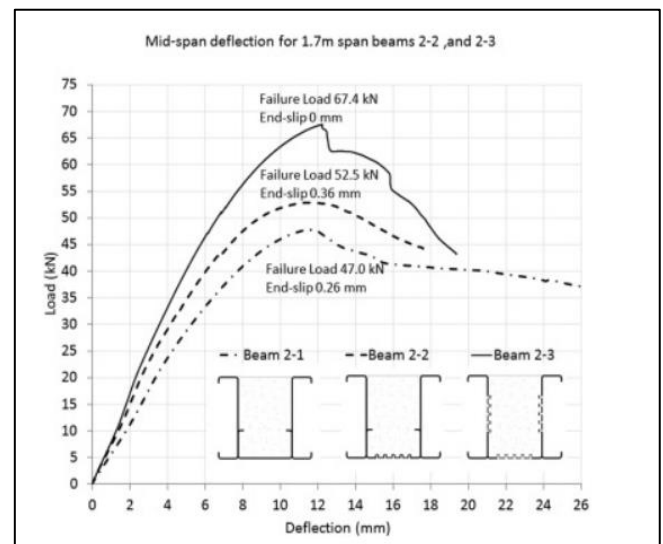
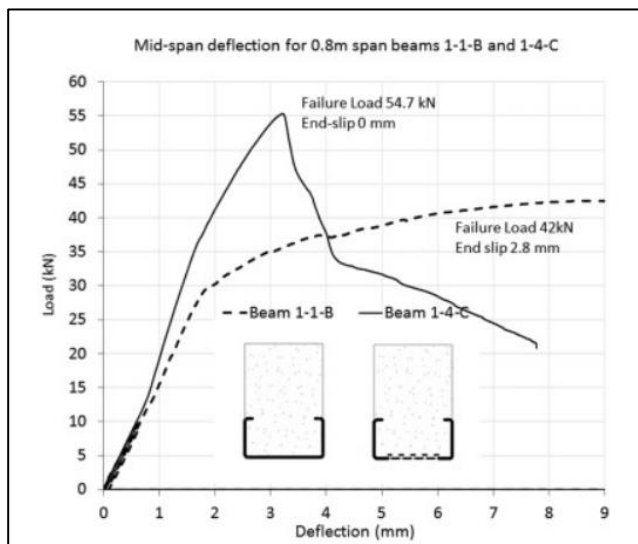
ubicación de la viga en I en la sección transversal. Los resultados indicaron que las vigas compuestas tienen una respuesta dúctil debido a las barras de acero a tracción, y el punto de rendimiento de la viga compuesta era controlado por las barras. La carga final de la viga compuesta fue más alta que la de concreto reforzado. Cuando se utilizaron barras GFRP para reemplazar las barras de acero de tracción para reforzar las vigas compuestas, la falla frágil de las barras GFRP causó la falta de ductilidad de los miembros de la viga, tanto la rigidez como la carga final se redujeron significativamente en comparación con las barras de acero. El deslizamiento entre el concreto y la viga I también se incrementó cuando se utilizaron las barras GFRP.

En la mayoría de las vigas compuestas, la conexión entre el hormigón y el acero es imperfecta, por lo tanto, aparece un mayor o menor deslizamiento relativo entre ambos materiales. Este deslizamiento afecta tanto a las deformaciones como a los esfuerzos de la viga. Para simular este fenómeno Ricard Caus, Jose Antonio Lozano-Galant, Enrique Mirambell Arrizabalaga, Dong Xu y Jose Turmo [61] realizaron un trabajo que propone un nuevo modelo de elementos finitos basados en elementos tipo viga, facilitando así la interpretación y la aplicación práctica de los resultados. Para validar la precisión del modelo, se compararon los resultados de las ecuaciones analíticas propuestas en la literatura en dos estructuras compuestas con diferentes estados de carga.

En 2018 Lanhui Guo, Yong Liu y Bing Qu [62] analizaron el comportamiento de estructuras compuestas de acero y concreto en conjunto con sistemas compuestos (vigas y losas). Este se centró en el comportamiento de una viga en forma de U conectada a una losa de concreto por medio de perfiles angulares, En este se efectuaron pruebas experimentales y modelos computacionales para conocer el comportamiento real a flexión por medio de diferentes especímenes, además se realizaron modelos de análisis simplificados con base en los supuestos diagramas de tensión y esfuerzo, e implementaron cálculos manuales para capturar las respuestas de curvatura de momento no lineal. Se encontró finalmente que los modelos de análisis concuerdan bien con los modelados en computadora. La combinación propuesta entre los miembros y materiales compuestos se puede evidenciar en la siguiente imagen.



