

# ESTRUCTURAS PREFABRICADAS EN ZONAS SÍSMICAS

(PRECAST STRUCTURES IN SEISMIC AREAS)

J. Manuel Burón, Dr Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, IETcc. UCLM

Luis Vega Catalán, Arquitecto. IETcc. UPM

Aurelio Domínguez Álvarez, Arquitecto. IETcc

Peter Tanner, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. IETcc

Fecha de recepción: 23-IV-03

ESPAÑA

193-28

## RESUMEN

*El comportamiento de las estructuras prefabricadas de hormigón armado y pretensado en zonas sísmicas depende, fundamentalmente, del tipo de unión que vincula los diferentes elementos prefabricados. Éstos se completan durante el proceso de montaje mediante la ejecución de los nudos, dotando a la estructura de su configuración definitiva para resistir las acciones de servicio.*

*Cuando las estructuras prefabricadas presentan una tipología de unión en la que se da continuidad a las armaduras que configuran los nudos rígidos, se puede afirmar que el comportamiento de las mismas en zonas sísmicas es análogo al que corresponde a una estructura de hormigón construida "in situ", sin ningún tipo de limitación y, por tanto, son de aplicación las mismas exigencias normativas que las utilizadas, con carácter general, para el proyecto y construcción de las estructuras de hormigón estructural.*

## SUMMARY

*Presstressed and reinforced precast concrete structures behaviour in seismic areas depends mostly on the kind of joint between elements. The final configuration of the structure for resisting actions is granted by the execution of rigid connections during the building phase.*

*When joints in precast structures have continuity of the reinforcement in the connections, the behaviour of these structures in seismic areas is quite similar to cast-in-situ ones. Therefore, no limitation should be applied and the same requirements stated for common structures should be validated for precast ones.*

El comportamiento de las estructuras prefabricadas de hormigón armado y pretensado en zonas sísmicas depende, fundamentalmente, del tipo de unión que vincula los diferentes elementos prefabricados en los que se divide la estructura para su fabricación y que, durante el proceso de montaje, reproduce los nudos que completan la estructura proyectada, dotándola de su configuración definitiva para resistir las acciones de servicio.

Cuando las estructuras prefabricadas que se construyen en zonas sísmicas presentan una tipología de uniones en la que se da continuidad a las armaduras que configuran los nudos rígidos, o bien, si se trata de materializar rótulas, se disponen pasadores metálicos capaces de resistir los esfuerzos cortantes que en ellos producen las acciones horizontales (ya que las reacciones verticales, generalmente, se transmiten mediante apoyo directo), se puede afirmar que el comportamiento de estas estructuras en zonas sísmicas es análogo al que corresponde a una estructura

de hormigón construida "in situ", sin ningún tipo de limitación y, por tanto, son de aplicación las mismas exigencias normativas que las utilizadas, con carácter general, para el proyecto y construcción de las estructuras de hormigón estructural.

La ductilidad de las secciones de los elementos prefabricados y de sus juntas se determina con los mismos criterios que los establecidos para el análisis de cualquier estructura de hormigón armado y pretensado.

Las recomendaciones a considerar en estructuras de hormigón en zonas sísmicas, referentes a zunchado del hormigón, longitudes de anclaje, disposición y cuantías de armaduras, ejecución de nudos, también deben cumplirse en las estructuras prefabricadas, tanto en los elementos como en las uniones. Las secciones donde se materializan rótulas, mediante pasadores metálicos, deben armarse para asegurar la adecuada transmisión de la carga localizada, de carácter dinámico, que introducen dichos pasadores, encargados de resistir y transmitir, puntualmente, las



Figura 1.- Puento prefabricado en zona sísmica.

fuerzas horizontales que la acción sísmica produce sobre la estructura. La ejecución de los forjados prefabricados y su vinculación al resto de la estructura prefabricada deben garantizar, en estas zonas, el efecto diafragma, en cuanto a la capacidad de arriostamiento horizontal entre los diferentes elementos que forman la estructura en cada una de las plantas.

