



REPORTAJES

CONFINAMIENTO Y DUCTILIDAD DE LOS EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO

Juan Carlos Vielma - Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Decanato de Ingeniería Civil, Barquisimeto, Venezuela.

Alex H. Barbat y Sergio Oller - Universidad Politécnica de Cataluña, E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

El proyecto de edificios de hormigón armado contempla entre sus objetivos la estabilidad de la estructura frente a las cargas a las que está sometida a lo largo de su vida útil. En consideración a dicho objetivo, el cálculo de las estructuras se realiza para varios grupos de combinaciones de cargas de diferente naturaleza, dentro de las cuales se encuentran las cargas accidentales, tales como son las de viento, de impacto o las sísmicas. El carácter catastrófico que, en la mayoría de los casos, tiene el fallo de los edificios bajo la acción sísmica, ha motivado la revisión sucesiva de las normas de proyecto, en las que se han incluido preceptos que privilegian el comportamiento dúctil de dichas estructuras. Para resaltar la diferencia que existe entre un comportamiento dúctil y un comportamiento frágil de

una estructura, véanse las Figuras 1 y 2. En la Figura 1 aparece un edificio con comportamiento frágil, el cual ha llegado a un punto en el cual su estructura no ha sido capaz de soportar los desplomes laterales y ha colapsado de forma brusca.

Por el contrario, en la Figura 2 se aprecia un edificio en el que la acción del terremoto ha producido notables desplomes laterales permanentes; sin embargo, el edificio mantiene su estabilidad y, a pesar de los daños sufridos, puede soportar las cargas de gravedad. Este hecho caracteriza un edificio con comportamiento dúctil.



Figura 1.- Fallo frágil de un edificio.



Figura 2.- Fallo dúctil de un edificio.

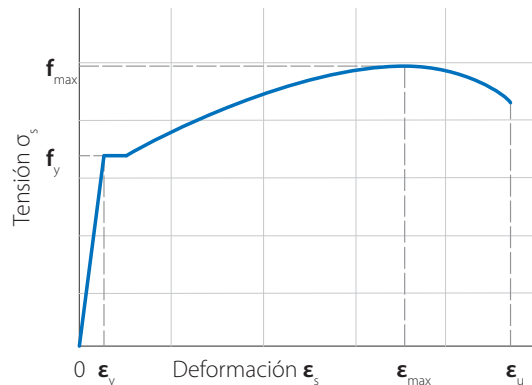
Dentro de los preceptos normativos cabe destacar aquellos que se relacionan con el confinamiento del hormigón armado. En este artículo se revisan algunos de estos preceptos normativos, procurando explicar de que manera éstos mejoran el comportamiento y la seguridad de las estructuras frente a la acción de los terremotos.

El ingeniero proyectista de estructuras sabe que el hormigón armado es un material en el que el comportamiento de los elementos componentes sometidos a flexión, flexo-compresión y cortante es determinado, en gran medida, por la calidad del acero de armado. Esta afirmación puede ser contrastada con una simple revisión de los diagramas tensión-deformación tanto del hormigón como del acero.

En la Figura 3 se observa que el comportamiento del acero es dúctil, mientras que en la Figura 4 se aprecia que el del hormigón es frágil. Además, la resistencia a compresión del hormigón es considerablemente más alta que la resistencia a tracción. Por tal motivo, es necesario dotar al hormigón de armadura para que sea capaz de soportar la tracción.