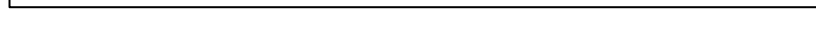
Uno de los últimos estudios en estructuras compuestas es el hecho en el reino unido en 2018 por R. MarkLawson y HogrTaufiq [63] denominado “Conexión de corte parcial en vigas compuestas de acero ligero”. El potencial de esta fue crear un nuevo sistema de construcción basado en el comportamiento estructural de los miembros compuestos de acero ligero, evaluando mediante pruebas, modelos de elementos finitos y un estudio práctico de los procesos de instalación la resistencia de los elementos. La sección utilizada fue una C Simple, la cual desarrolla la acción compuesta con el concreto debido a los bordes de la sección que están incrustados en el concreto y a la unión química entre el acero y el concreto asistido por el pequeño efecto de confinamiento de las bridas. A modo de conclusión se puede observar en la siguiente imagen los efectos resistentes de la sección C lisa y la perforada, dando una resistencia de 55 Kn y conexión completa en la sección perforada y 29 Kn y 2.8 mm de deslizamiento en la sección lisa, hay que tener en cuenta que la sección lisa presenta un mayor régimen plástico después de su cedencia, lo cual podría ser un factor de mayor incidencia debido a la ductilidad, además se incluyeron secciones en C lisas y perforadas en los lados para aumentar la resistencia a la flexión y al corte, tal y como lo muestra la siguiente imagen.



En el año 2018 con el fin de estudiar el rendimiento a fatiga de una viga compuesta con plataforma compuesta de placa de acero-concreto bajo carga de fatiga, Ruyue Liu, Yong Yang y Xianwei Zhou [64] realizaron pruebas estáticas en dos muestras y pruebas de fatiga con carga de fatiga de amplitud constante en seis muestras. Se estudió la influencia del límite superior y el límite inferior de la carga de fatiga, así como la amplitud de la carga de fatiga en el modo de falla y el daño por falla, tanto en el momento de flexión como en el momento de acaparamiento. Además, para las muestras probadas bajo carga de fatiga, se registraron y analizaron la desviación dinámica, la desviación residual, las deformaciones de las placas de concreto y acero, la deformación de la viga de acero, la capacidad residual y la rigidez a la flexión. Los resultados experimentales demostraron que el modo de falla de las muestras en el momento de hundimiento fue la fractura de la placa de acero de la viga compuesta. Sin embargo, el aplastamiento del concreto en la región de compresión, sin embargo, las muestras en el momento de acaparamiento desarrollaron un buen comportamiento de fatiga con una capacidad de carga y rigidez comparativamente altas y finalmente no se encontró ninguna falla por fatiga. La vida de fatiga se vio afectada directamente por la amplitud de la carga de fatiga, mientras que el límite superior y el límite inferior de carga de fatiga tuvieron poca influencia sobre ella. La conclusión obtenida en el documento fue útil para el diseño de este tipo de viga compuesta.



Otro estudio que enmarca el comportamiento completo de secciones compuestas es el hecho en china en el año 2018 por expertos en el área como Jiepeng Liu y Yuanlong Yang [65], el cual estudia el comportamiento a flexión de vigas compuestas por secciones en forma de U rellenas de concreto conectadas por refuerzo cercha tensado en frio en forma de U (RCUCB), considerando la conexión a corte, relación de refuerzo longitudinal y



compuesta, se consideraron un sistema de anclaje espiga de vidrio y un sistema de anclaje de tira PBO envuelta en U. Como conclusión se pudo evidenciar que los sistemas retrasaron la separación entre los materiales sometidos a flexión, permitiendo a la viga llegar exitosamente a su falla por rendimiento y no por desunión, también que las vigas reforzadas no ancladas y ancladas con dos hojas de PBO obtuvieron la misma resistencia a la flexión, pero los sistemas de anclaje cambiaron el modo de falla de una falla de separación a una falla de deslizamiento de las hojas de PBO.