En definitiva, un diseño adecuado de las uniones entre los elementos prefabricados, permite aplicar a las estructuras prefabricadas, de hormigón armado y pretensado, en zonas sísmicas idéntico tratamiento que el establecido, con carácter general, por las Normas e Instrucciones para ser aplicado a las estructuras de hormigón estructural.

Para la aplicación de la Norma Sismorresistente NCSE-02 a las estructuras prefabricadas de hormigón hay que considerar, en primer lugar, la estructura en su conjunto,

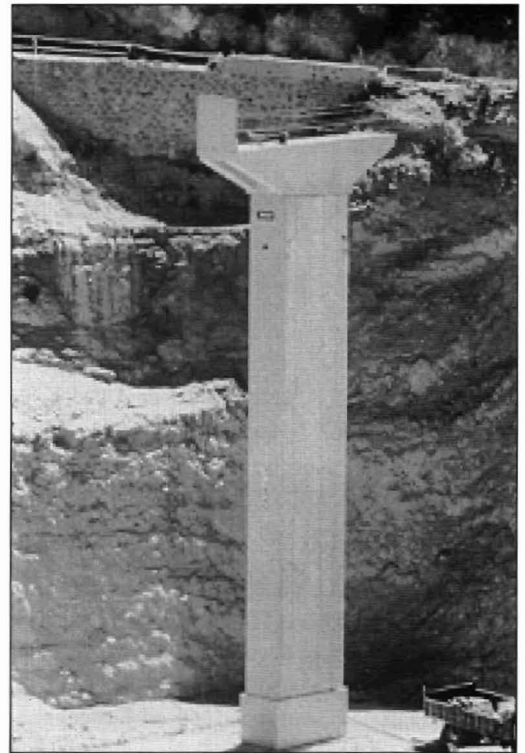


Figura 2.- Pila prefabricada en zona sísmica.

valorando la posibilidad de contar con elementos estructurales en las dos direcciones ortogonales en las que, generalmente, se analiza el efecto de la acción sísmica sobre dicha estructura.

Las estructuras prefabricadas que presentan pórticos unidos entre sí mediante elementos estructurales, cuyos nudos son capaces de transmitir reacciones horizontales, de modo que existan pórticos en dos direcciones perpendiculares en planta, no precisan ser comprobadas bajo la acción del



Figura 3.- Estructura prefabricada con pórticos de nudos rígidos (solución nudo hueco). Apropiaada para zonas sísmicas.

sismo, siempre que constituyan construcciones de importancia normal (según la definición de la Norma NCSE-02) situadas en zonas en las que la aceleración sísmica básica es inferior a  $[0,08 g]$ .

Si el edificio prefabricado tiene más de 7 plantas y la aceleración sísmica de cálculo es igual o mayor que  $[0,08 g]$ , deberá comprobarse frente a la acción sísmica aunque la construcción tenga importancia normal y la aceleración sísmica básica sea inferior a  $[0,08 g]$ .

La siguiente consideración a realizar se refiere a la tipología estructural que la estructura prefabricada materializa y que determina su comportamiento frente a las acciones horizontales de origen sísmico. De acuerdo con dicha tipología estructural se adoptará el valor del coeficiente de comportamiento por ductilidad  $[\mu]$ . Este coeficiente se adopta de acuerdo con los criterios indicados por la Norma NCSE-02, considerando la estructura prefabricada como una estructura de hormigón armado, siempre que las uniones entre elementos prefabricados, y el dimensionado de secciones y armaduras, se realice con los criterios anteriormente expuestos.

Valores  $[\mu = 4]$ , correspondientes a ductilidad muy alta, pueden adoptarse en estructuras prefabricadas con pórticos de nudos dúctiles rígidos y vigas de canto, capaces de resistir las acciones horizontales producidas por el sismo junto al resto de acciones concomitantes con ellas, siempre que se cumplan “las reglas de diseño y prescripciones constructivas en edificaciones” incluidas en la Norma NCSE-02, al objeto de asegurar, para dicho nivel de ductilidad, la formación de mecanismos estables con muy alta capacidad de disipación de energía proporcional al ciclo de histéresis.

