



Received: 19-02-2017
Accepted: 03-03-2017

Pórticos prefabricados: uniones de elementos que mejoran su reacción frente a cargas. Precast frame constructions: connections that improve reaction through loads.

Andrés Salgado Durán

Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (andres.salgado.duran@alumnos.upm.es)

Resumen— El éxito del rendimiento de las estructuras prefabricadas se basa en la forma en que estos elementos aislados configuran un edificio entero mediante sus conexiones. En la superposición de dos piezas, a veces es difícil hacer que aparezcan fallas comunes denominadas separación y extracción. Con el fin de mejorar la eficiencia de las articulaciones, esta investigación muestra nuevas formas de construir uniones mejores y más desarrolladas, listas para sostener no sólo cargas normales sino también externas como fuerzas sísmicas.

Palabras clave— Estructuras pre-fabricadas, uniones, carga, resistencia.

Abstract- The success of performance of prefabricate structures is based on the way these isolated elements configure an entire building by its connections. Overlap two pieces sometimes is difficult making common failures appear called splitting and pullout. In order to improve a better efficiency of joints, this investigation shows new ways to build better and more developed unions, ready to hold not only normal charges but also external as seismic forces.

Index Terms— Prefabricated structures, joints, load, resistance.

I. INTRODUCCIÓN

Las estructuras prefabricadas actualmente aportan de forma útil, limpia y de mejor calidad la ejecución de obras de construcción. Estas van en función del ahorro y optimización de recursos, el aprovechamiento óptimo de materiales, dinero, energía, mejora en los tiempos de ejecución y plazos de entrega.

En lo ambiental, ayudan a reducir el impacto de la obra al

no existir las ejecuciones en el terreno, lo que ayuda a eliminar considerablemente los residuos de demolición y construcción, disminuye el impacto acústico y visual a los que comúnmente se ven expuestas las edificaciones cercanas y las personas que habitan en ellas. Cuanta mayor cantidad de escombros y suciedad, menos índice de prefabricación presentaría una obra.

Algunos de los criterios principales de los prefabricados es que tratan de ser más flexibles, ligeros, adaptables, modulables, expandibles, integrales, siempre buscando la calidad debido a su proceso industrial.

Los principales materiales de construcción que se relacionan a estos sistemas son el Hormigón, el cual no solo es

A. Salgado es graduado por la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

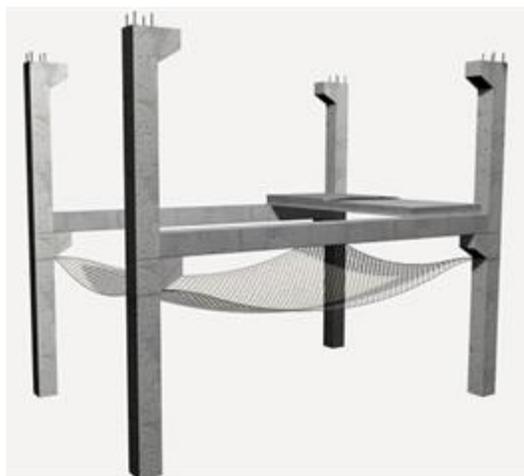


Fig. 1. Estructuras Prefabricadas. Fuente Tecnyconta®.

materia prima para la elaboración de los mismos sino que también sirve de elemento adherente en las estructuras. Otros utilizan el metal, debido a su fácil manejo y maleabilidad. Finalmente existen los hechos de yeso, escayola, paneles de cartón yeso y piedras artificiales.

Se realizan prefabricados desde los más ligeros como paneles, bloques o elementos lineales, que son de fácil transporte. También los hay pesados que sirven en su gran mayoría para obras de tipo civil como puentes o canales, pero que conllevan a un transporte más complejo y el uso de maquinaria pesada para su montaje, todos ellos, bajo una producción en serie en fábrica (figura 1).

