

Requisitos Generales

En la edición 1995 del Código ACI 318 se introdujeron numerosos cambios de nomenclatura, empezando por el título del documento en el cual el término "Hormigón Armado" se reemplazó por "Hormigón Estructural," en reconocimiento del nuevo Capítulo 22 – Hormigón Estructural Simple. Antes del Código 1995, los requisitos de diseño y construcción para los elementos de hormigón simple estaban en un documento independiente, complementario de ACI 318, denominado ACI 318.1. Ahora los requisitos del Código ACI 318.1 han sido incorporados al Capítulo 22 de ACI 318.

1.1* CAMPO DE VALIDEZ

Como su nombre lo indica, la intención del *Código de Construcción para el Hormigón Estructural* (ACI 318-02) es que sea adoptado por referencia en los códigos generales de construcción, a fin de reglamentar el diseño y la construcción de las estructuras de hormigón. El artículo 1.1.1 enfatiza la intención y el formato del documento ACI 318, y su carácter de componente de un código de construcción general con vigencia legal. El Código ACI 318 no tiene ningún valor legal a menos que sea adoptado por una jurisdicción estatal o local con autoridad para reglamentar el diseño y la construcción de las estructuras de hormigón. También se reconoce que cuando el Código ACI pasa a formar parte de un código de construcción adoptado legalmente, dicho código general de construcción puede modificar algunos de los requisitos de ACI 318 para reflejar las condiciones y requerimientos locales. En las regiones para las cuales no existe ningún código de construcción general tampoco existe ninguna ley que transforme al ACI 318 en "el código." Para estos casos el código ACI define estándares mínimos aceptables para las prácticas de diseño y construcción, aunque las mismas no tengan valor legal.

En el artículo 1.1.1 de ACI 318-02 se ha agregado un nuevo requisito que especifica que la mínima resistencia a la compresión especificada del hormigón debe ser mayor o igual que 2500 psi. Este requisito también se ha incluido en 5.1.1. Aunque el comentario no explica porqué se incluyó este requisito, es probable que haya sido porque desde hace varias ediciones el NBC (*BOCA National Building Code*) y el SBC (*Standard Building Code*) contienen requisitos idénticos. Además, el IBC 2000 (*International Building Code 2000*) también especifica esta limitación.

También en el artículo 1.1.1 se agregó una frase que dice que "No habrá una resistencia a la compresión especificada (del hormigón) máxima aplicable, a menos que esté restringida por algún requisito específico del código." Esta frase se incluyó porque en muchas jurisdicciones, especialmente en el sur de California, se estaban imponiendo límites de hecho, no formales, para la resistencia del hormigón utilizado en las estructuras ubicadas en las regiones de peligrosidad sísmica elevada (Zonas Sísmicas 3 ó 4, según el UBC). El Comité 318 creyó que era aconsejable explicitar esta frase para hacerles saber a los encargados de reglamentar el diseño y la construcción que, cuando se introduce un nuevo código, siempre se consideran las limitaciones referidas a la resistencia del hormigón y que, a menos que la resistencia del hormigón esté específicamente

* Los números de las secciones y artículos corresponden a los de ACI 318-02.

limitada por otros requisitos de ACI 318, no es necesario establecer un límite superior máximo generalizado. El Comité revisa y ajusta la norma de forma permanente, considerando debidamente las propiedades del hormigón de alta resistencia.