Para garantizar la acción compuesta entre los dos materiales es necesario tener un adecuado mecanismo de transferencia de fuerzas, así como lo indica un estudio hecho por Jia-Ji Wang, Mu-Xuan Tao, Meng Zhou y Xin Nie en el 2018 [68]. En este por medio de estudios experimentales y numéricos se buscaba la falla por corte y el mecanismo de transferencia de fuerza de siete vigas de concreto reforzado (RC) que se reforzaron con un material compuesto basado en concreto revestido de acero. Se propuso el método SPCC para superar las desventajas del método tradicional de placa de acero unido externamente. En las pruebas, la contribución de tensión y corte de la banda de acero se calculó en función de los valores de tensión medidos con sensores de roseta y de acuerdo con las teorías de elasticidad y plasticidad. La contribución al corte de concreto nuevo y viejo se calculó restando la fuerza de corte de la banda de acero de la fuerza de corte total. Los resultados experimentales demostraron que la fuerza de corte de la banda de acero varió de 50% a 77% de la resistencia de corte diseñada, en contra de la suposición típica del 100%. La relación de corte-lapso-profundidad fue un factor importante que influyó en el mecanismo de transferencia de fuerza de la viga reforzada con cizallamiento de acero (SPSS). En el análisis de simulación numérica, se desarrolló un modelo elaborado de elementos finitos (FE) basado en el modelo de grieta de ángulo fijo (FACM). Las comparaciones con los resultados experimentales mostraron que el modelo desarrollado predice el comportamiento estructural general, la contribución individual de la banda de acero y los modos concreto y de falla, con un nivel razonable de precisión.

Un estudio realizado en 2018 por Jianjun Yang, Huaguo Chen, Shengliang Hu y Vincent JL Gan [69] sobre vigas compuestas tradicionales, resaltó el problema de los grandes pesos y requerimientos considerables de materiales estructurales. Para abordar estos problemas propusieron un nuevo tipo de viga compuesta de acero y concreto con vigas transversales y longitudinales ocultas (TALHG). Para investigar el rendimiento de flexión de tales vigas, se examinaron cinco muestras con TALHG. Los resultados indican que las vigas compuestas presentan una alta resistencia a la flexión, buena rigidez a la flexión y ductilidad deseable bajo carga monotónica. Los hallazgos proporcionados por los resultados experimentales fueron una base para la formulación de la capacidad de carga, la rigidez y la deformación de las vigas con TALHG bajo carga lineal. Las vigas compuestas

exhibieron un rendimiento de flexión favorable y estable. El modo de falla se caracterizó por aplastamiento de la losa de concreto y el rendimiento de la viga de acero. El momento de flexión de la mitad del tramo de curvatura frente a las curvas de desviación presento una tendencia dominada por flexión.

También se han hecho estudios de análisis estático y vibración en miembros compuestos, uno de los más conocidos es el hecho por Dongil Shin, Soomin Choi, Gang-Won Jang y Yoon Young Kim en [70] 2018, en este se desarrolló una teoría de haz de orden superior para un análisis estructural eficiente de vigas de caja compuestas de paredes delgadas. Primero, se propuso un método sistemático para derivar funciones de forma seccional para vigas compuestas. Varios estudios numéricos confirmaron que el HoBT produce resultados suficientemente comparables con los resultados de cascara. Se obtuvieron resultados satisfactorios para problemas tanto de estática como de vibración libre.

A fin de conocer sobre el comportamiento estructural de vigas compuestas de madera y concreto provistas de sistemas de conectores de diversas configuraciones. Yehia A. Zaher Ali [71] sometió once vigas compuestas de concreto y madera y una viga compuesta de concreto y acero en una prueba de flexión de tres puntos. La construcción de la viga y el tipo de conector de corte fueron los parámetros básicos de investigación. Se examinó la posibilidad de aumentar el rendimiento de flexión de estas vigas al envolver sus bandas con laminados GFRP. Comparación del comportamiento flexural de las vigas compuestas de concreto-madera propuestas con la de las dos vigas post-tensadas que usan varillas longitudinales externas de acero y una viga compuesta de concreto y acero. Los resultados de las pruebas demostraron que la banda vertical de madera es superior a las bandas horizontales de madera laminada horizontal y maciza en bloques al proporcionar mayor rigidez y Mayor tenacidad. Además, el conector de corte de cola de milano mejorado con la inserción de una espiga de acero en el centro de la ranura imparte una acción compuesta total entre el tejido de concreto y madera. El uso de laminados GFRP que se envuelven a lo largo de todo el tramo de la banda de madera es un método altamente efectivo para aprovechar el uso del conector mejorado de cizalla de cola de milano. El comportamiento de la viga compuesta de madera y concreto propuesta fue comparable al de la viga de banda de concreto y acero.