Al ser elementos que se llevan desde un local industrial a su destino en la construcción, se debe tener especial consideración en el tipo de unión que vincula los diferentes elementos en la configuración y armado de la estructura en su totalidad, buscando entonces evitar que estos no colapsen y puedan resistir, aparte de los esfuerzos normales que se presentan en una estructura, también los de tipo externo como son los sismos. Son entonces los nudos (Burton, 2003) o uniones, los principales actores en el éxito de este tipo de construcciones.

En uniones de prefabricados, lo que se hace es crear un solape de sus armaduras y pese a que su armado es bastante sencillo, existen sin embargo problemas para llegar a los solapes requeridos. Esto deriva a dos fallos que se presentan comúnmente, uno es por arrancamiento (pullout) y el otro por propagación de fisuras longitudinales o desgarramiento (splitting). Esto traducido a estructuras convencionales, en el caso del pullout, a fallo por colapso de la interface, donde se produce un área de corte en el hormigón. En el caso del splitting, a fallo por colapso estructural debido a la fisuración longitudinal del hormigón que rodea el refuerzo y la pérdida

de la adherencia una vez que las fisuras alcanzan la superficie del elemento.

Para evitar estos problemas, lo que se hace normalmente es incorporar un refuerzo transversal o también llamado confinamiento, pero esto muestra una gran dificultad en su colocación debido al gran congestionamiento de las barras de acero, lo que dificulta el hormigonado. La implementación del hormigón reforzado con fibras sustituye el uso de este refuerzo, facilitando la construcción.

Es por ello, que en la actualidad se buscan métodos que ayuden a que los nudos que acoplan partes prefabricadas actúen de mejor manera. Una de ellas es la que consiste en una conexión para pórticos con el uso de hormigones de altas especificaciones reforzados con fibras (Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete-[UHPFRC]) (Maya, 2010), donde se busca dar un mejor comportamiento de las uniones frente a los esfuerzos a los que las estructuras con nudos comunes están normalmente sometidas.

Existe una gran variedad de fibras que presentan diferentes propiedades físicas y mecánicas de materiales que van desde acero, vidrio, carbono, polipropileno y hasta sintéticas. A su vez, también con formas y geometrías distintas como lisas, corrugadas, rectas, deformadas, planas, abultadas, entre otras muchas. Por otro lado, hace ya más de 30 años, se pensó en otra solución que podría también mejorar el comportamiento de estas conexiones. Este consiste en el uso de tendones post tensados que no tienen adherencia y barras longitudinales de acero dúctil no pretensadas que ayudan a disipar la energía de esfuerzos (Álvarez, 1981).

Este método de mejora se fue perfeccionando con el tiempo, llegando a crear uniones llamadas híbridas. Estas consisten en un mecanismo de balanceo controlado donde los tendones proporcionan acciones restituidas a los esfuerzos y las barras

TABLA I
TIPOS DE VIGA A ENSAYAR EN UNIONES CON UHPFRC

TIPOS DE ESTRUCTURAS PRE FABRICADAS A ENSAYAR				
Uniones UHPFRC				
Tipo	Configuracion	Solape	Medidas (a,h,l)	Material
Viga tipo 1 (VT1A)	2 ϕ 20mm + E 8mmc/10mm	20mm	0.13m x 0,30m x 1.50m	Hormigón autocompactable 40MPa
Viga tipo 1 (VT1B)		30mm	0.13m x 0,30m x 1.50m	
Viga tipo 1 (VT1C)		40mm	0.13m x 0,30m x 1.50m	
Viga tipo 2 (VT2)	3 ϕ 20mm + E 8mmc/10mm	28mm	0,28m x 0,40m x 2,00m	