A fin de reglamentar el diseño y la construcción, la mayoría de las jurisdicciones norteamericanas han adoptado uno de los tres códigos de construcción modelo siguientes. El NBC (*BOCA National Building Code*), publicado por la Building Officials Code Administrators International^{1.1}, es utilizado fundamentalmente en los estados del noreste; el SBC (*Standard Building Code*), publicado por la Southern Building Code Congress International^{1.2}, es utilizado fundamentalmente en los estados del sudeste, y el UBC (*Uniform Building Code*), publicado por la International Conference of Building Officials^{1.3}, es utilizado principalmente en las regiones centro y oeste de los Estados Unidos. Estos tres códigos modelo utilizan la norma ACI 318 para reglamentar el diseño y la construcción de los elementos estructurales de hormigón que forman parte de edificios u otras estructuras. El NBC y el SBC adoptan ACI 318 fundamentalmente por referencia, incorporando sólo los requisitos de construcción (Capítulos 4 a 7) de ACI 318 en forma directa dentro del Capítulo 19 de sus documentos. El UBC contiene la totalidad del ACI 318 en su Capítulo 19. Es fundamental que los diseñadores de estructuras de hormigón que trabajan en las jurisdicciones reglamentadas por el UBC consulten el Capítulo 19, ya que en este capítulo se modifican algunos requisitos de ACI 318 y se añaden algunos requisitos que reflejan, en la mayoría de los casos, requisitos más severos para el diseño sismorresistente. Para diferenciar claramente los requisitos del UBC que difieren de ACI 318, los párrafos del Capítulo 19 del UBC que difieren de ACI 318 están impreso en cursiva.

Muchos estados y jurisdicciones que formalmente han adoptado una edición anterior de alguno de los tres códigos modelo han adoptado o anunciado su intención de adoptar el IBC (*International Building Code*), desarrollado por el International Code Council^{1.4}. La edición 2000 (primera edición) del IBC adopta ACI 318-99 por referencia, aunque algunas partes de los Capítulos 3 – 7 de ACI 318 se han incluido en las Secciones 1903 – 1907 del IBC. Algunos de los requisitos de ACI 318 han sido modificados; estos requisitos modificados se distinguen porque el texto está impreso en cursiva. La Sección 1908 del IBC modifica algunos requisitos de otros capítulos de ACI 318. La mayoría de estas modificaciones surgieron de la necesidad de coordinar los requisitos de diseño sismorresistente de ACI 318 (Capítulo 21) con los requisitos de diseño sismorresistente del IBC, o bien del deseo de agregar sistemas estructurales de hormigón prefabricado para su uso en estructuras ubicadas en regiones de elevada peligrosidad sísmica o para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente elevado (Categorías de diseño sísmico D, E o F del IBC), las cuales no son cubiertas por ACI 318.

En el momento en que este trabajo está siendo enviado a la imprenta, se está completando el trabajo sobre un quinto código de construcción modelo. Este código está siendo desarrollado por la National Fire Protection Association (NFPA), y la publicación de su primera edición está programada para el verano del 2002. Aunque aún no ha finalizado su proceso de desarrollo, se anticipa que el código de la NFPA adoptará el ACI 318-02 por referencia, a fin de reglamentar el diseño y la construcción de estructuras de hormigón. Al igual que en el caso del IBC, este código incluirá algunas modificaciones a los requisitos de ACI 318 para poder coordinar los requisitos de diseño sismorresistente de ACI 318 (Capítulo 21) con los requisitos de diseño sismorresistente de ASCE 7, documento que el código de la NFPA adoptará por referencia para establecer sus requisitos sobre cargas estructurales.

Cualquiera sea el código modelo que determine el diseño, el ingeniero siempre debe verificar si hay alguna modificación o adición respecto de los requisitos para hormigón estructural del Código ACI 318.

Diseño sismorresistente – Los requisitos de diseño sismorresistente contenidos en los cuatro códigos modelo estadounidenses se basan en la edición 1991 del documento *NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings*.^{1.5} El NBC y el SBC han incorporado los requisitos recomendados por NEHRP en sus códigos, con relativamente pocas modificaciones. El UBC, publicado por la International Conference of Building Officials – organismo que tradicionalmente sigue los pasos de la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC), basa sus requisitos sismorresistentes en el documento *Recommended Lateral Force Requirements and Commentary*^{1.6} (el "Libro Azul" de la SEAOC), publicado por el Comité de Sismología de la SEAOC). La última edición de las recomendaciones de la SEAOC ha adoptado muchas de las características de los requisitos del NEHRP.

