

CONEXIONES EN ESTRUCTURAS PREFABRICADAS DE CONCRETO

M.I. Daniel Manzanares¹

1. Introducción

La industrialización de la construcción se refiere en términos generales a la implantación de estándares de mejora relacionados con los procesos de planificación, diseño, fabricación y ejecución de determinada obra o proyecto, con las respectivas especificaciones de calidad y control de tiempos en cada fase, que derivan inevitablemente en la optimización de recursos económicos, ambientales y de tiempo.

Es importante señalar, que lo mencionado en el párrafo anterior se puede aplicar a cualquier tipo de proyecto de construcción. Sin embargo, es en las fases de planificación y diseño donde se gestan gran parte de las decisiones de carácter técnico que afectaran positiva o negativamente el proyecto. Es por ello la importancia de conocer a cabalidad las ventajas y desventajas que puede poseer cierto producto o sistema constructivo que se desea utilizar durante la construcción.

En las últimas dos décadas en países con construcción industrializada como son Estados Unidos, Japón, Australia, Nueva Zelanda y Europa occidental, los sistemas prefabricados de concreto (presforzado y no presforzados) han ganado un gran terreno principalmente debido a su alta calidad, dado que generalmente son fabricados en ambientes controlados e industrializados, su eficiencia estructural y las grandes ventajas que presentan en rapidez, facilidad de construcción y uso reducido de mano de obra, minimizando por consiguiente los costos de construcción. La *figura 1* muestra una obra de marcos prefabricados en plena construcción.

Aunque de forma lenta, la misma tendencia se está observando en algunos países latinoamericanos como México y Colombia. Dadas las grandes

ventajas que ofrecen los sistemas prefabricados de concreto resulta curioso el hecho de que los edificios totalmente prefabricados de concreto son relativamente poco utilizados, observándose en algunos sectores del mercado de la construcción cierta renuencia a su aplicación.

La situación cambia drásticamente en el sector de infraestructura. Por ejemplo, en la construcción de puentes, en donde no nos podemos imaginar que en estos días que se construyan estas estructuras por métodos tradicionales (colados en sitio), excepto la cimentación, prácticamente el resto de la estructura es prefabricada.



Figura 1 Estructura prefabricada en construcción [1]

En países como México, el uso de prefabricados de concreto en la edificación con funciones estructurales se ha limitado a los sistemas de losas y techos, utilizando elementos como viguetas pretensadas, placas alveolares y prelosas, por mencionar algunos. En un porcentaje bastante menor, se utilizan estos prefabricados en elementos principales como trabes, columnas, cimentaciones y muros de contención.

No es difícil inferir la razón o razones por las cuales los sistemas prefabricados de concreto para uso estructural no se hayan tan bien posicionados como se supondría deberían estar dadas sus grandes ventajas, a continuación menciono algunas:

¹ Gerente Técnico. Asociación Nacional de Industriales de Vigueta Pretensada A.C., ANIVIP [2016].

- Resistencia al cambio e innovación de algunos sectores de la construcción
- Escasez de empresas con tecnología, instalaciones y logística para su fabricación
- Es necesario tener procesos constructivos industrializados y estandarizados
- Desconocimiento generalizado de los métodos de diseño y construcción

No obstante, en países con alta actividad sísmica como Colombia, Chile, Perú y México uno de argumentos principales para no utilizar sistemas prefabricados de concreto es que se dice que su comportamiento ante los efectos sísmicos no es satisfactorio. Por supuesto, esta última aseveración está muy lejos de ser cierta.

2. Tipología de las conexiones en estructuras con marcos prefabricados de concreto

En términos generales podemos mencionar que existen diversas formas de clasificar las conexiones viga – columna en una estructura de marcos prefabricados de concreto. Una de las más aceptadas es clasificar las conexiones desde un enfoque de diseño como [2]:

- Conexiones emulativas
- Conexiones no emulativas

Al mismo tiempo cada una de ellas, desde el punto de vista de filosofía de diseño pueden ser conexiones:

- Fuertes
- Dúctiles

A su vez las conexiones Fuertes o dúctiles se pueden subdividir de acuerdo a la forma en que se construyen en:

- Conexiones húmedas (“wet connections”)
- Conexiones secas (“dry connections”)

Una conexión emulativas es aquella que presenta un desempeño equivalente a aquellas que son monolíticamente coladas in situ en términos de resistencia y comportamiento. Las conexiones no emulativas utilizan propiedades únicas de la tecnología del concreto prefabricado para asegurar un comportamiento dúctil adecuado para los

marcos de concreto [2]. Por otra parte, la clasificación de fuertes o dúctiles depende de la ubicación en donde la deformación inelástica se pretende que ocurra. Si dicha deformación o comportamiento inelástico ocurre justamente en la conexión se conoce como dúctil y si ocurre en el elemento prefabricado es fuerte.