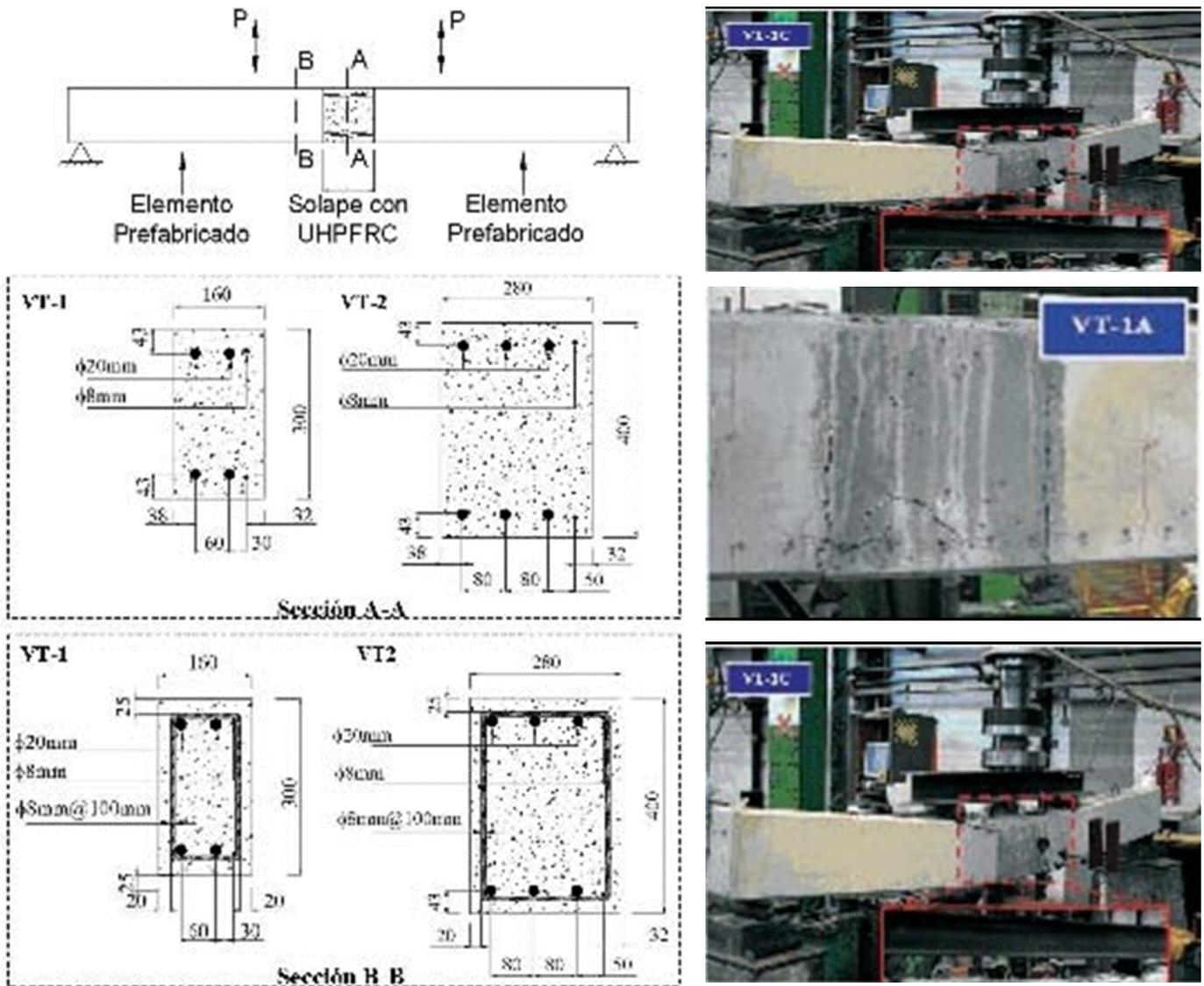


Fig. 2. Tipos de viga a ensayar en uniones con UHPFRC.

actúan como disipadores de energía (Marcus, 2015). Este sistema ha sido implementado para proporcionar un mejor comportamiento de las estructuras frente a movimientos

telúricos, ya que ambas incorporaciones hacen que la estructura interactúe con los esfuerzos superficiales y no los absorba como en otras construcciones más comunes.

TABLA II
TIPOS DE VIGA A ENSAYAR EN UNIONES HÍBRIDAS

TIPOS DE ESTRUCTURAS PRE FABRICADAS A ENSAYAR		
Uniones híbridas	Medidas	Material
Viga inercia constante	0,40m x 1,40m	Hormigón postesado
Viga inercia constante	0,50m x 1.45m	

II. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Para el primer sistema de uniones (hormigón reforzado con incorporación de fibras) se realizan ensayos en dos tipos de vigas, en este caso llamadas V1 y V2. Estas vigas se unen unas a otras por medio de refuerzos longitudinales en un lado y en el otro el refuerzo saliente, ambos solapados entre si y para luego ser hormigonados con el UHPFRC (Tabla 1).