Los diseñadores deben ser conscientes de que existen importantes diferencias entre las metodologías de diseño del UBC y las del NBC y el SBC en cuanto al diseño sismorresistente. Aún con las diferentes metodologías de diseño, es importante destacar que tanto las estructuras diseñadas de acuerdo con los criterios de diseño sismorresistente del NBC o del SBC como aquellas diseñadas de acuerdo con el UBC tendrán un nivel de seguridad similar, y que los dos conjuntos de requisitos (NBC y SBC, o bien UBC) son esencialmente equivalentes.^{1.7}

Los requisitos para el diseño sismorresistente de la edición 2000 del IBC se basan en la edición 1997 del documento *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures*.^{1,8} Las principales diferencias entre los requisitos sismorresistentes del IBC y aquellos del NBC y el SBC, los cuales se basan en la edición 1991 del mismo documento NEHRP,^{1,5} incluyen:

1. Los mapas de movimiento sísmico del suelo de la edición 1991 fueron reemplazados por mapas de espectros de aceleración de respuesta para períodos de 0,2 segundos y 1,0 segundo.
2. Los mapas de 1991 contenían parámetros del movimiento del suelo determinados en base a una probabilidad del 10% de ser superados en un período de 50 años (es decir, para un periodo de recurrencia de aproximadamente 475 años). Los mapas de 1997 se basan en un sismo máximo considerado (MCE, Maximum Considered Earthquake), y para la mayoría de las regiones el movimiento correspondiente al máximo sismo considerado se define con una probabilidad de excedencia de 2% en 50 años (período de recurrencia de 2500 años).
3. Se revisaron los requisitos para los detalles de armado, que en la edición 1991 eran definidos en función del destino y las funciones de la estructura y del movimiento estimado de la roca; estos requisitos ahora incluyen los efectos de amplificación que producen los suelos blandos. Por este motivo, algunas estructuras construidas sobre suelos blandos que tradicionalmente eran consideradas de peligrosidad sísmica baja o moderada, ahora se deben armar para peligrosidad sísmica moderada o elevada, respectivamente.
4. En la edición 1991, al calcular el corte en la base de diseño para una estructura de período corto se ignoraban los efectos de amplificación que producen los suelos blandos. Ahora estos efectos se toman en cuenta, lo cual aumenta significativamente el corte en la base en el caso de las estructuras de período corto construidas en suelos blandos en áreas de baja peligrosidad sísmica.
5. Se introdujo un factor de confiabilidad / redundancia para las estructuras ubicadas en regiones de elevada peligrosidad sísmica. Esto se hizo para obligar a los diseñadores a hacer que el sistema resistente a los esfuerzos laterales de la estructura tenga un mayor grado de redundancia. El no hacerlo es penalizado por la obligación de utilizar un corte en la base más elevado.
6. Ahora todas las estructuras se deben diseñar para un corte mínimo en la base igual al 1% de la carga gravitatoria permanente total, y las demás cargas que se deben considerar parte de W a los fines de calcular el corte en la base. Tradicionalmente los códigos de construcción no requerían un diseño sismorresistente para las estructuras ubicadas en regiones en las cuales la peligrosidad sísmica es despreciable o muy baja (por ejemplo en la Zona Sísmica 0, SPCA). Este nuevo requisito significa que en las regiones en las cuales tradicionalmente el diseño sismorresistente no era aplicable (por ejemplo, sur de Florida y sur de Texas) los diseñadores deberán verificar que este requisito no controle el diseño del sistema resistente a los esfuerzos laterales. Es posible que el diseño del sistema resistente a los esfuerzos laterales de las estructuras de hormigón de grandes dimensiones, tales como los edificios para estacionamiento, o de las estructuras largas y angostas, tales como los hoteles y moteles, sea controlado por las solicitaciones sísmicas antes que por las solicitaciones provocadas por el viento.

La Referencia 1.9 presenta una comparación exhaustiva de las principales diferencias entre los requisitos de diseño sismorresistente del IBC 2000 y aquellos de los códigos NBC, SBC y UBC.

Diferencias entre las metodologías de diseño – El nivel de fuerza sísmica de diseño del UBC depende de la zona sísmica, del sistema estructural y del destino y funciones (ocupación) de la estructura. Estas consideraciones de diseño se utilizan para determinar un corte en la base de diseño. El corte en la base de diseño aumenta a medida que aumenta el nivel del movimiento sísmico anticipado del terreno. De manera similar, el corte en la base de diseño también aumenta a medida que aumenta el grado de funcionalidad requerido para una estructura durante una situación posterior a un desastre.