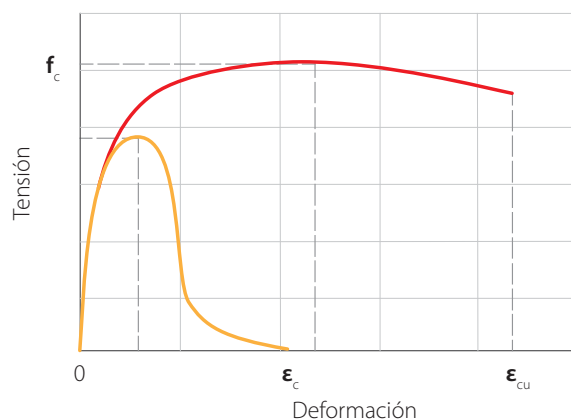
La armadura longitudinal y transversal no sólo mejora la capacidad de los elementos de hormigón armado de deformarse bajo la acción de la flexión; también proporciona *confinamiento* al hormigón lo que, a la larga, se traduce en un incremento de su resistencia a compresión mejorando, de esta forma, el comportamiento global de la estructura. En la Figura 4 se muestran las curvas tensión-deformación del hormigón confinado y no confinado; puede apreciarse que el hormigón no armado es un material que una vez que alcanza su máxima resistencia se comporta de manera frágil. Por el contrario, el hormigón armado y confinado dispone de una mayor resistencia y de una alta ductilidad en comparación con el hormigón no armado.

A pesar de que es imprescindible disponer una determinada cuantía de armadura longitudinal y transver-



- f_y : Tensión de plastificación.
- f_{max} : Tensión máxima.
- ϵ_y : Deformación de plastificación.
- ϵ_{max} : Deformación correspondiente a la tensión máxima.
- ϵ_u : Deformación última.
- ϵ_s : Deformación del acero.
- σ_s : Tensión del acero.

Figura 3.- Diagrama tensión-deformación del acero.



- f_c : Tensión máxima a compresión del hormigón.
- ϵ_c : Deformación del hormigón para la tensión máxima de compresión.
- ϵ_{cu} : Deformación última del hormigón armado.

Figura 4.- Diagrama tensión-deformación del hormigón no armado y del hormigón armado y confinado, obtenido de ensayo de compresión.

“El confinamiento del hormigón mejora el comportamiento global de la estructura”.



REPORTAJES

sal, esto no resulta suficiente frente a la acción de cargas sísmicas. Estas cargas obligan al proyectista a buscar también otras mejoras en el comportamiento de las estructuras. Muchas de las medidas adoptadas apuntan hacia la mejora de las características globales de las estructuras, buscando la simplicidad de las formas geométricas a la vez que la regularidad en planta y en elevación o incluso la simetría. Al mismo tiempo, es necesaria una racionalización del uso de los materiales, ya que se busca que contribuyan de forma más eficiente a la respuesta de la estructura como un todo.

El carácter catastrófico del colapso de los edificios durante terremotos ocurridos en el pasado en diferentes zonas del mundo ha impuesto, como imprescindible, la exigencia de que los edificios no sufran fallos bruscos o frágiles de manera que se asegure, en primer término, la preservación de la vida de los ocupantes y, en segundo término, la reducción de las pérdidas económicas. Así mismo, se intenta que los daños en los elementos estructurales y no estructurales sean limitados, de tal forma que sea posible la reparación del edificio después de un terremoto desde el punto de vista económico y tecnológico.

Entre las medidas más efectivas para lograr que los edificios tengan una respuesta dúctil, se encuentran la de reforzar de forma especial aquellas partes de los elementos que son más susceptibles de ser dañadas durante los terremotos. Estas zonas son, generalmente, aquellas en las que se alcanzan los máximos momentos tanto en vigas como en pilares. Un ejemplo de fallo de un pilar se muestra en la Figura 5, en la que se aprecia el inadecuado armado transversal en el extremo del pilar, con cercos de diámetro insuficiente y muy espaciados. En la misma foto, puede observarse también un error muy frecuente en la disposición de las armaduras transversales, que consiste en la utilización de armaduras lisas, lo que reduce su adherencia con el hormigón. Para evitar este tipo de fallo, las normas de proyecto sismorresistente exigen un armado más cuidadoso de los extremos de pilares y vigas, en donde se producen los momentos máximos. Debe mencionarse que en las mismas zonas se produce la redistribución de momentos como consecuencia de la plastificación de alguno de los miembros de los pórticos.



Figura 5.-Fallo de pilar (armaduras transversales lisas y en cuantía insuficiente).