Para la viga V1 se ensaya la misma configuración de viga, pero se varía el solape de las mismas, con tres tipos que son: 20,30 y 40mm. Para la viga tipo V2 con un único tipo de solape de 28mm. Ambas tipos de viga fueron elaboradas con hormigón auto compactable de 40 MPa.

Las fibras utilizadas para este hormigón fueron de acero de 12mm de longitud y 4mm de diámetro en un 6% en volumen, y adicionando también polvos reactivos presentes en el tipo de hormigón CRC (compact reinforced concrete).

Se elaboró hormigón, de forma convencional, utilizando una hormigonera, sin embargo, no se utilizó ni vibradores, ni compactadores u otros equipos. Para los ensayos de compresión, se hicieron probetas de hormigón, en el caso de la fabricación común fueron de Ø150mm y para los que tenían las fibras se hicieron probetas cubicas de 100mm de lado. Para los ensayos de flexión se hicieron en ambos casos probetas de 40 x 40 x 16mm.

La carga se aplicó por medio de un gato hidráulico de 160kN para las vigas de tipo V1 y 600kN para la viga de tipo V2. Estas fueron aplicadas en dos puntos de los tercios, tanto en el centro como en el solape, de tal forma que el momento en ellos fuese constante, se emplea el ensayo con variación de carga escalonada en sección bajo carril realizado para traviesas de hormigón y recogido en la norma UNE 13230:2003 (AENOR, 2003), donde se aplica inicialmente una rampa ascendente de carga hasta alcanzar el nivel de carga deseado, manteniéndola por un máximo de 5 minutos para realizar lecturas en la instrumentación dispuesta y se procede a la descarga, donde se realiza una nueva toma de lecturas (figura 2).

Por su parte, para el sistema con uniones híbridas, se realiza un ensayo comparativo de la reacción que tienen estos sistemas contra las uniones comunes. Se hace una simulación numérica utilizando un programa digital llamado Ruaumoko 2D (Carr, 2004). Se incluyen los elementos disipadores en el

análisis con resortes rotacionales en paralelo, aplicando una ley bilineal inelástica para el acero dúctil y una ley bilineal elástica para los cables postesados. En el caso de las uniones no híbridas se aplica un análisis dinámico no lineal. Como estrategia de modelación, se realizó unos análisis incrementales en dos sentidos, aplicando una historia de desplazamientos (Tabla 2).

En el caso de uniones híbridas, este modelo es capaz de representar la respuesta de tipo bandera, que caracteriza a estas uniones. De esta forma, es posible realizar análisis tiempo-historia más detallados, utilizando acelerogramas que se consideran representativos de las condiciones locales sísmicas. En el otro caso, se asume que las secciones críticas están en los extremos de los elementos y que el nudo tiene la resistencia suficiente para permitir que las secciones críticas fluyan antes de que el nudo falle.

III. RESULTADOS Y DISCURSIÓN

Para las uniones con fibras, se puede decir que todos los elementos se comportaron de forma similar previa a la rotura y en ellos se presentaron fisuras en todos los casos en cargas a flexión en todas las vigas hechas con hormigón convencional y fisuras localizadas en la sección correspondiente a la interface entre el hormigón convencional y el UHPFRC, principalmente se observaron algunas de ellas para niveles medios de carga con valores de 80kN en la viga VT1 y 135kN en la viga VT2.llegando a cerca de la mitad de lo esperado.

Respecto a todas las vigas de tipo VT1, los resultados fueron muy similares, la viga VT1A presentó fallos por desgarramiento del hormigón en su cara lateral, el elemento VT1B fallos combinados a desgarramiento y flexión igualmente en su cara lateral por la plastificación del acero, para la VT1C se observó con anterioridad que el acero cedió al agotamiento por compresión de la parte superior y una flecha elevada.