Al igual que en el caso del UBC, los requisitos del IBC, el NBC y el SBC aumentan el corte en la base de diseño a medida que aumenta el nivel del movimiento sísmico del terreno. En el NBC y el SBC esto no se hace aplicando un factor de zona sísmica Z , sino a través de un coeficiente A_v que representa la aceleración relacionada con la velocidad máxima o un coeficiente A_a que representa la aceleración máxima efectiva (las definiciones de estos términos se encuentran en el Comentario de los Requisitos NEHRP^{1,5}). Estos dos valores se presentan en mapas independientes que reemplazan al mapa

de zonificación sísmica del UBC. El NBC y el SBC utilizan una "categoría de comportamiento sismorresistente" (SPC, Seismic Performance Category) que toma en cuenta el nivel de sismicidad y el destino y funciones de la estructura. En vez de los mapas de A_a y A_v , el IBC tiene mapas de espectros de aceleración de respuesta para periodos de 0,2 segundos y 1,0 segundo. El IBC reemplaza la "categoría de comportamiento sismorresistente" del NBC y el SBC por una "categoría de diseño sismorresistente" (SDC, Seismic Design Category). Este cambio representa más que un cambio de terminología ya que, además de considerar el destino y funciones de la estructura y el movimiento estimado de la roca, también considera la modificación del movimiento del terreno debida a los efectos de amplificación de los suelos blandos. Muchos requisitos se especifican en base a la categoría de comportamiento o diseño sismorresistente de una estructura, como por ejemplo los límites para el desplazamiento lateral y los detalles de armado. Al igual que el UBC, los códigos IBC, NBC y SBC consideran en el diseño los efectos de la geología y las características del suelo del sitio de emplazamiento, junto con el tipo y la configuración del sistema estructural.

Otra diferencia importante entre los requisitos de la edición 1994 del UBC y los de los códigos IBC, NBC y SBC radica en la magnitud del corte en la base de diseño. Se debe destacar que las fuerzas de diseño sísmicas del IBC, el NBC y el SBC no se pueden comparar directamente con aquellas de la edición 1994 del UBC, ya que un conjunto de valores se basa en el diseño por resistencia y el otro se basa en el diseño por tensiones de trabajo o tensiones admisibles. Las fuerzas sísmicas de diseño del IBC, el NBC y el SBC corresponden al nivel de resistencia, mientras que las fuerzas sísmicas indicadas en los UBC anteriores a 1997 corresponden a niveles de carga de servicio. La diferencia se evidencia en la magnitud del coeficiente de modificación de la respuesta, habitualmente denominado factor "R". En los requisitos del IBC, el NBC y el SBC el término es R; en los UBC anteriores a 1997 es R_w , término en el cual el subíndice "w" designa fuerzas de diseño correspondientes a cargas "de trabajo" o de nivel de servicio. La diferencia también se evidencia en los factores de carga que se deben aplicar a las solicitaciones sísmicas (E). En el IBC, el NBC y SBC el factor de carga para las solicitaciones sísmicas es igual a 1,0. En los UBC anteriores a 1997, para el diseño de los elementos de hormigón armado, a las solicitaciones sísmicas se les aplica un factor de carga igual a 1,4. Por lo tanto, para el hormigón armado, para poder comparar el corte en la base calculado de acuerdo con un UBC anterior a 1997 con el corte en la base calculado de acuerdo con el IBC 2000, o de acuerdo con el NBC 1993, 1996 ó 1999, o de acuerdo con el SBC 1999, el diseñador deberá multiplicar el corte en la base según el UBC por 1,4.