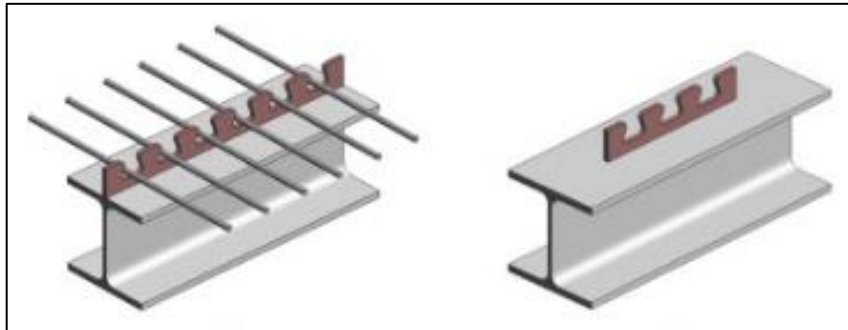
En un estudio hecho por Mohammad M. Rana, C.K. Lee, Safat Al-Deen y Y.X. Zhang [72] en 2018 se estudió el comportamiento a flexión de nuevas formas de vigas compuestas de acero revestidas de compuesto de cemento cementado (ECC). Se probaron cuatro vigas compuestas de acero recubiertas con ECC-LWC (Concreto liviano) para investigar los efectos del grosor de la cubierta, capacidades de carga y modos de fallas

finales del ECC. Los resultados experimentales demostraron que la ductilidad del ECC mejoró la resistencia residual del miembro de acero recubierto incluso después del aplastamiento superior del ECC. Además se ha demostrado que al reemplazar el concreto normal con ECC y LWC para revestimiento los miembros mejoran su resistencia a flexión, ductilidad general de las vigas y reducción del peso.

Las vigas compuestas de acero y concreto se han utilizado ampliamente en la industria de la construcción moderna, donde los conectores de espárragos de corte de cabeza se sueldan comúnmente a través de láminas de acero perfiladas para garantizar una acción compuesta total / parcial entre la viga y la losa compuesta. Para tales haces compuestos, hay interacciones complejas entre diferentes componentes, lo que lleva a diferentes modos de falla. El análisis de elementos finitos (FE) se podría utilizar para comprender el comportamiento fundamental de tales vigas. Pero los modelos de FE anteriores han adoptado varias suposiciones para simplificar el modelado de algunas interacciones complejas, como la interacción entre los montantes de cizalla y el hormigón. En consecuencia, esos modelos FE tienen limitaciones para capturar ciertos tipos de modos de falla. Mientras tanto, Las fuerzas reales transportadas por los espárragos y las láminas de acero perfiladas no se han determinado cuantitativamente. En un estudio realizado por Utsab Katwal, Zhong Tao y Md Kamrul Hassan [73] se desarrolló un modelo detallado de elementos finitos para vigas compuestas con láminas de acero perfiladas considerando una interacción real entre los diferentes componentes, la fractura de los espárragos de corte y las láminas de acero perfiladas, así como el daño por tracción y compresión en el concreto. El modelo elementos finitos desarrollado predijo satisfactoriamente las curvas de carga y deformación de rango completo de las vigas compuestas y la relación de fuerza de corte y deslizamiento de los pernos de corte incrustados. Las predicciones concordaron bien con una amplia gama de datos de pruebas publicados en la literatura.

Un estudio alternativo a conexiones en miembros compuestos hecho en 2018 por Alves Ana Rita, B. Valente Isabel, B. Vieira Washintgon y S. Veríssimo Gustavo [74] explica el comportamiento de vigas compuestas de acero y concreto en el que se utiliza un conector de corte continuo llamado Crestbond, para establecer la conexión completa entre la losa de concreto y la viga de acero. Las pruebas experimentales y los modelos numéricos se desarrollaron para evaluar el comportamiento de la viga compuesta y el conector de corte indentado en el análisis. Los especímenes probados consistían en una viga de acero con un conector Crestbond posicionado en la brida superior de la viga y soldado continuamente en su desarrollo, así como se muestra en la siguiente imagen. Los resultados mostraron que el conector proporcione una gran rigidez y interacción completa

entre la losa y la viga. La falla de la viga se determinó mediante la trituration de la parte superior de la losa de concreto.



El acero inoxidable es cada vez más utilizado en proyectos de construcción debido a su resistencia a la corrosión, buenas propiedades mecánicas y físicas. Los códigos de diseño actuales para vigas compuestas de acero y concreto se basan en el comportamiento del material de acero elástico perfectamente plástico que descuida el endurecimiento por deformación. Si bien esta es una suposición razonable para el acero al carbono, el acero inoxidable es un material muy dúctil que ofrece niveles significativos de endurecimiento por deformación antes del fallo. Por lo tanto, la actual disposición de diseño de sueldos da como resultado predicciones de resistencia imprecisas y excesivamente conservadoras cuando se aplican a vigas compuestas de acero inoxidable. El estudio hecho por R. Shamass y K.A. Cashell [75] propuso por primera vez una solución analítica para predecir la capacidad de flexión plástica de las vigas compuestas de acero inoxidable y concreto con conexión de cizallamiento total o parcial. Este método es un desarrollo del método de fuerza continua (CSM). Dado que el análisis analítico requiere una solución matemática compleja, también se propuso una solución analítica simplificada, que utiliza algunas de las suposiciones en el Eurocódigo 4. Actualmente no hay pruebas disponibles en la literatura para vigas compuestas de acero inoxidable y concreto. Por lo tanto, un modelo de elementos finitos. Se desarrolló y validado con una serie de resultados experimentales para vigas compuestas hechas de acero al carbono normal o de alta resistencia. El modelo numérico validado se utiliza para investigar la precisión de la solución analítica propuesta. Se concluyó que tanto las soluciones completas y simplificadas de análisis son fiables, el método analítico proporcionó una recta hacia adelante, herramienta que podría ser utilizada para futuros diseños.