Las normas privilegian el buen confinamiento. Esto puede observarse en la Figura 6, en la que se muestran los detalles de armado longitudinal y transversal correspondientes a pilares en las proximidades de la unión con la viga. En el detalle de la Figura 6a se observa un pilar proyectado de acuerdo con la norma NCSE-02. Es claro que la armadura transversal (los cercos) se densifica en la proximidad de las uniones viga-pilar o forjado-pilar, con la finalidad de evitar el fallo por la acción de las fuerzas sísmicas. En la Figura 6b se muestran los detalles recomendados en el Eurocódigo 8 que tienen esa misma finalidad.

También se puede observar en la Figura 6 que la armadura transversal aparece más espaciada hacia el tercio central del pilar, zona en la que es menor el valor del cortante inducido por fuerzas laterales. Las armaduras longitudinales también reciben una cuidadosa disposición; nótese que existe una limitación en la separación de dicha armadura, de forma que la proximidad de

“Aumentar el armado en zonas de momento máximo mejora la respuesta dúctil de la estructura”.

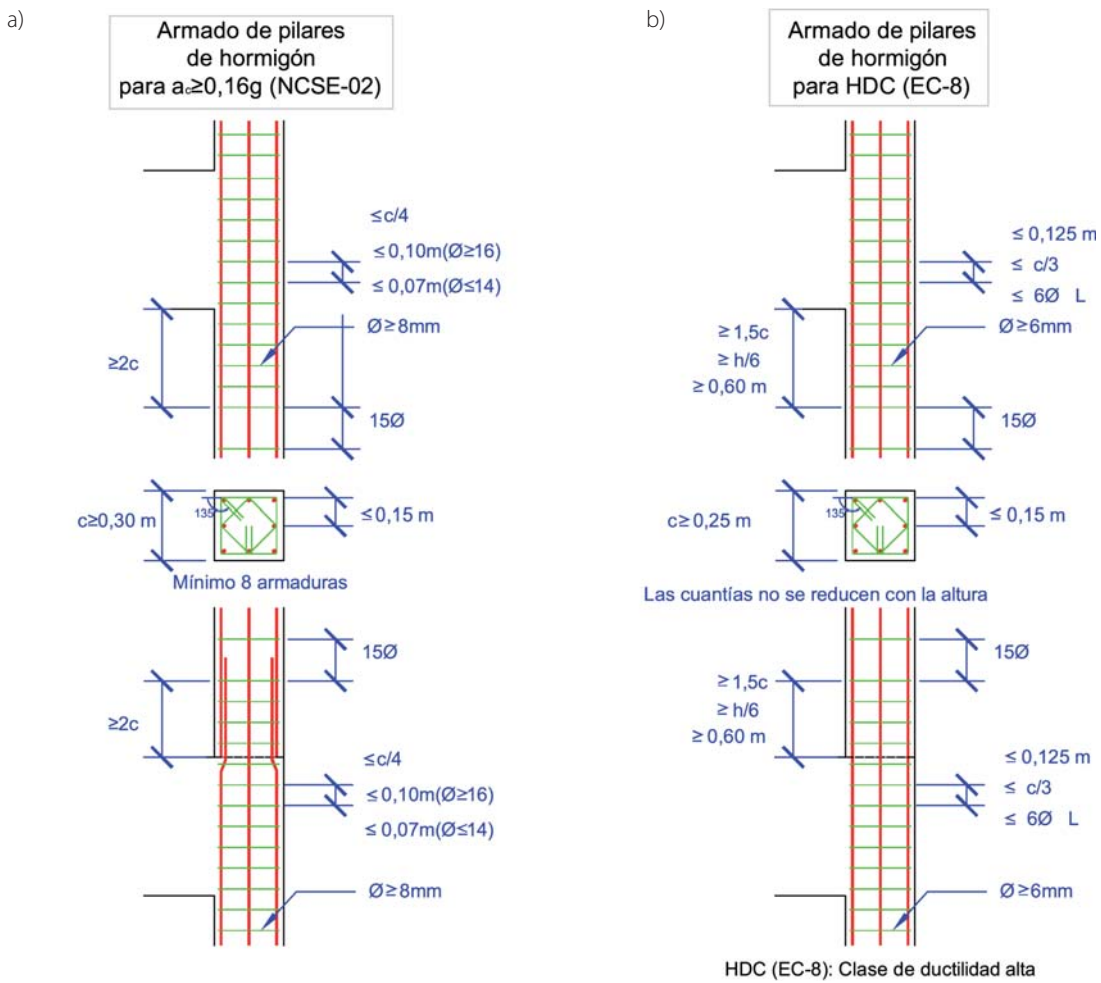


Figura 6.- Detalles de armado de pilares según las recomendaciones de: a) norma sismorresistente española NCSE-02 y b) el Eurocódigo 8.