La fuerza de diseño sísmico del UBC 1997 corresponde al nivel de resistencia y no al nivel de servicio. Esta modificación se logró reemplazando los anteriores factores de modificación de la respuesta, R_w , por factores R similares a los del NBC y el SBC. Como las combinaciones de cargas de la Sección 9.2 de ACI 318-95, reproducidas en la Sección 1909.2 del UBC 1997, se deben emplear junto con cargas correspondientes a nivel de servicio, el UBC tuvo que adoptar combinaciones de cargas basadas en la resistencia que se deben utilizar con esfuerzos sísmicos de nivel de resistencia. Por lo tanto, el UBC 1997 exige que, cuando un elemento de hormigón se diseña para esfuerzos sísmicos o sus solicitaciones, se utilicen las combinaciones de cargas basadas en la resistencia de la Sección 1612.2.1 del UBC. Estas combinaciones de cargas se basan en las combinaciones de cargas de ASCE 7-95.^{1,10} El UBC 1997 también requiere que, cuando un elemento de hormigón se diseña para esfuerzos sísmicos o sus solicitaciones usando las combinaciones de cargas del UBC, se multiplique por un factor igual a 1,1 para mayorar las resistencias requeridas. En su momento se pensó que este factor era necesario por la presumible incompatibilidad entre los factores de reducción de la resistencia de la Sección 9.3 de ACI 318 y las combinaciones de cargas de diseño de ASCE 7-95, las cuales fueron incorporadas al UBC 1997. Una vez que se realizaron algunos diseños sismorresistentes usando los requisitos del UBC 1997 se descubrió que el uso del factor 1,1 producía diseños extremadamente conservadores en comparación con el UBC 1994. En base a un estudio realizado para determinar si el uso de este factor era adecuado, el Comité de Sismología del SEAOC ha recomendado oficialmente no utilizarlo. Para mayor información sobre este tema consultar la Referencia 1.11.

La distribución en altura del corte en la base de un edificio también difiere entre el UBC y los códigos IBC, NBC y SBC, y no ha variado en el UBC entre 1994 y 1997. Para los edificios más bajos (período fundamental de vibración menor o igual que 0,7 segundos), el UBC indica que el corte en la base del edificio se debe distribuir en la totalidad de la altura, a nivel de cada entrepiso, de forma proporcional a los pesos y alturas de los niveles ubicados por encima de la base de la estructura (considerando el primer modo de vibración del edificio). En el caso de los edificios más altos (período fundamental de vibración mayor que 0,7 segundos), el corte en la base del edificio se divide en dos partes. La primera parte se aplica como una fuerza concentrada en la parte superior del edificio (para considerar los modos de vibración más elevados), siendo su magnitud proporcional al período fundamental de vibración del edificio, pero no es necesario que esta fuerza sea mayor que el 25% del corte en la base. El resto del corte en la base se distribuye de la misma manera especificada para los edificios más bajos. En el IBC, el NBC y el SBC, en cada nivel se aplica una fracción del corte en la base, fracción que es proporcional al producto entre el peso y la altura (respecto de la base) del nivel considerado elevado a la potencia k, siendo k un coeficiente

que depende del período del edificio. El IBC especifica $k = 1$ (distribución lineal de V) para $T < 0,5$ sec. Especifica $k = 2$ (distribución parabólica de V) para $T > 2,5$ sec. Cuando $0,5 \text{ sec.} < T < 2,5 \text{ sec.}$ hay dos opciones: interpolar entre una distribución lineal y una parabólica, hallando un valor de k comprendido entre 1 y 2 dependiendo del período, o bien utilizar una distribución parabólica ($k = 2$) que siempre será la opción más conservadora.

Por último, los detalles de armado o requisitos de ductilidad y tenacidad, los cuales se aplican a las estructuras ubicadas en regiones de peligrosidad sísmica elevada o a las estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente elevado, son similares en los tres códigos modelo. Estos requisitos son fundamentales para lograr estructuras que posean la capacidad de deformarse más allá del límite elástico y que puedan soportar numerosos ciclos de inversiones de cargas. Afortunadamente, para las estructuras de hormigón armado los cuatro códigos modelo adoptan la norma ACI 318, incluyendo el Capítulo 21 – Requisitos Especiales para el Diseño Sismorresistente. Sin embargo, los diseñadores deben consultar el código modelo vigente en su jurisdicción para determinar si contienen alguna modificación respecto de los requisitos de ACI 318. Las secciones o artículos del Capítulo 19 del UBC que difieren considerablemente del Código ACI están impresos en cursiva. El NBC y el SBC también incluyen algunas modificaciones, particularmente en relación con los requisitos para las estructuras de hormigón pretensado asignadas a las Categorías D o E. De manera similar, el IBC también incluye algunas modificaciones respecto de ACI 318 en su Sección 1908, la mayoría de las cuales se introdujeron para reconocer sistemas de hormigón prefabricado no cubiertos por el Capítulo 21 de ACI 318 y que se pueden utilizar en estructuras de Categorías D, E o F.