En las vigas compuestas de acero y concreto, las fuerzas de corte longitudinales se transfieren a través de la interfaz de la losa de concreto y brida de acero mediante conectores de corte. El comportamiento del conector es altamente no lineal e implica varios mecanismos complejos. La resistencia de diseño y la rigidez de las vigas compuestas dependen del comportamiento de la conexión de corte y la precisión en la predicción de la resistencia del conector es esencial. En un estudio realizado por Luciano Mendes Bezerra, Wallison CS Barbosa, Jorge Douglas Bonilla Rocha y Otávio RO Cavalcante [76] se propuso un nuevo conector tipo truss como alternativa para reemplazar el perno provisionario en situaciones especiales. La geometría del conector fue concebida con el objetivo de bajo costo, fácil ejecución, alta resistencia y eficiencia en relación con el deslizamiento y la elevación. Se construyeron seis muestras para pruebas de extracción comparando este conector alternativo con pernos de espárrago. El comportamiento de los especímenes fue investigado por colapso, deslizamiento y levantamiento. Los resultados experimentales se compararon con la simulación numérica de FE que muestra un buen acuerdo y proporciona una visión global del comportamiento del conector de corte tipo truss y su viabilidad.

Un estudio reciente publicado por Amir Reza Ghiami Azad, Mohammad Saeed Mafipour y Sepehr Tatleri [77] analiza las vigas compuestas con interacción parcial entre losas de concreto y vigas de acero ha sido de interés. Debido a la flexibilidad de los conectores de corte disponibles en la práctica, considerar la interacción total entre la losa de concreto y la viga de acero no puede ser perfectamente cierto. Además, la interacción completa requiere un número significativo de conectores de corte en una viga, lo que no parece ser económico e incluso razonable porque los conectores de corte deben instalarse donde más se necesiten, es decir, en regiones con grandes momentos de flexión positiva. Por otro lado, hay pocos beneficios en la instalación de conectores de corte en regiones con momentos de flexión negativos, ya que la losa de concreto está en tensión. Se revisaron los métodos analíticos más prácticos para analizar haces compuestos con interacción parcial. Se presentó un método novedoso basado en estudios previos con algunas modificaciones. Los resultados de esta investigación sugirieron que el método propuesto puede determinar adecuadamente las demandas de deslizamiento y tensión en los conectores de corte.

El objetivo principal del estudio hecho por Muhaned A.Shallal [78] en 2018 fue determinar la carga máxima de las vigas de acero (tubulares cuadradas y circulares) rellenas con diferentes tipos de concreto bajo flexión en obras de construcción. Se realizó una prueba experimental sobre el comportamiento de flexión de tubos de acero rellenos de hormigón cuadrados y circulares (CFST) sometidos a flexión, donde las relaciones de profundidad a espesor (D/t) fueron 33.34 y 37.5. Se usó concreto de dos resistencias de

compresión diferentes para rellenar las secciones de acero (22.9 y 31.9 MPa). De los resultados de la investigación, se observó que la máxima fuerza de momento de la CFST es generalmente más alta que la de las vigas huecas correspondientes. Los incrementos en el primer grupo de vigas cuadradas (S1 a S3) son 47.15 a 87.07%. Los aumentos en el primer grupo de vigas circulares (C1 a C3) son de 63.94 a 104.96%. Los aumentos se produjeron debido al confinamiento de acero para el núcleo de concreto, lo que incrementó la ductilidad y la capacidad de momento de la viga compuesta.

