



# *ESTRUCTURAS PREFABRICADAS DE CONCRETO*

**Mario E. Rodríguez (\*)**

(\*) Investigador del Instituto de Ingeniería de la UNAM, México

*El Dr. Mario E. Rodríguez fue expositor durante el I Congreso de Estructuras y Construcción organizado por el Capítulo Peruano ACI, desarrollando el tema "Modernos Sistemas Constructivos Prefabricados".*

Las principales ventajas, las posibles limitaciones y el futuro que las estructuras prefabricadas de concreto son tema de este artículo, en el que se tratan también las razones por las cuales este nuevo tipo de proceso constructivo no se ha adoptado ampliamente en México.

En muchos aspectos, las actividades productivas han tenido mundialmente cambios importantes, producto de las tendencias inevitables de la modernización; sin embargo, en la industria de la construcción en México aún se emplean procesos constructivos no muy diferentes a los utilizados desde hace medio siglo. Las estructuras prefabricadas de concreto, a pesar de ser un ejemplo prometedor de nuevos procesos constructivos, todavía no son muy frecuentes.

## *VENTAJAS Y POSIBLES LIMITACIONES*

En toda actividad productiva, el concreto de calidad y la duración del proceso son factores relevantes para obtener un producto aceptable. En el caso particular de la industria de la construcción de estructuras de concreto, los procesos constructivos que se emplean actualmente no difieren mucho de aquellos que comenzaron a utilizarse hace algunas décadas. Por ejemplo, casi la totalidad de estas edificaciones se vacían en sitio, con métodos laboriosos de construcción de encofrado, de transporte, así como de colocación del concreto y del acero de refuerzo, lo que dificulta el control de calidad de este proceso constructivo y aumenta el tiempo de obtención del producto terminado. Estos dos factores, control de calidad y duración del proceso constructivo con los procedimientos usuales, merecen ser analizados para evaluar la conveniencia de la introducción de nuevos procesos de construcción. En particular, es de interés llevar a cabo esta evaluación para el caso de estructuras prefabricadas de concreto, por ser este material bastante conocido

y empleado. Además, también hay que tener en cuenta que México no sólo es autosuficiente en la producción de cemento, sino que incluso lo exporta.

Los dos factores anteriormente mencionados - calidad y duración del proceso - son justamente dos aspectos favorables que se tienen en estructuras de concreto prefabricadas. En particular el último - la duración -, es un factor relevante en el costo de obra, por lo que el ahorro - no sólo de días, sino también hasta de meses en algunos casos - que se puede obtener con estructuras prefabricadas, en comparación con las fabricadas en sitio, puede justificar ampliamente el empleo de la primeras en lugar de las segundas. Ejemplos que ilustran de manera clara lo anterior son algunos centros comerciales muy grandes establecidos en la ciudad de México, que fueron construidos con estructuras prefabricadas de concreto, en un tiempo bastante menor que el que hubiera requerido una obra con estructuras vaciadas en sitio. En estos casos, el argumento principal del inversionista para elegir la estructura prefabricada en lugar de la tradicional, fue simplemente que cada día ganado a la apertura al público era un día de ingresos adicionales que obtendría.

En el aspecto de control de calidad, la construcción de estructuras prefabricadas de concreto también puede superar por mucho a la construcción de estructuras de concreto vaciado en sitio. Por ejemplo, detalles elaborados de colocación del acero de refuerzo en zonas de posibles articulaciones plásticas en marcos de concreto prefabricado, pueden ser cuidadosamente supervisados en las plantas que producen los elementos prefabricados. Por lo regular, también la colocación del acero de refuerzo, para cualquier tipo y zona de elemento prefabricado estructural, puede ser realizada de acuerdo con los requerimientos necesarios. Ejemplo de esta última situación son los elementos prefabricados para sistemas de piso. Cuando la construcción de sistemas de piso se hace con colados en sitio y se emplean mallas de refuerzo para el lecho superior de la losa, es común que esta malla no quede en la posición requerida, y por tanto, que estas partes de la losa no puedan resistir esfuerzos de tensión que deberían ser tomados por la malla mencionada.

Entre los principales factores que se oponen al empleo de estructuras prefabricadas destaca el temor a la innovación, por parte de inversionistas, arquitectos e ingenieros, por desconocimiento de los nuevos procesos constructivos. En particular, en el caso de zonas con moderada o alta actividad sísmica, existe el temor de que las estructuras prefabricadas de concreto puedan tener un comportamiento menos favorable ante los sismos que en el caso de estructuras de concreto vaciados en sitio. En realidad, este temor no debiera existir, si se considera que, como se comenta más adelante, es posible construir estructuras prefabricadas de concreto con un comportamiento sísmico semejante al de estructuras vaciados en sitio.