Entonces, en conexiones fuertes, la conexión resulta ser más resistente que el elemento prefabricado induciéndose de esta manera las deformaciones inelásticas en este. Asimismo, se conoce como una conexión húmeda, aquella en la cual se utilizan concreto colado en obra o mortero para rellenar los espacios entre el acero de refuerzo presente en la conexión. Las conexiones secas son aquellas que no cumplen con los requisitos de las conexiones húmedas [3].

Aunque la clasificación de las conexiones que se han mencionado hasta aquí es una de las que más se utiliza a nivel literario, lo cierto es que existen una cantidad de conexiones que se usan en la práctica que son difíciles de encajar en alguna de las categorías mencionadas. La *figura 2* muestra un tipo de conexión húmeda emulativa.



Figura 2 Ejemplo de Conexión emulativa [4]

3. Consideraciones de diseño

Está claro que la naturaleza de las conexiones en una estructura de marcos con elementos prefabricados (vigas y columnas) influye en forma directa en el comportamiento estático y dinámico que puede presentar un edificio. Entonces, desde ese punto de vista debe estar claro durante el

proceso de diseño, la implicación de decidirse por uno u otra tipología de conexión y por consiguiente, muy claras deben estar los conceptos y procedimientos de diseño en cada caso. Por ejemplo, el análisis a nivel macro de un sistema prefabricado que utiliza conexiones emulativas, sigue los mismos procedimientos y consideraciones que aquel sistema que consiste en marcos de concreto reforzado colado en sitio.

Con base a la situación del proyecto (ubicación geográfica, condición sísmica, uso de destino, normatividad por mencionar algunos) una de la preguntas que se deben plantear es, ¿Cómo queremos que se comporte nuestra estructura? o ¿Cómo se debe comportar nuestra estructura?. Una vez que eso está claro, no resulta difícil elegir que solución en términos de conexiones queremos aplicar. Sin embargo, se debe tomar en cuenta otros aspectos, que hasta el momento no hemos mencionado: el factor económico, rapidez en obra y que el procedimiento de construcción sea viable.

Dentro del diseño los nodos deberán satisfacer los criterios sísmicos, de rigidez, resistencia y ductilidad. Esta última es uno de los aspectos más difíciles de lograr en vista de que depende en gran medida del tipo de conexión y las especificaciones de continuidad en el nodo.

Las diversas cargas que tiene lugar en la conexión pueden ser resistidas por conectores mecánicos, llaves de corte, nodos colados en sitio, acero de refuerzo, piezas metálicas especializadas o la combinación de cualquiera de estas.

Se debe tomar en cuenta la regulación local, debido a que estas generalmente castigan la resistencia y a la capacidad de conexiones con factores de seguridad mayores y exigencias adicionales. Por ejemplo, las Normas Técnicas del Distrito Federal en México establecen que la conexión deberá estar diseñada para resistir al menos 1.3 veces el valor de diseño de la fuerzas y momentos que transmitan. También, establecen resistencias específicas tanto para el concreto y para el acero utilizado en el nodo, así como de rugosidad intencional de los elementos que intervienen en la conexión.

Uno de los aspectos en el cual se debe trabajar es que en muchos casos resulta habitual el hecho de

que el diseño adecuado y profundo de las conexiones sea menospreciado o incluso no tomado en cuenta durante los proyectos de prefabricados.

4. Consideraciones de desempeño sísmico

Como se mencionó al inicio de este texto, uno de los principales obstáculos que se encuentran las estructuras prefabricadas de concreto es el escaso uso que se les da en zonas de moderada o alta sismicidad. Lo anterior provocado por experiencias nefastas que han acaecido en diversas zonas sísmicas en donde se han utilizado estos sistemas.

Sin embargo, en comparación al uso que se les ha dado en países de primer mundo las fallas estructurales son extremadamente escasas. No obstante, han bastado unos pocos casos negativos para de alguna forma se estigmatice en forma generalizada el uso de este tipo de sistemas. Afortunadamente, las extensas investigaciones que se han realizado [5] [6] y los cambios en la normativa de países como Estados Unidos, México y Japón, abren un horizonte de uso extensivo de sistemas totalmente prefabricados a corto y mediano plazo.