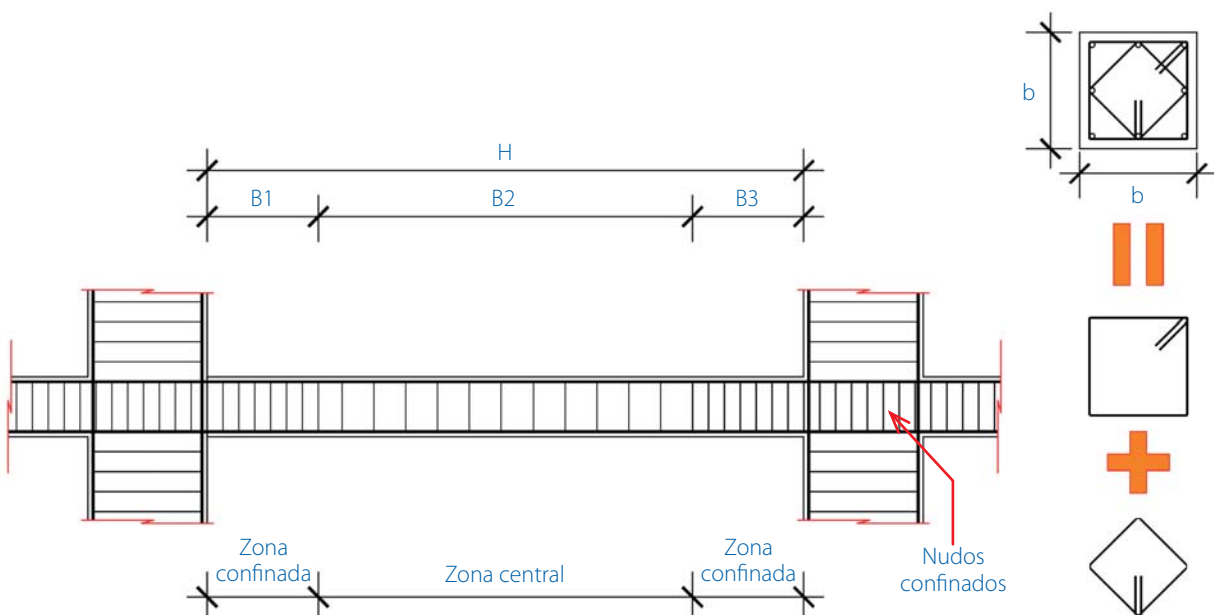


Figura 7.- Confinamiento típico de los pilares proyectados para asegurar un comportamiento dúctil del edificio.



REPORTAJES



Figura 8.- Pandeo de las armaduras longitudinales por inadecuada cantidad de cercos en la proximidad de un nudo viga-pilar.

las barras garantiza el adecuado confinamiento. En la Figura 7 se muestra una vista en alzado del armado típico de un pilar proyectado para zonas sísmicas.

Debe notarse que en el caso de los pilares de edificios que se proyectan en zonas sísmicas, todas las armaduras longitudinales deben estar amarradas mediante cercos. Por esta razón

es preciso disponer armadura transversal adicional, que llega a superar la cuantía de armadura necesaria por resistencia. Obsérvese que en la Figura 7 aparecen cercos adicionales con forma de rombo que amarran las armaduras longitudinales situadas en el centro de cada cara del pilar. Esta disposición de armado transversal evita, sobre todo en el caso de los pilares que están sometidos a compresión, que las armaduras longitudinales fallen por pandeo local, al reducir la longitud libre de tales armaduras (véase la Figura 8).