Si la resistencia a las acciones horizontales se consigue mediante núcleos rígidos, cumpliéndose el resto de las condiciones a que se refiere el párrafo anterior, particularizando las reglas y prescripciones para un nivel de ductilidad alto, se deberá adoptar un valor  $[\mu = 3]$ , correspondiente a ductilidad alta.



Figura 4.- Estructura prefabricada con pórticos de nudos rígidos (solución nudo macizo). Apropia para zonas sísmicas.



Figura 5.- Estructura prefabricada con núcleos rígidos (pantallas). Apropia para zonas sísmicas.

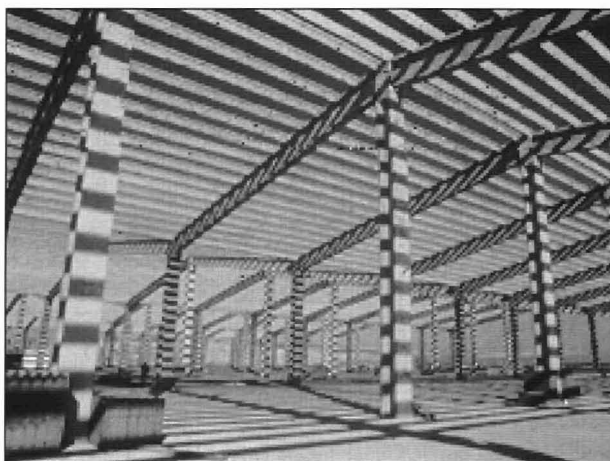


Figura 6.- Estructura prefabricada tipo péndulo invertido.

Cuando la estructura prefabricada es asimilable al tipo de péndulo invertido, o cuando no se cumplen las condiciones a que se refieren los párrafos anteriores, se adoptará el valor  $[\mu = 2]$ , correspondiente a ductilidad baja.

La deformación horizontal de la estructura bajo las acciones horizontales de origen sísmico, se determinará multiplicando por el valor del coeficiente  $[\mu]$  adoptado, el desplazamiento obtenido como resultado de un cálculo elástico.

En relación con las estructuras prefabricadas con tipología de péndulo invertido, en las que la ductilidad está concentrada en la sección de empotramiento del pilar en la cimentación, se está desarrollando un proyecto de investigación europeo para verificar que, con un adecuado dimensionado de dicha sección, la energía que se puede disipar en este tipo de estructuras bajo la acción del sismo, es equivalente a la que disiparía, en las mismas circunstancias, un pórtico de nudos dúctiles rígidos cuyos pilares serían, lógicamente, más esbeltos que los de la estructura en péndulo invertido. Si se verifica la bondad del

modelo teórico propuesto en el origen de la investigación, en el futuro, este tipo de estructuras prefabricadas podrán comprobarse adoptando valores de  $[\mu]$  más elevados, siempre que se cumplan las reglas y prescripciones coherentes con la ductilidad considerada. Después de las consideraciones realizadas sobre el conjunto estructural, hay que volver a tratar de las uniones entre los elementos prefabricados que condicionan el comportamiento de la estructura y comprobar que la materialización real de los nudos refleja fielmente las previsiones realizadas al determinar la tipología considerada en el análisis estructural

La correcta resolución del nudo "cimentación-pilar prefabricado" y del nudo "pilar prefabricado-viga prefabricada" es la base de un buen comportamiento frente al sismo.

El procedimiento para realizar adecuadamente las uniones, parte de las siguientes consideraciones fundamentales:

- La unión no puede ser un punto de discontinuidad en el comportamiento de la estructura de hormigón
- Los materiales a utilizar en la unión serán los adecuados al comportamiento mecánico que se pretende conseguir
- En la unión se compatibiliza la geometría de las piezas que en ella confluyen con los esfuerzos correspondientes.
- La unión debe ejecutarse, durante el proceso de montaje, mediante un proceso fácilmente controlable.

