

LAS CIMENTACIONES EN EL TITULO C – CONCRETO ESTRUCTURAL – DE LA NORMA COLOMBIANA DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES NSR-09

Por. JORGE IGNACIO SEGURA FRANCO

Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia

Profesor Emérito de la Universidad Nacional de Colombia

Profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería

Fellow del American Concrete Institute ACI

Gerente de JORGE SEGURA FRANCO & CIA. S. en C. – Ingenieros Civiles –

1 Introducción

Con anterioridad a la expedición del Decreto 1400/84, en el país se venían utilizando, en el diseño de estructuras de concreto reforzado, los requisitos del Código ACI 318, desarrollado por el American Concrete Institute (ACI). En 1978 el Instituto Colombiano de Productores de Cemento, ICPC, realizó una traducción, autorizada por el ACI, de la versión de 1977 de este documento, la cual fue ampliamente difundida en el país y sirvió de base para la redacción de la norma ICONTEC 2000. En el Decreto 1400/84, el Título C se basó en la norma ICONTEC 2000, actualizada a la versión de 1983 del Código ACI 318. Con posterioridad a la expedición del Decreto 1400/84, el ACI ha actualizado su documento en 1989, en 1995, en 2002, en 2005 hasta la actual versión en idioma Español del 2008 conocida con la referencia ACI 318S-08.

Los requisitos contenidos en el Título C de la NSR-09 están basados en el documento “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-08) y Comentario” preparado por el Comité ACI 318 del American Concrete Institute, al cual se le han introducido modificaciones para adaptarlo al medio colombiano. La Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, creada por medio de la Ley 400 de 1997 y adscrita al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, obtuvo una autorización especial del American Concrete Institute para el uso y adaptación del documento ACI 318S-08 en el Título C de la NSR-09. El Título C de la NSR-09 proporciona los requisitos mínimos para cualquier diseño o construcción de concreto estructural en la República de Colombia.

El Título C de la NSR-09 actualiza el Título C correspondiente del Reglamento NSR-98. El Título incluye en un solo documento las reglas para todo el concreto usado con propósitos estructurales, incluyendo tanto el concreto simple como el concreto con refuerzo no preesforzado, con acero de preesforzado y secciones compuestas con perfiles o tuberías de acero.

El Título C. del Reglamento NSR-09 presenta, como un avance con respecto a los requisitos homólogos contenidos en el Reglamento anterior NSR-98, un Comentario explicativo. Únicamente lo designado como Reglamento tiene fuerza legal y es obligatorio. El Comentario no tiene fuerza legal. Para la distinción entre el Reglamento obligatorio y el Comentario explicativo se ha establecido una diagramación del texto en doble columna en la cual la columna de la izquierda corresponde al *Reglamento* obligatorio y la de la derecha al *Comentario* explicativo y así se indica en el encabezamiento de la columna. Todo el articulado del Reglamento está precedido de la letra C y todas las secciones del Comentario están precedidas de la letra CR

seguidas de la designación numérica del artículo correspondiente del Reglamento al cual hace referencia el Comentario.

A continuación nos referimos a los asuntos más relevantes contenidos en algunos de los Capítulos del Título C de la NSR-09 relacionados con las cimentaciones.

2 Capítulos

En el **Capítulo C.1 – Requisitos Generales** - se ha adoptado la misma filosofía contenida en el Reglamento ACI 318 sobre los requisitos de diseño para resistencia sísmica de una estructura determinados por la Categoría de Diseño Sísmico – CDS - asignada a la estructura. La CDS se refiere al nivel de amenaza sísmica, el tipo de suelo, la naturaleza de la ocupación y uso de la edificación y sólo se ha variado la terminología empleada cambiando la denominación de Categoría de Diseño Sísmico por Capacidad de Disipación de Energía.

El **Capítulo C-3- Materiales** – se actualizó aceptando agregados livianos y en cuanto al acero de refuerzo es de especial importancia la exigencia de que sólo se permite en el territorio colombiano acero corrugado de baja aleación fabricado bajo la norma NTC 2289 (ASTM A706M) y el refuerzo liso sólo se permite en estribos, refuerzo de retracción y temperatura o refuerzo en espiral y no puede utilizarse como refuerzo longitudinal a la flexión, excepto cuando conforma mallas electrosoldadas y deben cumplir con la norma NTC 161 (ASTM A615M) o con los requisitos para refuerzo corrugado mencionados. Por otra parte, también se permite el uso de pernos con cabeza para refuerzo de cortante.

