

Entrevista al profesor Roberto León:

«La gran ventaja de la construcción mixta es aprovechar la sinergia de ambos materiales, acero y hormigón»

Después de sus disertaciones sobre Construcción Mixta en Buenos Aires y Santiago de Chile, con una excelente recepción por parte de su audiencia, el profesional concedió la siguiente entrevista para resumir los conceptos expresados en sus conferencias.*



Profesor Roberto León.

Roberto León es ingeniero civil egresado de la Universidad de Massachussets Amherst, Ph.D en Ingeniería Civil de la Universidad de Texas, EE.UU. Master en Ingeniería Estructural en la Universidad de Stanford, EE.UU. Profesor en el Georgia Institute of Technology en la cátedra Civil & Environmental Engineering Simulation (NEES). Es autor y coautor de más de 60 publicaciones de su especialidad.

¿Cuáles son las principales ventajas de la construcción mixta?

En mi opinión, la ventaja principal es la sinergia de los dos materiales al hacerlos trabajar eficientemente, por ejemplo, haciendo que el hormigón resista la compresión y limite el pandeo de la sección metálica y al mismo tiempo, permitiendo que el acero reciba la tracción y confine la sección de hormigón. En otras palabras, utilizar estos dos materiales de la forma en que son más aptos y así, contar con elementos estructurales extremadamente eficientes desde el punto de vista

de resistencia, rigidez y capacidad de deformación.

Otra gran ventaja que enfatice en la presentación fue la rapidez que se alcanza en el montaje y construcción al usar este sistema estructural. La posibilidad de que un edificio se pueda vender durante su construcción, o antes si es posible, hace más rentable la inversión y más atractivo el uso de la construcción mixta en las obras civiles.

El sistema en construcción híbrida mixta presenta muchas otras ventajas desde el punto de vista estructural y constructivo. Sin embargo, la construcción mixta requiere de un trabajo conjunto por parte de todos los proyectistas y de la compañía constructora. Cuando no se tiene suficiente experiencia con el sistema pueden presentarse problemas de coordinación; por ello es importante que las diferentes partes interesadas dediquen el tiempo necesario a su planeación.

* La entrevista fue realizada por los ingenieros Alberto Pose para la Revista Acero Latinoamericano (ILAFa) y Gustavo Darin para Ingeniería Estructural de la AIE.

¿Ante qué tipo de solicitaciones se manifiestan las mejores aptitudes de la construcción mixta?

Las experiencias en edificios híbridos construidos en los Estados Unidos, Japón, Taiwán, China y Corea han mostrado hasta el momento un excelente desempeño ante solicitaciones laterales por sismo y viento. Lo anterior es consecuencia de la gran resistencia, rigidez y ductilidad que se puede desarrollar con el sistema híbrido, ganando así cada día una mayor aceptación en su uso.

Una de las grandes deficiencias del acero y no así del hormigón, es su baja resistencia al fuego. Generalmente este problema es resuelto con recubrimientos especiales para proteger el acero. Por lo tanto, los elementos híbridos más susceptibles al fuego son aquellos compuestos de un tubo metálico relleno de hormigón; sin embargo, esto se puede solucionar con recubrimientos de protección para el tubo metálico, y con varillas de refuerzo longitudinal y transversal en la sección de hormigón para garantizar al menos una resistencia suficiente ante cargas de servicio en caso de incendio. Este inconveniente no se presenta en secciones compuestas integradas por un perfil metálico embebido en hormigón; en este tipo de elemento compuesto el hormigón provee de un generoso recubrimiento y protección ante el fuego e impacto al perfil metálico.

Para acciones horizontales, la rigidez de la estructura compuesta es variable porque en una parte de la viga el hormigón va a estar traccionado y en función de la solicitación va cambiando el diagrama de momento, entonces cambia la rigidez de la losa de hormigón ya que es variable la sección de hormigón que colabora, ¿es este un tema abordable?

Hace algunos años tuve la oportunidad de ser consultor en el diseño de un edificio con estructura híbrida en la ciudad de Minneapolis, en los Estados Unidos. Todos los especialistas que colaboramos en este proyecto cuidamos con detalle el proceso constructivo para evitar cualquier eventualidad en la estructura durante la etapa de construcción.