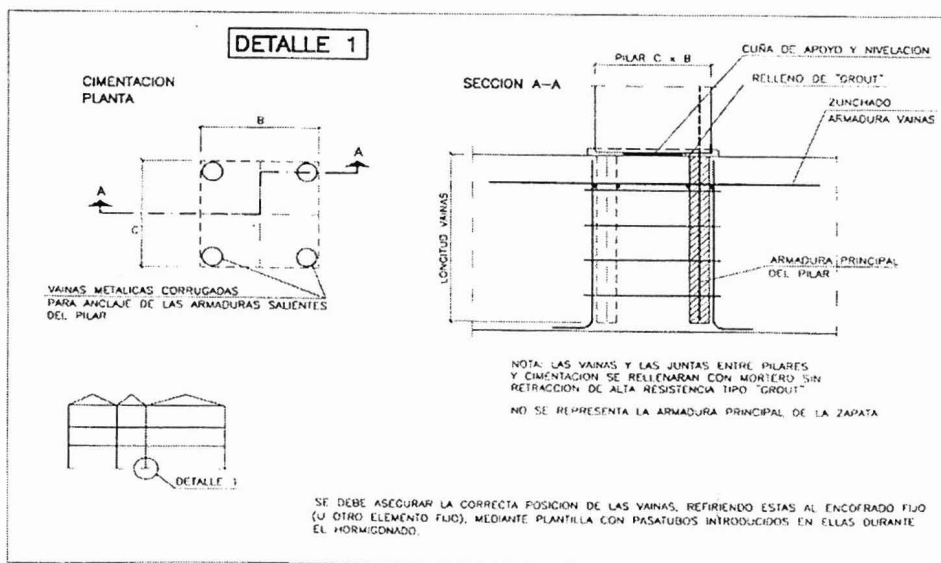


Figura 7.- Nudo - "cimentación-pilar prefabricado".

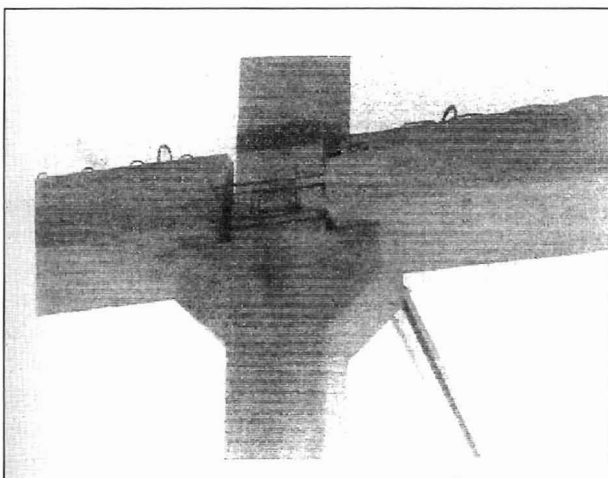


Figura 8.- Nudo "pilar prefabricado-viga prefabricada" en ejecución.

Los materiales habitualmente utilizados en las uniones son armaduras pasivas de acero corrugado de alto límite elástico y mortero "grout" de alta adherencia y resistencia como material de relleno, sin retracción, que da continuidad a la sección de hormigón. Cuando se pretende conseguir estructuras de elevada ductilidad la Instrucción EHE recomienda el uso de armaduras de calidad B 400 SD y especifica las condiciones que debe cumplir cualquier acero para asegurar dicha ductilidad. Dicha Instrucción contiene, también, especificaciones para el dimensionado de las estructuras de hormigón estructural en zona sísmica que deben cumplir las estructuras prefabricadas.

El "grout" se utiliza, además, para rellenar los cajetines y las vainas corrugadas donde, en la zona de unión, se alojan las armaduras. Este material está compuesto por un cemento de alta resistencia y elevado grado de finura, una

arena de matriz silíceica con granulometría muy fina y aditivos patentados que aseguran la ausencia de retracción durante el proceso de fraguado. Proporciona resistencias a la compresión de 37 Mpa a 3 días y de 80 Mpa a 28 días, así como tensiones de adherencia a barras corrugadas de 18 N/mm<sup>2</sup> a 28 días. Sus condiciones de colocación son muy favorables para su uso en las uniones ya que presenta un marcado carácter autonivelante, elevada fluidez y homogeneidad en todo el cajetín relleno.

Las características descritas del "grout", permiten contar con unas condiciones favorables para el dimensionado de las longitudes de solapo de las armaduras en los cajetines. Además de comprobar las tensiones de adherencia entre las armaduras y el "grout" de relleno del cajetín, es necesario comprobar las mismas tensiones en la pared del propio cajetín entre el "grout" y el hormigón.