Sistema métrico – Una ley federal de 1988 establece al sistema métrico como el sistema de preferencia para los Estados Unidos. En julio de 1990, por orden del poder ejecutivo, se exigió que todas las agencias federales desarrollaran cronogramas específicos para su conversión al sistema métrico. Algunas agencias federales relacionadas con la construcción acordaron instituir el uso del sistema métrico antes de enero de 1994.

Las ediciones actuales de los cuatro códigos modelo utilizan tanto el sistema pulgada-pie como el Sistema Internacional. Los cuatro códigos presentan los valores métricos equivalentes (sistema de conversión llamado "*soft metric*"), generalmente entre paréntesis a continuación de las unidades inglesas.

Vale la pena mencionar que cuando se propuso la conversión al sistema métrico por primera vez, allá por los años 70, algunas de las organizaciones de normalización comenzaron a preparar ediciones de sus documentos más importantes pensando en nuevos productos adaptados al sistema métrico. El American Concrete Institute publicó una edición métrica de ACI 318, el Código ACI 318M-83. Actualmente el Código ACI 318 se puede adquirir como ACI 318-02 (productos correspondientes a unidades norteamericanas) o como ACI 318M-02 (productos correspondientes a unidades del SI). Durante este mismo período, la ASTM publicó versiones en sistema métrico de muchas de sus normas. Por ejemplo, se desarrollaron las Especificaciones A 615M y A 706M para las barras de acero utilizadas como armadura del hormigón, siendo estos documentos los equivalentes métricos de las normas A 615 y A 706. Las ediciones más antiguas de estas normas métricas contenían valores métricos redondeados (conversión "*hard metric*"). Debido al elevado costo que implica mantener dos inventarios, uno de barras correspondiente al sistema de unidades pulgada-pie y otro de barras correspondientes al sistema métrico, los fabricantes de barras convencieron a los encargados de las normas de que era necesario deshacerse de las normas "*hard metric*" y desarrollar normas métricas en base a la conversión de las dimensiones de las barras de las normas ASTM ("*soft metric*"). Las ediciones más recientes de las normas métricas de ASTM para barras de armadura reflejan esta filosofía. Debido a que todos los proyectos ejecutados con fondos federales se deben diseñar y construir usando el sistema métrico, en 1997 los fabricantes de barras decidieron que en vez de producir las mismas barras con dos sistemas de nomenclatura diferente para sus dimensiones y resistencia (pulgada-libra y métrico), comenzarían a producir barras con un único sistema de identificación, y que este sistema sería el sistema prescripto para las barras convertidas al sistema métrico. Es por este motivo que en la actualidad se utilizan barras de armadura con sus dimensiones y resistencia expresadas en sistema métrico en aplicaciones en las cuales fueron especificadas en unidades pulgada-libra. Es importante recordar que en este caso las barras son idénticas a las barras especificadas en el sistema pulgada-libra, excepto por la identificación de su tamaño y resistencia.

* El sistema de conversión "*soft metric*" consiste simplemente en asignarle a los productos las dimensiones métricas equivalentes, sin realizar ningún cambio físico en las dimensiones de los productos. El sistema de conversión "*hard metric*" implica redimensionar los productos para fabricarlos en nuevos tamaños, métricos y racionales.

La octava edición de las "Notas" se preparó en las unidades tradicionalmente utilizadas en los Estados Unidos. Debido en gran parte a la gran extensión de este documento, a diferencia de la mayoría de las publicaciones de la PCA, no se ha incluido ninguna conversión métrica.