Entre las acciones que pueden ayudar a resolver el problema anteriormente mencionado está, por ejemplo, el promover la divulgación de las principales características de las estructuras prefabricadas. En México, este aspecto se viene resolviendo en parte con la elaboración de un Manual de Estructuras Prefabricadas de Concreto, actividad patrocinada por la Asociación Nacional de Industrias del Presfuerzo y la Prefabricación (ANIPPAC) y desarrollada por

expertos mexicanos en el tema, tanto profesionales que han desarrollado o emplean este tipo de estructuras, como investigadores interesados en el tema. Algo que también ayudaría a resolver la problemática descrita es el fomento de la enseñanza sobre construcción y diseño de estructuras prefabricadas de concreto, incluyendo estos temas en la currícula de las diversas facultades y escuelas de ingeniería civil, así como en cursos de educación continua. Este aspecto merece ser considerado como actividad de urgente realización.

Otro aspecto que es conveniente analizar, como posible ventaja o limitación del proceso constructivo que estamos considerando, es el relacionado con la mano de obra. Existe el argumento de que esta en nuestro medio no es cara, en comparación con la de países desarrollados, y que por tanto, al emplear estructuras prefabricadas de concreto, que requieren menos mano de obra, se podría estar desaprovechando este factor. Aun cuando esta cuestión debería ser analizada por especialistas en economía y costos, resultaría contraproducente emplear, por ejemplo, el argumento anterior para afirmar que en nuestro país no deberían fabricarse vehículos con los procedimientos modernos que actualmente se emplean.

Otro factor que debe ser tomado en cuenta en el análisis del empleo de mano de obra, es el hecho de que al construirse estructuras prefabricadas de concreto, con menos tiempo de ejecución, podrían ahorrarse cantidades importantes de dinero, que a su vez podrían ser posteriormente invertidas en la construcción de nuevas estructuras, que ocuparían por tanto la mano de obra respectiva, y generarían empleos en diversas actividades relacionadas con la industria de la construcción. Este es un reto que la ingeniería debe enfrentar como parte de los cambios importantes en la economía actual.

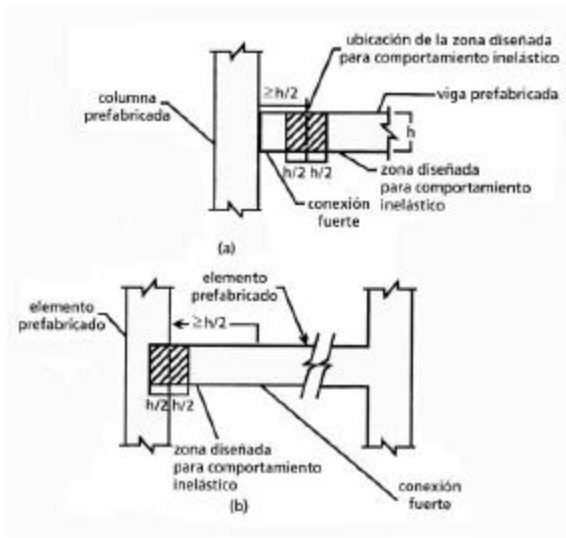
El autor reconoce que los cambios no necesariamente deben ser bruscos, y en este sentido sugiere que, al menos actualmente, la mayor parte de los sistemas de piso en México deberían ser prefabricados. Existen hoy día en el mercado mexicano productos para ello; sin embargo, persiste entre arquitectos e ingenieros la inercia que impide utilizar estos productos por temor a un posible mal comportamiento. Hay evidencias de lo infundado de este temor en estudios experimentales realizados en otros países, por lo que se sugiere confirmar las mismas con estudios similares que se realicen en laboratorios mexicanos de estructuras. En esta actividad, el patrocinio de la industria de la construcción será relevante.

## *ASPECTOS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL EN ZONAS*

### *SÍSMICAS*

Un aspecto relevante en el comportamiento estructural de las estructuras prefabricadas de concreto a base de marcos en zonas sísmicas lo constituyen los criterios necesarios para lograr un comportamiento adecuado en las conexiones entre elementos prefabricados. La práctica usual en Estados Unidos hasta hace pocos años, y que ha influido de manera importante en