En la unión pilar-viga, cuando no existe apoyo directo, el mecanismo de transmisión del esfuerzo cortante requiere que se compruebe el estado de fisuración de la sección de

contacto y la compatibilidad de éste con la formación de la biela comprimida necesaria para dicha transmisión. Resulta ventajoso para el proceso de montaje que exista un apoyo directo, aunque su capacidad esté limitada a las cargas que deba resistir durante dicho proceso.

En zonas sísmicas se debe garantizar la función diafragma de los forjados mediante el hormigonado "in situ" de la correspondiente capa de compresión, alojándose en ella la armadura de la unión, además de la propia de dicha capa. En estos casos, la capa de compresión forma parte de la sección compuesta de las vigas prefabricadas frente a las cargas de servicio, a través del nexo de unión que establece la armadura de rasante sobresaliente de la sección simple de dichas vigas.

Si el cerramiento del edificio se realiza mediante paneles prefabricados de hormigón, la comprobación de la resistencia del panel y de su unión a la estructura, bajo las acciones sísmicas, se comprobará sin considerar ductilidad en el panel ni en las uniones. En general, no son elementos

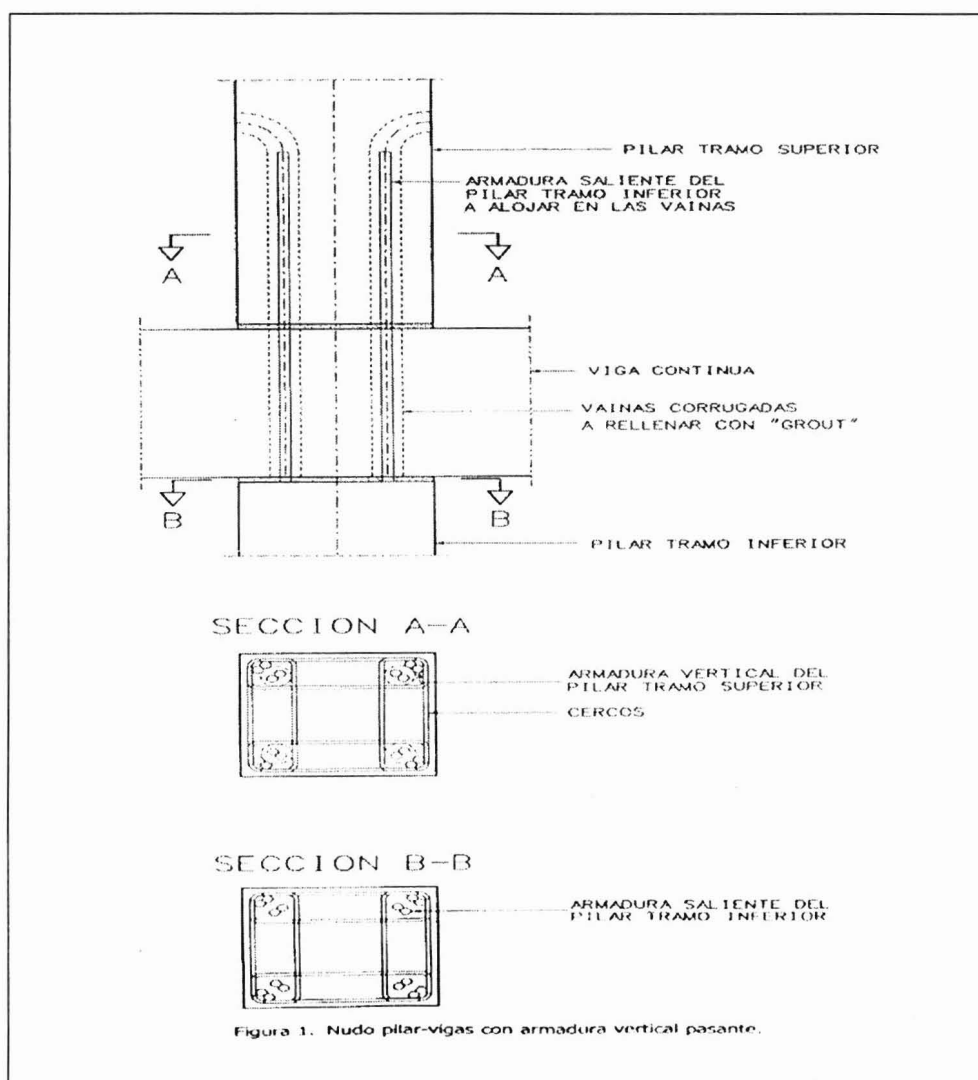


Figura 9.- Nudo "pilar prefabricado-viga prefabricada" (solución viga sin interrupción).

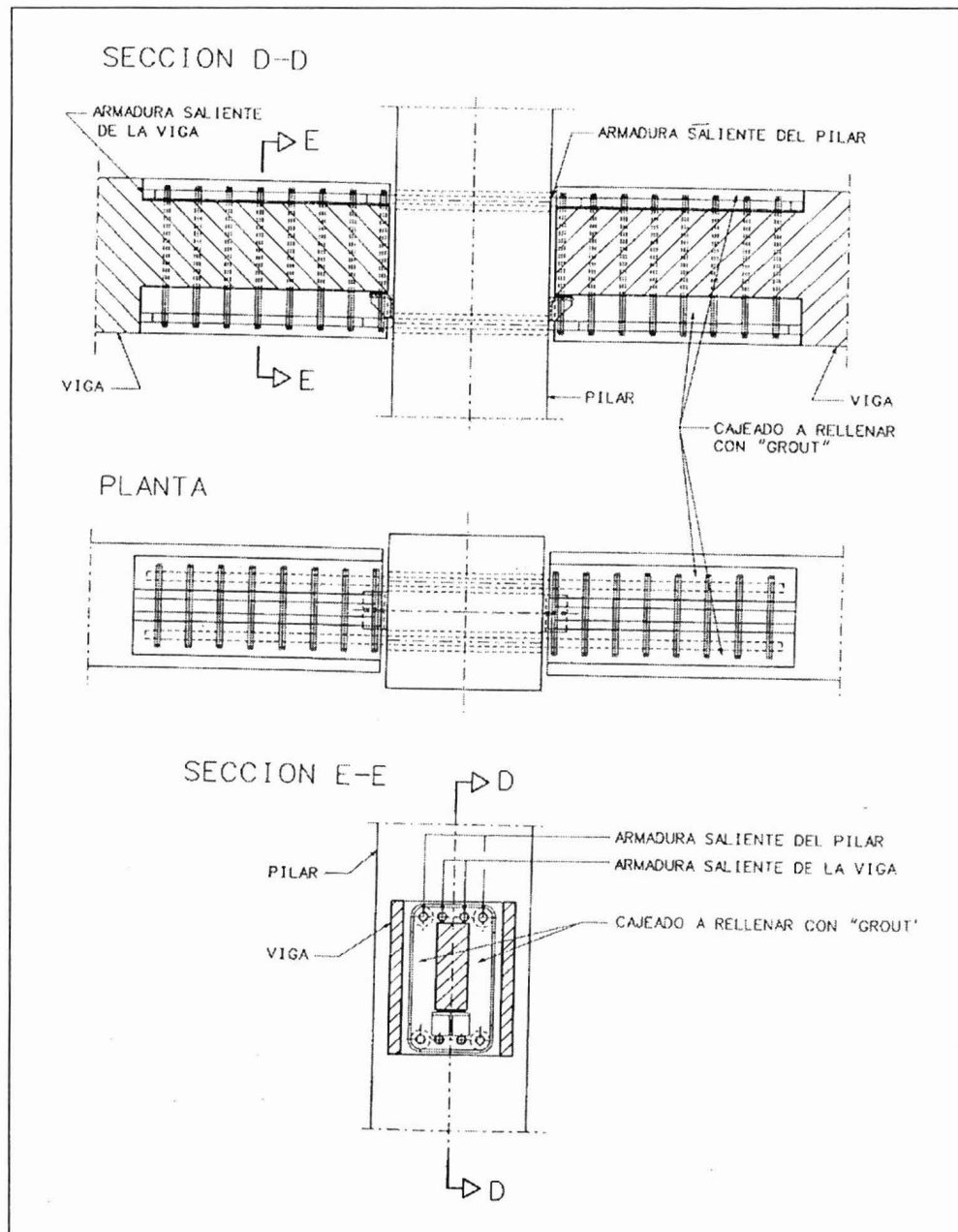


Figura 10.- Nudo "pilar prefabricado-viga prefabricada" (con apoyo directo de montaje).