Bibliografía

- [1] Furlong, «Web.northeastern,» 1967. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Furlong_1967. [Último acceso: 16 12 2018].
- [2] J. Gardner, «Web.northeastern,» 1967. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Gardner_and_Jacobson_1967. [Último acceso: 22 12 2018].
- [3] Furlong, «Web.northeastern,» 1968. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Furlong_1968. [Último acceso: 01 01 2019].
- [4] C. y. Chen, «Web.northeastern,» 1973. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Chen_and_Cheng_1973. [Último acceso: 15 12 2018].
- [5] E. G. Cederwall, «Web.northeastern,» 1990. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Cederwall,_Engstrom,_and_Grauers_1990. [Último acceso: 15 12 2018].
- [6] W. Puente, «Web.northeastern,» 1993. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Bridge_and_Webb_1993. [Último acceso: 14 12 2018].
- [7] Bergmann, «Web.northeastern,» 1994. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Bergmann_1994. [Último acceso: 15 12 2018].
- [8] L. Aho, «Web.northeastern,» 1997. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Aho_and_Leon_1997. [Último acceso: 16 12 2018].
- [9] L. M. J. H. W. KMA Hossain, «Comportamiento de vigas compuestas y columnas de pared delgada,» Singapur, 1998.
- [10] A. Hanaor, «Sciencedirect,» 2000. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143974X99000462?via%3Dihub>. [Último acceso: 22 12 2018].
- [11] Z. y. G. Elchalakani, «Web.northeastern,» 2001. [En línea]. Available:

https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Elchalakani,_Zhao,_and_Grzebieta_2001. [Último acceso: 12 12 2018].

- [12] Y. Han, «Web.northeastern,» 2001. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Han_and_Yan_2001. [Último acceso: 18 12 2018].
- [13] S.-I. Nakamura, «Scienccdirect,» 2002. [En línea]. Available: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-10844264536&origin=inward&txGid=4c2b8b8182dea9f2231224dff7ddd7f4>. [Último acceso: 1 12 2018].
- [14] L.-H. Han, G.-H. Yao y X.-L. Zhao, «Koreascience,» 2003. [En línea]. Available: <http://koreascience.or.kr/article/JAKO200421349902791.page>. [Último acceso: 12 12 2018].
- [15] C. C. Jianguo Nie, «ResearchGate,» 2003. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/239390931_Steel-Concrete_Composite_Beams_Considering_Shear_Slip_Effects. [Último acceso: 25 11 2018].
- [16] J. J. Xuebao, «Scopus,» Revista de estructuras de construcción, 04 2014. [En línea]. Available: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84899083909&origin=inward&txGid=ab7f595009c5d46d53cd7baaf3da21bd>. [Último acceso: 15 12 2018].
- [17] Z. G. Elchalakani, «Web.northeastern,» 2004. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Elchalakani,_Zhao,_and_Grzebieta_2004. [Último acceso: 1 12 2018].
- [18] J. H. Ghannam, «Web.northeastern,» 2004. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Ghannam,_Jawad,_and_Hunaiti_2004. [Último acceso: 12 12 2018].
- [19] L. Giakoumelis, «Web.northeastern,» 2004. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Giakoumelis_and_Lam_2004. [Último acceso: 21 11 2018].
- [20] Y. Han, «Web.northeastern,» 2005. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Han_and_Yang_2005. [Último acceso: 12 12 2018].
- [21] W. G. F. Augusto Cezar Gomes Braga, «SciELO,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.scielo.br/pdf/rem/v64n4/a04v64n4.pdf>. [Último acceso: 24 11 2018].

- [22] B. F. a. Cole, «Sciencedirect,» 2006. [En línea]. Available:
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-33745644494&origin=inward&txGid=683a1af942792d2540c62aeb0d72778b>. [Último acceso: 21 12 2018].
- [23] Y. L. Ellobody, «Web.northeastern,» 2006. [En línea]. Available:
https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Ellobody,_Young,_and_Lam_2006. [Último acceso: 21 11 2018].
- [24] R. Ahn, «scopus,» 2007. [En línea]. Available:
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-34748833120&origin=inward&txGid=563b5fa5c79c3ed880d038f39d498967>. [Último acceso: 08 12 2018].
- [25] J. F. C. C. Jianguo Nie, «Sciencedirect,» 2007. [En línea]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0141029607001010>. [Último acceso: 23 12 2018].
- [26] S. K. Gupta, «Web.northeastern,» 2007. [En línea]. Available:
https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Gupta,_Sarda,_and_Kumar_2007. [Último acceso: 19 12 2018].
- [27] Z. Elchalakani, «Web.northeastern,» 2008. [En línea]. Available:
https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Elchalakani_and_Zhao_2008. [Último acceso: 17 12 2018].
- [28] G. R. Z. V. Safat Al-deen, «Sciencedirect,» 2010. [En línea]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143974X1000252X>. [Último acceso: 2 11 2018].
- [29] L. Han, «Web.northeastern,» 2010. [En línea]. Available:
https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Han_and_Li_2010. [Último acceso: 15 12 2018].
- [30] S. R. L. J. D. B. R. R. V. M. d. O. Susel García, «ResearchGate,» 2010. [En línea]. Available:
https://www.researchgate.net/publication/329327862_Estudio_del_comportamiento_de_conectores_tipo_canal_en_estructuras_compuestas_de_hormigon_y_acero_mediante_modelacion_numerica. [Último acceso: 02 01 2018].
- [31] H.-J. H. C.-H. L. C.-H. P. C.-a. L. Hong-Gun Park, «Sciencedirect,» 2011. [En línea]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029611005165>. [Último acceso: 26 12 2018].