Se ha encontrado que las conexiones “secas” son más susceptibles a presentar daño durante un evento sísmico debido a los altos esfuerzos que se desarrollan en determinados puntos de la estructura. También, este tipo de conexión presenta mayor cantidad de errores de carácter constructivo durante su construcción. Debido a eso, las conexiones “húmedas” son preferidas en zonas sísmicas. Estudios han demostrado que esta clase de conexiones se han desempeñado de forma excelente bajo cargas cíclicas durante eventos sísmicos [8].

Cuando los marcos momento resistentes proveen suficiente rigidez lateral para resistir las cargas como (viento, efectos sísmicos, empujes de suelo) es muy común que estos se combinen con muros ya sean prefabricados o calados en sitio. El uso de este tipo de sistema presenta muchas ventajas y se conoce como “sistema dual”. Sin embargo, se debe ser cuidadosos durante el análisis, dadas las diferencias significativas en rigidez y deformaciones

que puede haber entre los muros y los marcos, lo cual pudiese generar incompatibilidad de deformaciones tanto en escenarios elásticos como inelásticos.

5. Algunos tipos de conexiones utilizadas

- Conexiones con ménsula corta

Este tipo de conexión se sigue utilizando mucho. La conexión se puede resolver de varias formas entre ella con soldadura o con pasadores.

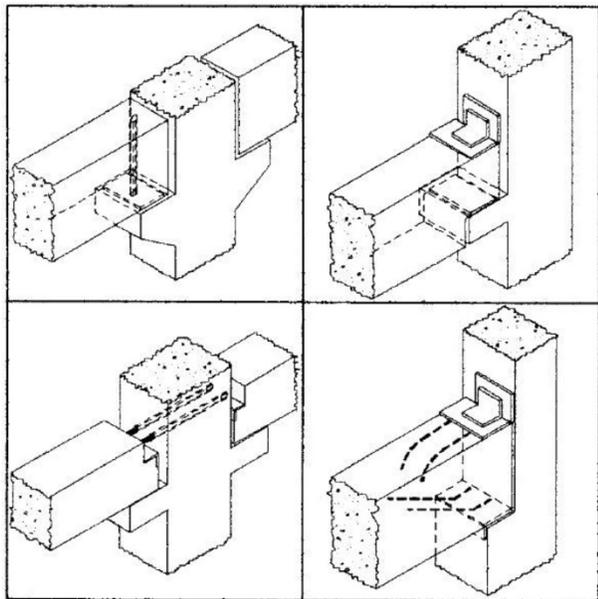


Figura 3 Algunos tipos de conexiones secas [9]

En ambos casos existen una infinidad de variantes. Según las necesidades, las ménsulas pueden estar en cualquiera de los cuatro lados de la columna.

Durante la fabricación cuando se tienen ménsulas en tres o cuatro lados se presentan serios inconvenientes para el acomodo del acero de refuerzo de las propias ménsulas y del acero longitudinal de la columna. Asimismo, el transporte resulta ser muy incómodo dado que la zona donde se encuentran las ménsulas ocupa mucho volumen y por consiguiente se reduce la cantidad de elemento que se pueden transportar.

Cuando el espacio en obra lo permite es común que este tipo de elementos se prefabriquen en donde se lleva a cabo la obra. Estos elementos prefabricados tienen la ventaja que se puede iniciar su elaboración incluso antes de que inicie la

obra. Cuando se llevan adelantados los labores de prefabricación respecto al de la obra en general el montaje resulta ser rápido y económico, resaltando las ventajas del prefabricado. En la *figura 3* se observan algunos tipos de conexiones muy utilizadas.

- Conexiones Postensadas

Las conexiones postensadas, representan una excelente solución en marcos prefabricados de concreto. Sin embargo, requieren un desarrollo técnico y de cálculo más robusto. Los cuidados durante su construcción deben ser más rigurosos. Se debe tener especial cuidado en la colocación de los ductos de postensado. Constructivamente conviene que las columnas tengan ménsulas dado que de esta forma se eliminan los puntales o apoyos intermedios pero las ménsulas generan algunos inconvenientes que ya hemos mencionado. En caso que la columna no cuente con ménsula es obligatorio el uso de puntales temporales para sostener la viga hasta que se finalice la conexión.

- Conexión de ventana

Esta clase de conexión es ideal para zonas sísmicas. Es una conexión emulativa "Húmeda" del tipo dúctil. Esta tipología de conexión ha ganado gran aceptación en los últimos años debido al excelente desempeño observado en eventos sísmicos reciente y también a las facilidades constructivas que presenta.

Desde el punto de vista de fabricación, tiempos y transporte es evidente su superioridad dado que como se puede prescindir de las ménsulas se utiliza un mismo molde para una gran cantidad de elementos (recordemos que la esencia de la prefabricación es estandarización). Además, cuando los elementos se elaboran en fábrica la transportación se vuelve más eficiente, en vista que se puede transportar un mayor número de elementos.