adecuados para trabajar plásticamente y también se pretende, así, limitar las deformaciones relativas entre la estructura y el cerramiento, por cuestiones funcionales propias de las fachadas. Todo ello no impide que la estructura se analice con el grado de ductilidad que le corresponda, ya que su comportamiento es independiente del cerramiento, siempre que, como es habitual, la disposición del mismo permita los movimientos precisos para que no se produzca interacción estructura-cerramiento.

Con los procedimientos y los materiales indicados, las estructuras prefabricadas en zonas sísmicas deben tratarse, tal como se ha dicho en los primeros párrafos, como es-

tructuras de hormigón estructural, con el grado de ductilidad que les corresponda, de acuerdo con su tipología estructural, con los elementos que resisten las acciones horizontales de sismo, con los materiales utilizados y con el dimensionado de las mismas.

#### BIBLIOGRAFÍA

- M. E. Rodríguez. "Comportamiento de estructuras prefabricadas de concreto reforzado para edificaciones en zonas sísmicas, innovación y tendencias en su empleo". Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. Revista de Ingeniería Sísmica (julio-diciembre 2000)

- B. Perepérez. "Ductilidad y Proyecto en las estructuras de hormigón en edificación". ACHE Jornada técnica anual 2001
- S. K. Ghosh, S. Dow, K. Krishnam "Precast structures in regions of high seismicity" 1997 UBC Design provisions
- L. D. Martín, WJ Korkosz. "Connections for precast prestressed concrete buildings (Including earthquake resistance). PCI Technical Report nº 2
- N. M. Hawkins. "State of the art report on Seismic resistance of prestressed and precast concrete structures". PCI Journal Vol. 23
- S. V Pillai, D.W. Kirk. "Ductile moment resisting beam column connections on precast concrete". ACI Fall Convention 1979 Washington
- PCI Journal Vol. 24. "Seismic design criteria for multi-story precast prestressed buildings"
- CEB Bulletin 240. "Seismic design of reinforced concrete structures for controlled inelastic response"
- J. Calavera. "Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón". Intemac. Madrid.
- ELSA Laboratory "Seismic behaviour of concrete industrial buildings" Research Project
- F. Bondini, G. Toniolo. "Comparative analysis of the seismic response of precast and cast in situ reinforced concrete frames" Studi i Ricerche Vol. 21/2000 Politecnico Milano
- J. Portabella. "Ductilidad de las estructuras prefabricadas de hormigón". ACHE Primer Congreso Nacional de Prefabricación. Madrid 2002
- A. Ortiz. "Estructuras prefabricadas: Comportamiento frente a la acción sísmica". 2º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica. Madrid 2001
- A. Ortiz, L. Vega. "Las estructuras prefabricadas ante la acción sísmica" Cemento Hormigón nº 844
- IECA-ANDECE "Edificios con Prefabricados de Hormigón. Para usos industriales, comerciales, aparcamientos y servicios (Madrid).
- M. Burón, D. Fernández-Ordoñez, L. Gómez "Edificios prefabricados con estructuras de nudos rígidos" Hormigón y Acero nº 215
- N. M. Newmark, W.J. Hall. "Dynamic behavior of reinforced and prestressed concrete buildings under horizontal forces and the design of joints". International Associate Engineering. Eight Congress 1968 New York
- G. Powell, V Schricker. "Ductility demands of joints in large panel structures". ASCE Fall Convention 1977 San Francisco
- C. Llorente, J.M. Becker, J.M. Roesset. "Effect of nonlinear inelastic connection behavior on precast panelized shear walls". ACI Publication SP-63

\* \* \*