- [32] H. L. Han, «Web.northeastern,» 2011. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Han,_He_and_Liao_2011. [Último acceso: 24 12 2018].
- [33] L. L. Han, «Web.northeastern,» 2011. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Han,_Li_and_Liao_2011. [Último acceso: 19 12 2018].
- [34] N. J. L. Y.H.Ng, «Sciencedirect,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0143974X12000703>. [Último acceso: 12 12 2018].
- [35] J. D. B. R. G. R. P. Hildemar Hernández, «ResearchGate,» 2013. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/263203481_Estudio_del_comportamiento_de_vigas_compuestas_de_hormigon_y_acero_mediante_simulacion_numerica. [Último acceso: 12 11 2018].
- [36] T. O. Yunita Idris, «Sciencedirect,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0263823114001049#f0005>. [Último acceso: 28 11 2018].
- [37] S. P. W. P. Y. M. Cheng-Tzu Thomas Hsu, «Sciencedirect,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029614002247>. [Último acceso: 11 11 2018].
- [38] H. Z. R. Han, «Web.northeastern,» 2014. [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/Han,_Hou,_Zhao,_and_Rasmussen_2014. [Último acceso: 18 12 2018].
- [39] X. E. F. Sanchez, «Escuela Politecnica Nacional,» 2014. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8854>. [Último acceso: 10 10 2018].
- [40] X. H. W. H. B. W. Yuchen Jiang, «Sciencedirect,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0143974X15301218#f0005>. [Último acceso: 30 11 2018].
- [41] M. A. B. B. U. X. L. Huiyong Ban, «Sciencedirect,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0143974X15301462>. [Último acceso: 03 1 2018].
- [42] E. E. Daniel Carapaz, «Escuela Politécnica Nacional,» 2015. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10370>. [Último acceso: 11 10 2018].

- [43] J. D. R. S. Juan Pablo Ceballos Mora, «Repository Javeriana,» 2016. [En línea]. Available: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21409/CeballosMoraJuanPablo2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 28 11 2018].
- [44] S. M. B. Cosmin G. Chiorean, «Sciencedirect,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0141029616315723#f0010>. [Último acceso: 12 28 2018].
- [45] G. T. L. Z. Shenhao Wang, «Sciencedirect,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0143974X16307271>. [Último acceso: 20 12 2018].
- [46] L. S. A. S. Samuel C. Auclair, «Sciencedirect,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S002074031630131X#f0015>. [Último acceso: 18 12 2018].
- [47] M. K. y. J. H. Marcin Kozłowski, «Sciencedirect,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.google.com/search?q=traductor&oq=tra&aqs=chrome.0.0j69i60j69i61j69i65j69i60j69i57.1194j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>. [Último acceso: 2 12 2018].
- [48] Q. H. J. X. Q. G. Y. W. Vinh Xing, «Sciencedirect,» 2017. [En línea]. [Último acceso: 02 1 2019].
- [49] C. Z. ,. L. Y. B. K. Liang Huang, «ScienceDirect,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0263822317320986>. [Último acceso: 02 12 2018].
- [50] S.-t. L. H.-y. Z. X.-f. W. Li-hua Chen, «Sciencedirect,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0143974X16305041#bb0030>. [Último acceso: 05 12 2018].
- [51] A. D. y. P. K. Piotr Lacki, «Sciencedirect,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0263822317331951>. [Último acceso: 24 12 2018].
- [52] G.-a. Y. L.-z. J. Y. B. Fa-xing Ding, «Sciencedirect,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0263823117306833#f0015>. [Último acceso: 15 12 2018].
- [53] Y. Y. J. L. X. Z. Jingchen Liu, «Sciencedirect,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0141029616305114#f0005>. [Último acceso: 06 12 2018].
- [54] A. M. Z. A. S. Samer Ahmad, «Sciencedirect,» 2017. [En línea]. Available:

<https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S111001681730128X#f0015>. [Último acceso: 28 12 2018].