En el **Capítulo C.7 – Detalles del Refuerzo** - se ajustaron los recubrimientos mínimos a lo que especifica el Código ACI 318, se determinó el recubrimiento para pernos con cabeza y se determinó algunos cambios en los requisitos para integridad estructural

En el **Capítulo C.8 – Análisis y Diseño** – Consideraciones generales – el módulo de elasticidad para el concreto se especificó según ACI 318 pero en los comentarios y a manera de guía se presentan los resultados de una serie de investigaciones nacionales realizadas en la Universidad Javeriana de Bogotá por medio de las cuales se lograron correlaciones estadísticas del Módulo de Elasticidad del concreto.

En el **Capítulo C.9 – Requisitos de resistencia y funcionamiento** – se presentan los factores de carga de las combinaciones de carga y los factores de reducción de resistencia del Reglamento ACI 318 los cuales fueron revisados y los cambios realizados para que los diseñadores puedan emplear un conjunto único de factores y combinaciones de carga y facilitar el diseño de estructuras de concreto que incluyan elementos de materiales diferentes al concreto.

En el **Capítulo C.11 – Cortante y torsión** – el diseño a cortante se basa en fuerzas de corte y se amplían las especificaciones y requerimientos para el diseño a torsión.

En el **Capítulo C.15 - Cimentaciones** – Contiene las disposiciones para usarse en el diseño de zapatas aisladas y, cuando sean aplicables, a zapatas combinadas, zapatas sobre pilotes, losas de cimentación, pilotes, cajones de cimentación, muros y estructuras de contención y vigas de amarre de cimentación. En consecuencia tiene las siguientes secciones:

- (a) Cargas y reacciones
- (b) Zapatas que soportan columnas o pedestales de forma circular o polígono regular
- (c) Momentos en zapatas
- (d) Cortante en zapatas
- (e) Desarrollo del refuerzo en zapatas
- (f) Altura mínima de las zapatas
- (g) Transmisión de fuerzas en la base de columnas, muros o pedestales reforzados
- (h) Zapatas combinadas y losas de cimentación
- (i) Pilotes y cajones de cimentación
- (j) Muros y estructuras de contención
- (k) Vigas de amarre de la cimentación

En el **Capítulo C.21 – Requisitos de diseño sismo resistente**, el tema de cimentaciones comprende las cimentaciones de estructuras asignadas a la capacidad especial de disipación de energía (DES) y los requisitos indicados en este Capítulo para pilotes, pilas excavadas, cajones de cimentación y losas sobre terreno complementan otros criterios de diseño y de construcción aplicables del Título C. A continuación nos referimos a los temas más relevantes:

- El refuerzo longitudinal de las columnas y muros estructurales que resisten las fuerzas inducidas por los efectos sísmicos deben extenderse dentro de la zapata, losa de cimentación o cabezal de pilotes y debe estar totalmente desarrollado por tracción en la interfaz. Por lo tanto, las columnas que sean diseñadas suponiendo condiciones de empotramiento en la cimentación, deben cumplir con los requisitos anteriormente mencionados y, si se requiere de ganchos de refuerzo longitudinal que resiste la flexión deben tener gancho de 90 grados cerca del fondo de la cimentación, con el extremo libre de las barras orientado hacia el centro de la columna.
- Las columnas o elementos de borde de los muros estructurales especiales de concreto reforzado que tengan un borde dentro de una longitud equivalente a la mitad de la profundidad de la zapata, deben tener refuerzo transversal colocado bajo la parte superior de la zapata. Este refuerzo debe extenderse dentro de la zapata, losa de cimentación o cabezal de pilotes y desarrollar en tracción f_y del refuerzo longitudinal.
- Cuando los efectos sísmicos crean fuerzas de levantamiento en los elementos de borde de los muros estructurales especiales de concreto reforzado o en las columnas, se debe proporcionar refuerzo de flexión en la parte superior de la zapata, losa de cimentación o cabezal de pilotes para que resistan combinaciones de carga de diseño y no puede ser menor de lo requerido en la sección de refuerzo mínimo.
- Las vigas sobre el terreno diseñadas para actuar como amarres horizontales entre las zapatas cabezales de pilotes deben tener refuerzo longitudinal continuo que debe desarrollarse dentro o más allá de la columna, o anclarse dentro de la zapata o el cabezal de pilotes en todas las discontinuidades.