En muchos casos se hace uso de una práctica inadecuada en el armado de secciones. Concretamente, se sustituye un número de redondos transversales por otro número inferior de barras, de igual cuantía, pero de diámetro superior. No debe confundirse la equivalencia entre ambas cuantías, pensando que ambas proporcionan igual confinamiento y que, por tanto, el elemento estructural alcanzará la misma ductilidad, la misma resistencia o dicho de otro modo, tenga la misma seguridad.

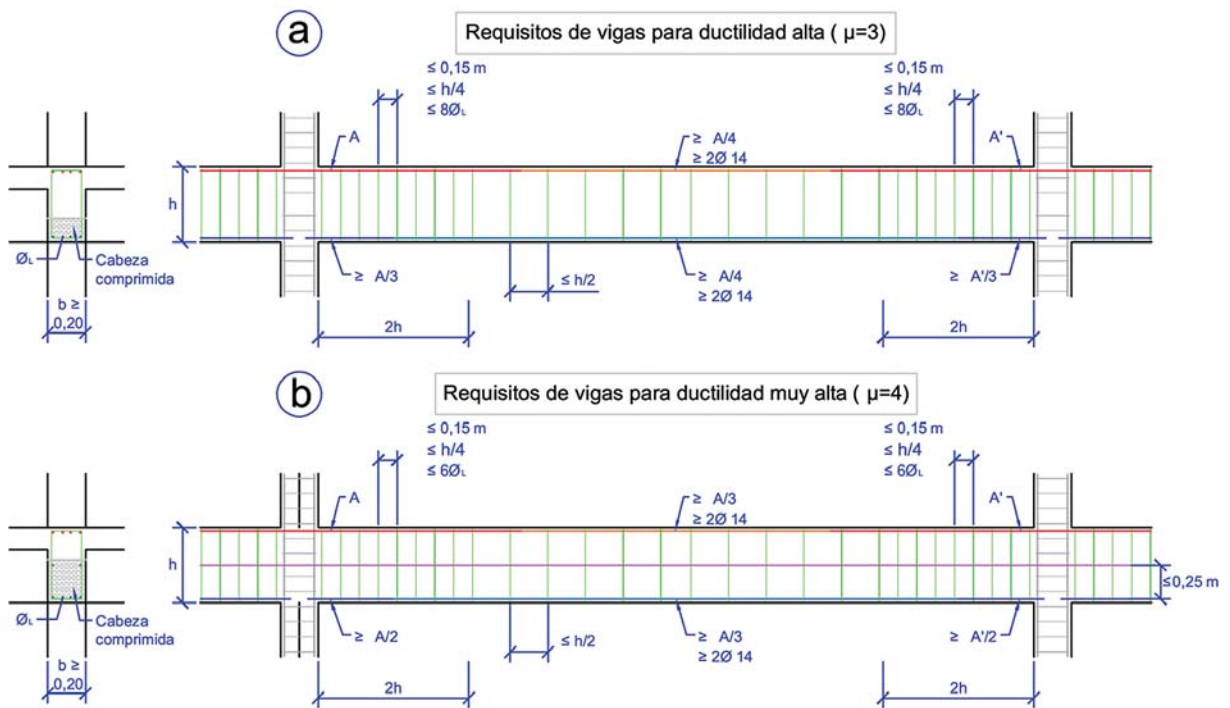


Figura 9.- Detalles de armado de vigas: a) Para ductilidad de 3 y b) Para ductilidad de 4.

“Mantener las cuantías de armadura transversal aumentando el diámetro de los cercos y su separación modifica las condiciones de seguridad de la estructura”.

En la Figura 9 se muestra el armado típico utilizado para las vigas de edificios emplazados en zonas sísmicas. En la Figura 9a, se muestra una viga proyectada para una ductilidad de 3. En esta viga se observa la separación del acero transversal; los cercos son más cercanos entre sí en las zonas próximas a la unión viga-pilar. Esta zona es especialmente sensible a la inversión de momentos y a la acción del cortante. Generalmente, durante los terremotos, es en estas zonas donde ocurren los fallos de las vigas y, para evitar que dichos fallos sean frágiles,

se requiere que la armadura longitudinal quede en su sitio, confinando el núcleo de hormigón, lo que se alcanza mediante una disposición adecuada de la armadura transversal.