Asimismo, se calcularon analíticamente los cambios en la rigidez del sistema lateral; este proyecto en particular, el cual fue resuelto con construcción mixta, alcanzó una rigidez lateral final en la estructura aproximadamente de tres veces la rigidez de la etapa inicial sin acción compuesta. Algo similar ocurrió con el sistema de piso compuesto, el cual obtuvo mayor capacidad y rigidez que el de un sistema tradicional con la misma altura libre de

entrepiso. En resumen, para este proyecto se hicieron estudios muy detallados en los cuales, a partir de un análisis inicial, se monitoreaba el diagrama de momento y se asignaba una rigidez correspondiente, rehaciendo el análisis con cambios en el momento flector e iterando hasta obtener la distribución correcta. Resultados similares se pueden obtener a partir de la rigidez equivalente, parámetro que ya está incorporado en las especificaciones del AISC del 2005. Como éste, hay muchos otros temas que se han tratado de estudiar a fondo y que en muchas ocasiones se simplifican y reflejan en las normas de diseño con una serie de fórmulas.

En tu charla has comentado que hay determinadas soluciones, más económicas de acuerdo al número de pisos en cada edificio. ¿Nos puedes aclarar un poco más este tema?

Respecto al mercado de los Estados Unidos, que es el que personalmente conozco, estructuras de baja altura son generalmente marcos donde las cargas verticales son soportadas por columnas de acero y las cargas laterales por contravientos o muros de cortante de mampostería u hormigón; este es un sistema extremadamente eficiente y económico, e incluso se puede utilizar para edificios de mediana altura sin muchos problemas, aunque deja de ser económicamente rentable cuanto mayor sea el número de pisos. Los marcos de hormigón reforzado son comúnmente la solución económica para edificios de mediana altura y los de acero o elementos híbridos son los más apropiados para edificios altos. Sin embargo, el costo varía dependiendo de la zona geográfica y de las preferencias regionales. En la mayoría de estos sistemas, generalmente las losas son de hormigón las que trabajan como sección compuesta con las vigas de acero.

¿Cuáles son los principales temas a investigar respecto a la construcción mixta?

En mi opinión son las conexiones y, sobre todo, las conexiones bajo cargas sísmicas. Aun hoy en día existen algunas dudas en las hipótesis sobre distintos mecanismos de transferencia. Para descartar dichas dudas, se han propuesto y elaborado algunas pruebas a gran escala para verificar las formulaciones y mecanismos.

En la presentación mostré y comenté sobre una conexión típica, la cual se analiza en la práctica de una manera muy conservadora en mi opinión. No obstante, conservador no necesariamente es inadecuado. La tendencia del proyectista

es generalmente la de optimizar y obtener la estructura más económica posible. Sin embargo, a veces resulta inútil, impráctico e incluso antieconómico ser tan escrupuloso en el diseño. Por ejemplo, en la práctica no es muy conveniente proponer una variedad amplia de perfiles en un mismo proyecto; lo anterior complica y encarece el proceso de construcción, encarece la importación y el transporte de los elementos estructurales, entre otras posibles complicaciones. No obstante que al uniformizar perfiles resulte en que algunos elementos queden sobrediseñados, el costo de dicho sobrediseño comparado con el costo total de la estructura resulta ser bajo. En Estados Unidos, por ejemplo, el precio de la estructura representa un porcentaje relativamente bajo comparado con el costo total del proyecto, el cual incluye en muchos casos costos más altos por los diversos sistemas en instalaciones eléctricas, aire acondicionado, contra incendio, seguridad, fachada, etc.

¿En qué temas es más urgente que las normas y por consiguiente el ejercicio profesional incorpore las novedades de la investigación?

Por lo menos en los Estados Unidos el tema más urgente es el del desempeño sísmico y la incorporación de nuevos materiales. Sin embargo, en general aun hay mucho que investigar y estudiar pues, desafortunadamente, no existen muchas normas de diseño que contemplen de forma completa e integral la capacidad de utilizar conjuntamente el acero y el hormigón. Hoy en día aún es común que el ingeniero en la práctica calcule la resistencia y rigidez de un elemento híbrido como si éste fuese sólo de acero o sólo de hormigón, es decir, sin considerar el aporte del otro material. En este sentido, aun queda mucho trabajo por desarrollar en el tema de la construcción mixta; eventualmente, todo el conocimiento generado deberá incorporarse en las futuras normas en el ejercicio profesional de los ingenieros civiles.