- [55] M. N. V.KR Kodur, «Sciencedirect,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0143974X17309203>. [Último acceso: 15 12 2018].
- [56] X. D. D. L. Therese Sheehan, «Sciencedirect,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0143974X17307575#f0010>. [Último acceso: 26 11 2018].
- [57] B. K. N. Antara Bhattacharjee, «ResearchGate,» 2017. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/324437806_Study_of_damping_in_composite_beams. [Último acceso: 12 12 2018].
- [58] J. W. L. K. A. T. Emil Manoach, «Sciencedirect,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0263822316329543>. [Último acceso: 26 11 2018].
- [59] L. B. L. H. L. Y. Z. y. Zhang Yanling, «Sciencedirect,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S1877705817338833>. [Último acceso: 13 12 2018].
- [60] J. S. Y. Muhammad NS Hadi, «Sciencedirect,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0950061817306165>. [Último acceso: 21 12 2018].
- [61] J. A. L.-G. E. M. A. D. X. J. T. Ricard Caus, «Sciencedirect,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0439568917300712>. [Último acceso: 24 11 2018].
- [62] Y. L. B. Q. Lanhui Guo, «Sciencedirect,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0141029618313725>. [Último acceso: 12 12 2018].
- [63] H. R. MarkLawson, «Sciencedirect,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0143974X18306783>. [Último acceso: 15 12 2018].
- [64] Y. Y. X. Z. Ruyue Liu, «Sciencedirect,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com.bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0950061818320506#f0015>. [Último acceso: 1 12 2018].

- [65] Y. Y. Jiepeng Liu, «Sciencedirect,» 2018. [En línea]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0141029618315621>. [Último acceso: 20 12 2018].
- [66] J. Z. Q. W. J. F. Xuan Zheng, «Sciencedirect,» 2018. [En línea]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S095006181832470X#f0010>. [Último acceso: 12 12 2018].
- [67] M. A. J. y. J. J. M. c. Zena R. Aljazaeri, «Sciencedirect,» 2018. [En línea]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0263822318334172#f0020>. [Último acceso: 10 12 2018].
- [68] M.-X. T. M. Z. X. N. Jia-Ji Wang, «Sciencedirect,» 2018. [En línea]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0141029617326056#f0010>. [Último acceso: 11 12 2018].
- [69] H. C. S. H. V. J. G. Jianjun Yang, «Sciencedirect,» 2018. [En línea]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S014102961733208X>. [Último acceso: 20 12 2018].
- [70] S. C. G.-W. J. Y. Y. K. e. Dongil Shin, «Sciencedirect,» 2018. [En línea]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0263822318305312#f0005>. [Último acceso: 24 11 2018].
- [71] Y. A. Zaher, «Sciencedirect,» 2018. [En línea]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S2090447918300510#f0025>. [Último acceso: 25 11 2018].
- [72] C. L. S. A.-D. Y. Z. Mohammad M. Rana, «Sciencedirect,» 2018. [En línea]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0143974X17312725#f0025>. [Último acceso: 21 12 2018].
- [73] Z. T. M. K. H. Utsab Katwal, «Sciencedirect,» 2018. [En línea]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0143974X17308490#f0005>. [Último acceso: 11 11 2018].
- [74] B. V. I. B. V. W. S. V. G. Alves Ana Rita, «Sciencedirect,» 2018. [En línea]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0143974X17312932>. [Último acceso: 21 11 2018].
- [75] K. C. R. Shamass, «Sciencedirect,» 2018. [En línea]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/bdatos.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0143974X1>

7312701. [Último acceso: 20 12 2018].

- [76] W. C. B. J. D. B. R. O. R. C. Luciano Mendes Bezerra, «ResearchGate,» 2018. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/323539999_Truss-type_shear_connector_for_composite_steel-concrete_beams. [Último acceso: 11 12 2018].
- [77] M. S. M. S. T. Amir Reza Ghiami Azad, «ResearchGate,» 2018. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/329591644_A_Novel_Method_for_Linear_Analyses_of_Partially-Composite_Beams. [Último acceso: 12 12 2018].
- [78] M. A. Shallal, «IEEEExplore,» 2018. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8370974>. [Último acceso: 21 12 2018].
- [79] ITEA, «Contrucción Mixta,» [En línea]. Available: https://www.webaero.net/ingenieria/estructuras/metallica/bibliografia_documentacion/itea/TOMO12.pdf. [Último acceso: 14 12 2018].
- [80] M. Schwarz, «Blog,» [En línea]. Available: <http://max-schwarz.blogspot.com/2014/03/bases-de-datos-cientificas-para.html>. [Último acceso: 10 11 2018].
- [81] Composite systems wiki, «web.northeastern.edu,» [En línea]. Available: https://web.northeastern.edu/compositesystems/wiki/CFT_Member_Studies. [Último acceso: 12 12 2018].