Por su parte, la viga VT2 presento agotamiento a compresión en el hormigón convencional próximo a la interface, cedencia de acero y gran deflexión previo a la rotura. En la zona de unión con el UHPFRC sólo se encontraron pequeñas fisuras poco visibles y profundas, dando como resultado un mejor comportamiento a diferencia de las VT1. La capacidad de adherencia y resistencia al desgarramiento del hormigón con fibras no condiciona que en las vigas se hayan presentado fisuras longitudinales en las

caras laterales de los elementos y tiene relación con su curvatura observada en los mismos. En la zona más vulnerable con gran deformación, el empuje vertical en los extremos de los elementos tendió a desprender la parte inferior causando un efecto de tipo palanca en un área de fallo a la altura del refuerzo longitudinal donde en su gran parte los esfuerzos son mayormente resistidos por el hormigón con fibras.

Para las cargas de tipo curva carga-flecha, se realizaron ensayos bajo control de carga para poder mantener el nivel de sollicitación y por ende tomar los registros necesarios, se observa en general para todos los elementos el aumento de la flecha remanente a medida que trascurren los ciclos de carga y se produce la degradación de las propiedades de los materiales y los mecanismos de transferencias de carga, se originan deslizamientos relativos entre el hormigón y las barras de acero de refuerzo y la fisuración se extiende en el hormigón convencional.

Para las cargas de deformación, se tomaron solo datos en las vigas VT1B, VT1C y VT2 mostrando valores superiores de deformación al límite elástico del acero, tanto en el hormigón convencional como el con adherencia de fibras, pero alcanzando una mejor resistencia en la capacidad de las barras solapadas en función de la definición de longitud de desarrollo.

Pese a las cortas longitudes de solape, tanto la capacidad y ductilidad en los mecanismos de transferencia de tensiones, la influencia del comportamiento a tracción del material, el efecto rigidizador del UHPFRC en el tirante con un estudio más detallado y preciso, permitiría determinar la magnitud de estos efectos.

Tanto la posición del UHPFRC y las deformaciones en la zona de solape se corresponden en deformaciones sometidas a

tracción, a su mayor rigidez y ductilidad, teniendo más uniformidad y menos magnitud de deformaciones. Si se compara, en cambio, con el comportamiento del hormigón convencional donde por fuerzas a flexión registro picos con espaciamientos que provocaron fisuras menos visibles con espacios de aproximadamente 100mm.

Cerca de la interface de ambos materiales o en la formación y crecimiento de las fisuras donde se produce más registro es en los perfiles de deformación. A partir de estas interfaces se producen la mayor cantidad de daños de deformaciones por desgarramiento en las caras laterales e interior de los elementos VT1A y VT1B.

El anclaje de la longitud de barra embebida en la región del hormigón con fibra donde se produce el solape determina el comportamiento del tirante a tracción, bajo un proceso de carga repetida. Con el aumento de esta, crece la pérdida de adherencia en el elemento de hormigón convencional, lo que produce una deformación en el tirante anclado al UHPFRC (figura 3).

En cambio, para las uniones híbridas, los resultados van en función de ensayos comparativas entre estas y las uniones que no tienen cables post tensados y barras de acero dúctil. Las condiciones exteriores son las mismas para ambos casos, donde se aplica un análisis no lineal. Este estudio hecho en un programa en computadora va en función de la cantidad de cm que se desplaza la estructura en función del tiempo, tomando como referencia el registro del sismo de Concepción, Chile del año 2010.