México, no ha sido la más apropiada desde el punto de vista estructural, ya que las conexiones entre elementos estructurales se hacían en las zonas críticas de estos elementos en condiciones sísmicas (generalmente en la ubicación de articulaciones plásticas). El problema se agrava con el empleo de soldadura para conectar el acero de refuerzo longitudinal de la trabe en la zona de la unión de ésta con la columna. Afortunadamente, desde el punto de vista de mejorar nuestro conocimiento sobre el diseño sismorresistente, los efectos que tuvo en las estructuras el sismo de Northridge, California, en 1994, han mostrado las importantes debilidades de la soldadura para conectar elementos de acero. Esta experiencia ha revelado la necesidad de buscar alternativas de diseño para las secciones críticas de elementos estructurales sometidas a acciones sísmicas. En este sentido, el reglamento para Estados Unidos, el Uniform Building Code de 1997 (UBC, 1997)<sup>1</sup>, recomienda, por ejemplo, que estructuras prefabricadas en zonas sísmicas traten de igualar el comportamiento de estructuras coladas en sitio, para lo cual da requisitos específicos. Por ejemplo, en el caso de marcos, se recomienda el empleo de las llamadas conexiones “fuertes”, como se ilustra en la figura 1. La conexión “fuerte” se caracteriza por tener un comportamiento elástico durante el sismo de diseño. La figura 1 muestra dos variantes para este tipo de conexiones, y en ambos casos se recomienda que la distancia entre la sección de localización de la zona con comportamiento inelástico se ubique a una distancia mayor que  $h/2$  respecto a la sección donde se conectan los elementos prefabricados, donde  $h$  es el peralte de la trabe. La primera variante de conexión “fuerte” se ilustra en la figura 1 (a), la que muestra esta conexión ubicada a cara de columna y la zona de articulación plástica ubicada a una distancia mayor de  $h/2$  respecto a la zona de conexión. La segunda variante de conexión “fuerte” se ilustra en la figura 1 (b), la que muestra ahora la zona de articulación plástica ubicada a cara de columna y la zona de conexión “fuerte” ubicada a una distancia mayor que  $h/2$  respecto a la primera.



El empleo de pórticos de concreto, tanto vaciados en sitio como prefabricados, tienen el inconveniente de que para lograr un comportamiento dúctil es necesario cumplir requisitos rigurosos respecto a la cantidad y distribución del acero de refuerzo longitudinal y transversal, como lo especifican, por ejemplo, las Normas Técnicas Complementarias de Estructuras de Concreto (1996) del

Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (NTC, 1996)<sup>2</sup>, o el Reglamento del American Concrete Institute de 1995 (ACI, 1995)<sup>3</sup>.

Una alternativa de interés que puede explorarse en México como solución al problema anteriormente mencionado, es el uso de sistemas estructurales

prefabricados en los que se emplean pórticos perimetrales con claros pequeños, que tomen la mayor parte de las acciones sísmicas, y pórticos interiores - si se quiere con claros más grandes -, que tomen mayormente cargas gravitacionales, con lo cual estos últimos marcos podrían ser diseñados y construidos con requerimientos menos estrictos que los necesarios en marcos que toman la mayor parte de las acciones sísmicas en una estructura.

Una variante del sistema estructural anteriormente mencionado, que puede ser prometedora, es el empleo de muros de concreto estructural, colados en sitio o prefabricados, que tomen la mayor parte del sismo, y combinarlos con marcos prefabricados de concreto que, como en el caso anterior, tomen mayormente cargas gravitacionales. Este tipo de sistema estructural prefabricado fue estudiado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Rodríguez y Blandón, 1998)<sup>4</sup>, como parte de un proyecto de investigación experimental y analítica patrocinado por el Conacyt y al ANIPPAC.

## *CONCLUSIONES*

En este artículo se analizan algunas ventajas y algunas posibles limitaciones del empleo de estructuras de concreto, como ejemplo de nuevos procesos constructivos que se deben impulsarse. Se destacan las mejoras en cuanto a control de calidad y a duración de este proceso constructivo respecto al tradicional y se recomienda que, como parte de una transición de procesos tradicional de construcción a nuevos procesos en México, en la actualidad al menos, los sistemas de piso deberían ser en su mayor parte prefabricados.

También en este artículo se comentan algunas soluciones racionales para la construcción de estructuras prefabricadas en zonas sísmicas de nuestro país, que pretenden resolver debilidades importantes del comportamiento estructural que han sido identificadas en este tipo de estructuras.

## *REFERENCIAS*

1. ICBO, Uniform Building Code, Vol II, International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 1997.
2. Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (NTC, 1996), Gaceta Oficial del Distrito Federal, Marzo 1996.
3. Building Code Requirements for Reinforced Concrete, ACI 318-95, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA.
4. Rodríguez, Mario E. y John Blandón (1998), "Proyecto de investigación de una estructura de concreto prefabricado sometida a acciones sísmicas",

Memorias del 6º. Expo - Congreso Nacional de Prefabricación y Presfuerzo,  
San Luis Potosí, noviembre de 1998.