Durante la mesa redonda sobre enseñanza de la construcción en acero comenté la importancia de hacer mayor investigación en este campo y del gran impacto que tiene la investigación que se desarrolla en una universidad sobre la economía de un país. Como ejemplo, la ciudad de Boston genera y mantiene una economía próspera, y en buena medida se debe al ejercicio profesional de los egresados de Harvard y MIT. La industria electrónica la generaron profesionales del MIT, por ejemplo. Cualquier ciudad grande con una economía fuerte tiene al menos una o dos universidades que están detrás de este desarrollo económico y social. En la

ciudad de Atlanta, por ejemplo, el impulso es generado por profesionales egresados de Georgia Tech (instituto de ingeniería y ciencias aplicadas) y Emory (prestigiosa universidad privada de medicina, ciencias biológicas y humanidades), aunque también hay otra docena más de universidades que ayudan al desarrollo económico del estado. Estudios sociales han mostrado que los graduados de Georgia Tech –que han fundado muchas compañías, que a su vez contratan personal de la región y que facturan una importante cantidad de dinero anualmente– han impulsado significativamente el desarrollo económico del estado de Georgia. Todos estos son ejemplos del impacto económico que tiene una universidad.

Respecto a la aplicación de los nuevos conceptos en la práctica profesional, mi impresión es que, desafortunadamente, los proyectistas no tienen suficiente tiempo para desarrollar e implementar nuevas tecnologías. En algunos casos además, los estructuralistas no consideran siempre a la acción compuesta y en gran medida puede deberse a que muchos programas comerciales de análisis y diseño aún no incorporan esta acción compuesta en los cálculos; son aún pocos los programas que están considerando el sistema compuesto, sin embargo, personalmente creo que pueden generar problemas si el ingeniero no revisa con detalle sus resultados. Hay muchas otras causas que también desaniman el uso de la estructura compuesta, por ejemplo, el desconocimiento de su uso por parte del constructor, la disyuntiva del estructuralista de proyectar la estructura con sólo acero o sólo hormigón, entre otras posibles inercias, desalientan su uso. Son muy pocos los especialistas que se animan a implementar nuevos sistemas y soluciones como el que ofrece la construcción mixta. En Estados Unidos se acepta sin ningún problema la construcción mixta en los elementos horizontales, aunque ha tardado en imponerse su uso en elementos verticales.

¿Cuáles son los principales desarrollos de la construcción mixta en los últimos años?

Diría que estamos pasando de una construcción mixta que era tradicionalmente «acero-hormigón» hacia «cualquier cosa-cualquier cosa». Nuevos materiales, sobre todo materiales plásticos, son cada día más usados en la práctica. El uso de nuevos materiales en áreas sísmicas permitirá reforzar estructuras existentes que originalmente no se diseñaron para car-



Son muy pocos los especialistas que se animan a implementar nuevos sistemas y soluciones como el que ofrece la construcción mixta.

gas sísmicas o para cargas sísmicas bajas. Por ejemplo, un puente viejo se puede reforzar reemplazando la losa pesada de hormigón por una ligera y resistente de plástico, permitiendo así tener menores demandas sísmicas, descargas en la cimentación, y consecuentemente una estructura reforzada con un presupuesto menor al de un proyecto nuevo.

¿Cuál es la manera de generar mayor cantidad de proyectos en países de menor desarrollo, como los de América Latina, para generar más construcción con estas nuevas tecnologías?

Una alternativa ideal sería que la industria de la construcción se una para alentar y participar en el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías en las nuevas obras civiles, sobre todo en aquellas que representan una inversión fuerte para cierta región. Por ejemplo, la industria podría patrocinar un estudio comparativo en edificios altos resueltos con marcos de hormigón, marcos de acero y marcos compuestos. Los resultados de dicho estudio sin duda arrojarán resultados muy importantes para el diseño de los futuros edificios de la zona. Además permitirá que los profesionales de la región adquieran la experiencia y la confianza en el uso de un sistema innovador. Sin duda, los mayores beneficios se verán reflejados en el futuro al contar

con edificios más seguros, profesionales más capacitados, etc. Para lograr un mayor éxito, es importante la participación de todos los sectores, por ejemplo, la industria siderúrgica y cementera, las compañías de ingeniería y sus proyectistas, las compañías constructoras, los colegios de ingenieros y arquitectos, las universidades, los sindicatos o cámaras relacionadas con la construcción, etc. La unión de toda la industria de la construcción generará un mayor impulso económico de la región. En Estados Unidos, por ejemplo, la construcción es la rama más grande de la economía nacional.

¿Existe un posicionamiento diferencial de la construcción mixta a nivel mundial, es decir en Estados Unidos, Japón y Europa o en general están niveladas por la transferencia de tecnología?

Mi impresión es que, en general, están niveladas en la normatividad, aunque Japón tiene hoy en día un mayor número de aplicaciones. Sin embargo, la comparación no es tan simple porque existen grandes diferencias culturales, económicas y sociales que afectan el uso de los sistemas en estos países. Lo que se puede construir en cierto lugar puede resultar antieconómico o impráctico de construir en otro, por ejemplo. ☒