Constructivamente, las ventajas son evidentes, dado que no se requiere soldaduras o elementos metálicos especiales de conexión. La conexión se realiza con el acero de refuerzo de la o las traveses que llegan al nodo y el acero longitudinal y estribos de la propia columna. Es importante mencionar que

se puede dar el caso la utilización de ménsulas provisionales, las cuales son metálicas y se atornillan temporalmente a una o varias caras de la columna evitando el uso de puntales. La *figura 4* muestra un tipo de conexión de ventana con traves U que llegan al nodo. También, en la *figura 5* se aprecia una columna prefabricada recién colada a la cual se le han dejado las preparaciones para realizar la conexión de ventana.



Figura 4 Ejemplo de conexión de ventana [10]

Otro tipo de conexión muy interesante y que se está aplicando en México es el que se muestra en la *figura 2*. Información más detallada se puede encontrar en la referencia [9] de este texto.



Figura 5 Columna prefabricada recién colada

- Conexiones soldadas

Este tipo de conexiones se han utilizado desde mucho tiempo atrás. Sin embargo, poco a poco se están utilizando cada vez menos debido a que se ha demostrado un comportamiento poco satisfactorio ante solicitaciones sísmicas, observando fallas frágiles. Esta conexión se realiza soldando placas o barras corrugadas. Debido a su

naturaleza, esta clase de conexión es incapaz de desarrollar la ductilidad requerida durante un evento sísmico. Dada la experiencia lograda con conexiones soldadas no se recomienda su uso en zonas de sismicidad moderada o alta.

6. Comentarios

Es innegable el hecho que la construcción en concreto camina hacia el uso más extendido de productos y estructuras prefabricadas. La superioridad en términos de calidad, durabilidad, rapidez de ejecución, mayor relación beneficio-costos, mínimos costos de mantenimiento y en los últimos años se han destacado por su aportación y sintonía con las políticas y requerimientos de sustentabilidad. No obstante, todos los componentes de la estructura deben estar correctamente resueltos en relación al diseño, análisis, construcción y funcionamiento, en especial las conexiones o nodos. En este texto se habló únicamente de conexiones viga - columna en marcos de concreto, pero estamos claros que existen otras igual de importantes y que requieren de la misma atención como son las unión con la cimentación, viga - viga, columna - columna, uniones con fachadas prefabricadas de concreto, etcétera.

Se han realizado una gran cantidad de estudios analíticos y experimentales, además de la aplicación directa en una gran cantidad de estructuras alrededor del mundo, que sirven como base y sustentación del buen desempeño y confiabilidad. No se debe pasar por alto el hecho que muchas de las fallas estructurales que han ocurrido a lo largo de la historia reciente en este tipo de estructuras se han debido a la inadecuada o deficiente construcción [6]. Lo anterior implica que, como en cualquier obra las buenas prácticas en construcción son igual de importantes que un buen diseño.

Referencias

- [1] www.tecnyconta.com
- [2] Ghosh, S. K. (2001). *Seismic Design Provisions for Precast Concrete Structures* in ACI 318. PCI Journal, 46(1): 28-32.
- [3] S. Vernu, S. Sritharan (2004). *Section, Members and System Level Analyses for Precast Concrete Hybrid Frames*.
- [4] J. E. Chavez (2013). *Uso de los Prefabricados para un Desarrollo Sustentable. 4to. Congreso Internacional de Estructuras Prefabricadas de Concreto 2013. ANIPPAC*.
- [5] E.R. Angulo, M.E. Rodriguez, R. Betancourt. *Manual de Diseño de Estructuras Prefabricadas y Presforzadas*. ANIPPAC.
- [6] M.E. Rodriguez, M.Matos (2013). *Seismic Behavior of a Type of Welded Precast Beam-Column Connection*. Prestress Concrete Institute Journal, Vol. 58 No.3 81-94.
- [7] S.M. Alcocer, R. Carranza, D. Perez (2000). *Behavior of a Precast Beam – Column Connection*. 12 WCEE.
- [8] T. A. Poff, (2014). *Performance of Precast Structures Under Seismic Loads*. Penn State.
- [9] R. Carranza, R. Martinez, E Reinoso. *Conexión de Trabe – Columna de Elementos Prefabricados sin Pernos ni Soldadura*.
- [10] R. Villanueva (2015) *Comparativa de Sistemas Estructurales, Prefabricado Presforzado, Acero Estructural y Colado en Sitio*. 2da. Asamblea de Socios ANIVIP 2015.