El proyectista debe comprobar que la armadura longitudinal se solape en zonas que sólo estén trabajando a compresión. En este sentido, se recomienda ubicar los solapes de las armaduras superiores en el tercio central de las vigas y los solapes de las armaduras inferiores en las zonas confinadas próximas a las uniones con los pilares. De esta forma se logra evitar que las armaduras sean extraídas fuera de la matriz de hormigón en las zonas en las que se tienen esfuerzos de tracción.

Otro de los detalles a tener en cuenta se refiere a los anclajes de las barras longitudinales en las zonas sometidas a tracción, sobre todo en aquellas zonas en las que no continúan las vigas (uniones de la viga con un pilar exterior del pórtico). En la Figura 10 se muestra el fallo de un nudo viga pilar, en el que la armadura de las vigas ha sido extraída del núcleo de hormigón por inadecuados anclaje y recubrimiento.

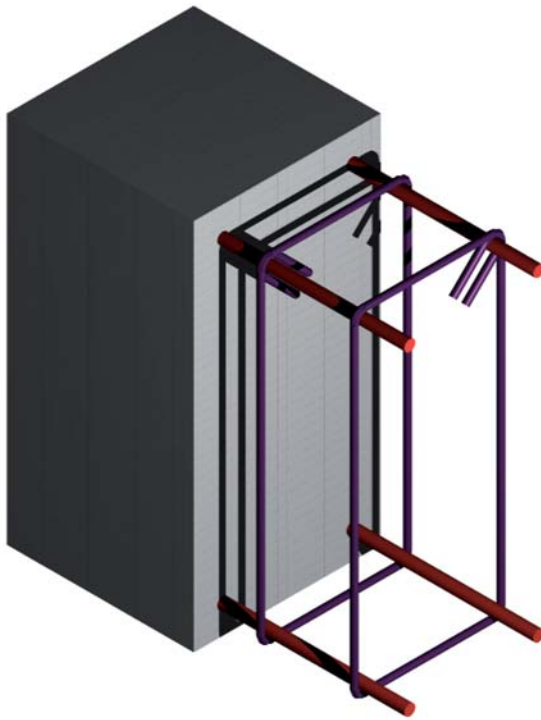


Figura 10.- Extracción de parte del armado de una viga por inadecuados anclaje y recubrimiento.

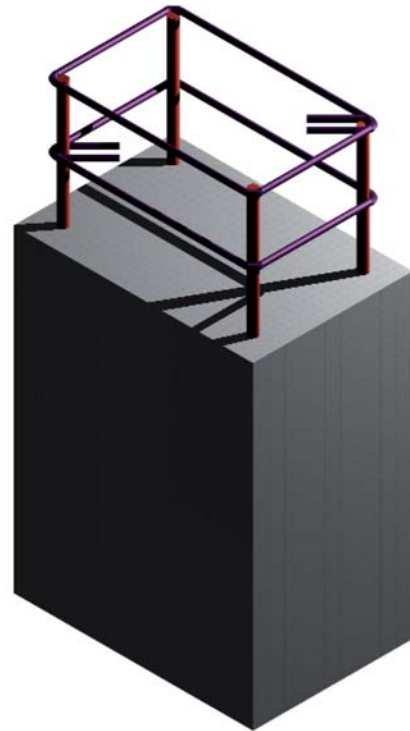


REPORTAJES

a)



b)



⇒ **Figura 11.-** Detalle del doblado de los ganchos de los cercos a 135°, a) en vigas y b) en pilares.

Los anclajes de las armaduras transversales se garantizan mediante la utilización de cercos con ganchos a 135°; con esta medida se logra que el gancho quede embebido dentro del núcleo confinado del hormigón, además de que realiza un aporte adicional de confinamiento. También es una práctica recomendable aplicar la colocación alternada de los cercos, de forma tal que los ganchos no coincidan siempre en la misma barra. Detalles de ganchos de este tipo pueden observarse en la Figura 11.