- Las losas sobre terreno que resisten fuerzas sísmicas provenientes de los muros o columnas que son parte del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas deben diseñarse como diafragmas estructurales y los planos de diseño deben especificar claramente que la losa sobre el terreno es un diafragma estructural y es parte del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas
- Los pilotes, pilas o cajones de cimentación que resisten cargas de tracción deben tener refuerzo longitudinal continuo a lo largo de la zona que resiste fuerzas de tracción. El refuerzo de tracción debe detallarse para transferir las fuerzas de tracción del cabezal de los pilotes a los elementos estructurales soportados
- Los pilotes, pilas o cajones de cimentación deben tener refuerzo transversal de acuerdo con lo indicado en la sección correspondiente del refuerzo transversal de este Capítulo en las zonas definidas en (a) y (b):
 - (a) En la parte superior del elemento en por lo menos 5 veces la dimensión transversal del elemento, pero no menos que 1.8 metros por debajo de la parte inferior del cabezal del pilote
 - (b) Para las partes de los pilotes en suelos que no son capaces de proveer soporte lateral o están al aire o en agua, a lo largo de toda la longitud del tramo sin soporte mas el largo requerido en este Capítulo.

En el **Capítulo C.22 – Concreto estructural simple** – las estructuras con capacidad de disipación de energía especial (DES) no pueden tener elementos de cimentación en concreto simple, excepto para viviendas aisladas para una o dos familias de tres pisos o menos de altura con muros de carga de aparcamiento ligero y cimentación en zapatas.

El **Apéndice C-A – Modelos Puntal Tensor** – contiene disposiciones para el diseño de regiones cercanas a discontinuidades geométricas o cambios abruptos en las cargas.

El **Apéndice C-B – Disposiciones alternativas de diseños para elementos de concreto reforzado y preesforzado sometidos a flexión y a compresión** – contiene las disposiciones para los límites de refuerzo basados en la expresión 0.75 de la cuantía balanceada para la determinación de los factores de reducción de resistencia y/o para la distribución de los momentos que se encontraban en el Reglamento ACI 318 hasta la edición de 1999.

El **Apéndice C-C – Factores de carga y reducción de resistencia alternativos** – permite el uso de las combinaciones de mayoración de carga con los factores de carga dados en el Capítulo 9 de la edición de 1999 del Reglamento ACI 318

El **Apéndice C-E – Información acerca del acero de refuerzo**, y el **Apéndice C-F – Equivalencia entre el sistema SI, el sistema mks, y el sistema inglés de las ecuaciones no homogéneas del Reglamento**, cumplen con el objeto de su enunciado.

El **Apéndice C-G – Procedimiento alternativo de diseño a la flexión por el método de los esfuerzos admisibles** – contiene las disposiciones para un método alternativo de diseño para elementos de concreto no preesforzados empleando cargas y esfuerzos admisibles de servicio. Este procedimiento puede usarse en lugar de las secciones correspondientes del Título C.

3 Anexo

Se ha aprobado la inclusión, como anexo al Título C, del texto “**Requisitos Esenciales para Edificios de Concreto Reforzado (IPS-1)**” que es propiedad de la Asociación de Ingeniería Sísmica AIS, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC y el American Concrete Institute ACI.

4 Bibliografía

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS – Versión Preliminar “Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente” – Comité AIS-100 – Subcomité Concreto Estructural – Bogotá D. C., 2009.

American Concrete Institute – ACI – Comité 318 – “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-08) y Comentario” – Publicado en la República de Colombia por la Seccional Colombiana del Instituto Americano del Concreto bajo autorización del <American Concrete Institute. Bogotá D. C., 2008

James K. Wight and James G. MacGregor “Reinforced Concrete Mechanics and Design” – Fifth Edition – Pearson Prentice Hall – USA, 2009.

Nadim Hassoun and Akthem Al-Manaseer – “Structural Concrete” – Fourth Edition – John Wiley Sons -, Hoboken, New Jersey, 2008

Portland Cement Association “Notes on ACI 318-08 Building Code Requirements for Structural Concrete” – Stokie, Illinois, 2008.

David A. Fanella - “Seismic Detailing of Concrete Buildings” – Second Edition – Portland Cement Association, Stokie, Illinois, 2007.

Bogotá D. C., Mayo de 2009.