Para el modelo sin uniones híbridas, las cargas aplicadas muestran un desplazamiento de la cubierta de 37cm, lo que se traduce como un daño grave en las uniones y posibles fallas frágiles no localizadas. En la estructura se presentan

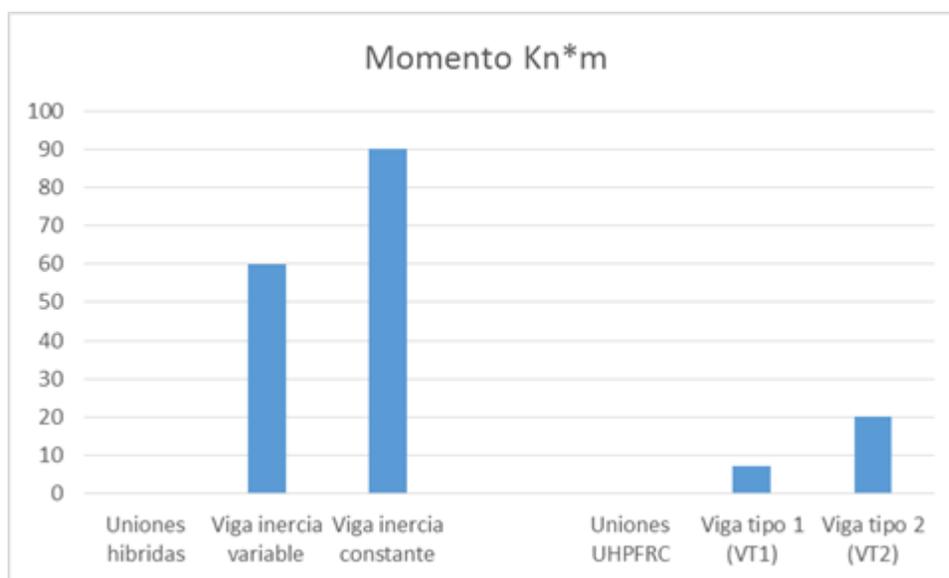


Fig. 3. Diferencia de momentos entre los dos ensayos.

TABLA III
DIFERENCIA DE MOMENTOS ENTRE LOS DOS ENSAYOS

	Momento Kn*m	Carga maxima P(kN)
Uniones híbridas		
Viga inercia variable	60	*****
Viga inercia constante	90	*****
Uniones UHPFRC		
Viga tipo 1 (VT1)	7,2	133
Viga tipo 2 (VT2)	20	286,7
***** Fuerza aplicada en simulación al terremoto de 2010 en viña del mar, Chile		

desplazamientos remanentes de 3cm, daños graves en la estructura principalmente en las uniones de los pilares prefabricados, lo que lleva a un posible colapso de ella, llegando inclusive a alargamientos unitarios del acero en un rango del 4%.

A diferencia, el otro modelo, busca minimizar todos estos daños presentados, buscando una estrategia que permita soportar este tipo de desplazamientos y concentrarlos en las aberturas y disipar la energía con las barras que no se encuentran adheridas al hormigón, lo que se puede comprender como evitar concentraciones y alargamientos unitarios del acero.

Como resultados, los desplazamientos de cubierta están sobre los 40cm, un poco mayor que el método tradicional, lo que se entiende como una elasticidad similar a la otra, pero en esta no se producen daños permanentes en la estructura ya que esta, luego del esfuerzo, regresa a su posición original. También, las vigas prefabricadas no sufren daños, ya que se desplazan con el movimiento pero deben tener una resistencia adecuada para que no desplacen los esfuerzos en las uniones con las columnas.

Se hace el mismo ensayo pero cambiando las condiciones exteriores para ver su comportamiento frente a un suelo de tipo rocoso. En este caso, se consiguen las resistencias necesarias lo que se entiende que el problema al que se encuentran las estructuras es mas de tipo desplazamientos y no de resistencias (figura 3).

Analizando los resultados obtenidos podemos deducir que el hormigón con fibras, si bien es cierto, es un método que ayuda a que el hormigón llegue de mejor manera a ocupar todo el volumen de las uniones quitando refuerzos adicionales y envolviendo todas las armaduras, ayuda también a reducir la longitud de solapes entre los prefabricados, sin que la capacidad de los elementos estructurales se vean afectados. Para hormigones convencionales se presentan fallas ya con solapes de 30cm, sin embargo, con la utilización de

hormigones con fibras, en el mismo solape no se presentan fallas, lo que se entiende como mejor respuesta a esfuerzos de flexión e inclusive a reducir recubrimientos.