Nótese que en esta figura existe la alternancia entre el punto en el cual se ubican los ganchos de los cercos, tanto para vigas como para pilares. Mediante esta recomendación se busca

“Un confinamiento eficaz y un atado correcto de la armadura longitudinal que evite su pandeo, sólo se consigue mediante un anclaje adecuado de los cercos mediante ganchos a 135°”.

garantizar que la viga o el pilar no pierdan el confinamiento del núcleo y, por consiguiente, evitar un fallo por apertura de los ganchos.

En conclusión, el proyectista debe tener como objetivo evitar que los edificios de hormigón armado tengan, bajo la acción sísmica, un comportamiento frágil. Para lograr que los edificios alcancen una respuesta dúctil es necesario cumplir las recomendaciones de diseño conceptual incluidas en las normas. Se debe mencionar como muy importante el requisito de que las estructuras sean regulares tanto en planta como en elevación. Otra recomendación es proporcionar un buen confinamiento en aquellas zonas de vigas y pilares que vayan a estar sometidas a los momentos máximos durante la acción de los terremotos. En este sentido, las normas de proyecto sismorresistente contienen una serie de disposiciones mínimas que debe cumplir la armadura para garantizar un confinamiento adecuado. Éstas fijan: la separación máxima y el diámetro de las armaduras longitudinales; la separación máxima y el diámetro

mínimo de las armaduras transversales; la longitud de las zonas confinadas; las zonas en las que se recomienda realizar los solapes; el doblado de los ganchos de los cercos a 135°; y el correcto anclaje de las armaduras longitudinales. Finalmente, el proyectista debe usar materiales de calidad, cuyas características sean las recomendadas en las normas para edificios emplazados en zonas sísmicas.

REFERENCIAS

Barbat, A. H., Oller, S. y Vielma, J.C. (2007). *Confinamiento y ductilidad de los edificios de hormigón armado*. Monografías ARCER Nº 5, Madrid.

Barbat, A. H., Oller, S. y Vielma, J.C. (2005). *Cálculo y diseño sismorresistente de edificios. Aplicación de la norma NCSE-02*. Centro Internacional de Métodos numéricos en ingeniería, Monografía IS-56, Monografías de ingeniería sísmica. Barcelona.

Comisión permanente del hormigón.(1998) *EHE instrucción de hormigón estructural*. Leynfor siglo XXI, Madrid. <http://www.proteccioncivil.org/centrodoc/legisla/NCSR-02.pdf>.

“En zonas sísmicas las armaduras longitudinales deben solaparse en secciones comprimidas”.

Comité Européen de Normalisation (CEN). (2001). *Eurocode 2: design of concrete structures*. Brussels.

Comité Européen de Normalisation (CEN). (2003). *Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance*. Brussels.

NCSE-2002 (2002). *Normativa de construcción sismorresistente*. BOE Nº 244. Madrid.

Vielma J. C., Barbat A. H., Oller S. (2007). Evaluación de la respuesta no lineal de edificios de hormigón armado con ductilidad limitada. *Hormigón y acero*. En prensa, Madrid, España.

Vielma, J. C., Barbat, A. H. y Oller, S. (2007). Curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño de edificios de concreto armado con ductilidad limitada. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura*. En prensa. Mayagüez, Puerto Rico. ■



zuncho Revista trimestral

Si todavía no recibe nuestra revista y quiere recibirla gratuitamente o que la reciba otra persona, por favor háganos llegar los datos adjuntos por fax (91 562 45 60) o por correo electrónico (buzon@calsider.com).

Nombre: _____

Empresa: _____

Cargo: _____

Dirección postal: _____

E-mail: _____ Tel.: _____ Fax: _____

De acuerdo con la Ley 15/1999 de 13 de diciembre de Protección de Datos de Carácter Personal (LOPD), los datos personales suministrados por el Usuario serán incorporados a un Fichero automatizado. En cumplimiento de lo establecido en la LOPD, el Usuario podrá ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición. Para ello puede contactar con nosotros en el teléfono 91 561 87 21 o enviándonos un correo electrónico a buzon@calsider.com.