Sin embargo, es aún un método que es rígido. Ayuda a un ahorro en materiales, en ejecución y respuesta a esfuerzos de carga a los que las obras de construcción están comúnmente sometidas. Para esfuerzos de tipo superficial como serian lo sismos, no se tiene un registro o que reaccionen de forma efectiva a ellos.

En cambio, las uniones de tipo híbrido, aparte de ser autosuficientes frente a esfuerzos normales, interactúan con cargas adicionales como las de un sismo. No se tiene un registro de si este tipo de uniones es de fácil ejecución o montaje, pero el simple hecho de que eviten el colapso total de la estructura, pone en gran ventaja a este tipo de sistemas. Durante los sismos se producen esfuerzos fuertes con momentos de carga que hacen que las estructuras colapsen, con el sistema híbrido se triplica la resistencia frente a estos momentos (Tabla 3).

IV. CONCLUSIONES

La respuesta de las estructuras con uniones adicionales con fibras hace que estas respondan a las deformaciones de forma uniforme frente a las convencionales donde estas son más puntuales o localizadas. Esto se traduce a un mejor comportamiento y a reducción de problemas de fisuras de mayor sección, lo que puede contribuir a mejorar la durabilidad de las estructuras ya que al producirse menos fisuras hay menor posibilidad de que agentes externos agresivos las deterioren.

La capacidad de estas uniones al reducir longitudes de solape amplía la utilización de prefabricados cuando en ellos, la longitud de solape es reducida por el tipo de diseño o construcción, lo que podría beneficiar al uso de este tipo de elementos constructivos. También, el hecho de que tengan mejor comportamiento frente a cargas de flexión hace de este

tipo de uniones una forma de construcción más segura a la convencional.

Pese a que se consiguen mejoras en muchos aspectos, todavía este estudio no muestra la reacción posible de este tipo de uniones frente a sismos, lo que plantea una futura investigación sobre este tema.

Por otro lado, las uniones híbridas podrían ser una solución viable y segura en la ejecución de estructuras prefabricadas con uniones preparadas para poder soportar estos esfuerzos. Pese a que en la actualidad se busca ejecutar proyectos que sean económicamente más viables y que su ejecución sea menos compleja, no se debe dejar a un lado el que una estructura pueda estar preparada para soportar este tipo de fenómenos.

También, se plantea como una solución más eficaz cuando los sitios de emplazamientos presentan mayor riesgo a fallos y no otorgan las seguridades necesarias para la construcción de edificaciones.

En la actualidad, la problemática sísmica cada vez es más latente, inclusive en países donde anteriormente estos ocurrían con menor frecuencia, lo que da como conclusión que se debería tomar esto como una manera más usual de hacer construcciones prefabricadas para garantizar la seguridad de las personas que se encuentran en ellas y resguardar las inversiones económicas que conlleva la construcción de obras, sobre todo, las de mayor envergadura como son puentes, edificaciones el altura y espacios de gran afluencia donde son mayormente aplicados estos sistemas constructivos.

REFERENCIAS

- AENOR (2003). UNE 13230. “Aplicaciones ferroviarias. Vía. Traviesas de hormigón para plena vía y aparatos”.
- Álvarez. J.L. (1981). Consejo superior de investigaciones científicas, Informes de la construcción, “Estudio del comportamiento sísmico de estructuras porticadas de hormigón compuestas por piezas prefabricadas unidas por medio de armaduras postesas” #337. Pag.0-2. España.
- Buron, J.M. (2003). Informes de la construcción, “Estructuras prefabricadas en zonas sísmicas” Vol.54. #484 Pag.27-33. España.
- Marcus, J. (2015). Revista de ingeniería civil obras y proyectos “Control del daño sísmico estructural en pórticos prefabricados de hormigón armado a través de uniones híbridas autocentrantes” #18 Pag 46-55, Chile.
- Maya. L.F. (2010). Informes de la construcción, “Uso de hormigones con fibras de ultra-alta resistencia para el desarrollo de conexiones entre elementos prefabricados” Vol.62. #520. Pag.27-41, Octubre-Diciembre 2010. España.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.