1.1.6 Losas a nivel del plano de fundación

Las ediciones del Código anteriores a 1995 no explicitaban si las losas a nivel del plano de fundación, construidas directamente sobre el terreno, estaban cubiertas por el Código o no. En la edición 1995 de ACI 318 se las excluyó explícitamente "... a menos que la losa transmita cargas verticales de otras partes de la estructura al suelo." La edición de 1999 amplió el campo de validez, e incluyó aquellas que "... transmiten cargas verticales o *esfuerzos horizontales* de otras partes de la estructura al suelo." Las carpetas de fundación y otras losas construidas directamente sobre el terreno que ayudan a soportar las cargas verticales y/o transferir los esfuerzos horizontales de la estructura soportada al suelo se deben diseñar conforme a los requisitos aplicables del Código, específicamente los del Capítulo 15 – Zapatas y cabezales de pilotes. La metodología de diseño para una típica losa a nivel del plano de fundación difiere de la utilizada para otros elementos de hormigón, y se describe detalladamente en las Referencias 1.12 y 1.13. La Referencia 1.12 describe el diseño y la construcción de los pisos de hormigón construidos directamente sobre el terreno para edificios industriales, comerciales, y depósitos livianos y para construcciones industriales pesadas. La Referencia 1.13 contiene lineamientos para determinar el espesor de losa requerido para los pisos de hormigón construidos sobre el terreno utilizados en fábricas y depósitos pesados.

En 1999, además de las modificaciones incluidas en el artículo 1.1.6, en el Capítulo 21 – Requisitos Especiales para el Diseño Sismorresistente se introdujo una nueva Sección 21.8 – Fundaciones. Como en la edición 2002 del Capítulo 21 del Código se introdujeron nuevas secciones, ahora estos requisitos se encuentran en la Sección 21.10. El artículo 21.10.3.4 indica que "las losas a nivel del plano de fundación que resisten esfuerzos sísmicos provenientes de tabiques o columnas que forman parte del sistema resistente a los esfuerzos horizontales se deben diseñar como diafragmas estructurales de acuerdo con 21.9." Ahora que se encuentran en esta parte del Capítulo 21 estos requisitos se aplican solamente en las regiones de peligrosidad sísmica elevada o para las estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente elevado. En las regiones de peligrosidad sísmica baja o moderada, o en las estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente bajo o intermedio, en virtud del nuevo requisito incluido en el artículo 1.1.6, a las losas a nivel del plano de fundación se aplican los requisitos de los Capítulos 18 o del Capítulo 22 (ver Tabla 1-3).

1.1.8 Requisitos especiales para la resistencia a las solicitaciones sísmicas

A partir de la edición 1989, los requisitos especiales para el diseño sismorresistente están ubicados en el cuerpo principal del Código para asegurar que cuando una jurisdicción adopte el Código ACI como parte de su código de construcción general adopte también estos requisitos especiales para el diseño sismorresistente. Gracias al creciente interés a nivel nacional por lograr mejores diseños y comportamientos sismorresistentes, esta edición del Código continúa enfatizando el diseño sismorresistente. El Capítulo 21 representa los últimos conocimientos disponibles en cuanto a los detalles de diseño y armado para lograr un comportamiento adecuado ante eventuales solicitaciones sísmicas.

Si desea estudiar en profundidad el diseño de los edificios de hormigón armado sujetos a solicitaciones sísmicas, el diseñador puede consultar la Referencia 1.14. Este texto analiza el correcto diseño y armado de los edificios de hormigón armado sujetos a solicitaciones sísmicas de acuerdo con la edición 1994 del UBC. Incluye una comparación del diseño de los muros de cortante usando los procedimientos de diseño del UBC 1991 y los requisitos revisados del UBC 1994. Debido a que entre las ediciones de 1994 y 1997 del UBC se introdujeron importantes cambios como los descritos en párrafos precedentes, se desarrolló una publicación nueva, la Referencia 1.15. Este texto discute las principales diferencias entre los requisitos del UBC 1994 y el UBC 1997. Presenta el diseño y los detalles de armado para tres tipos diferentes de sistemas estructurales de hormigón, para solicitaciones sísmicas representativas de las regiones de peligrosidad sísmica elevada (Zonas Sísmicas 3 y 4). Aunque todos los ejemplos de diseño corresponden a regiones de peligrosidad sísmica elevada, uno de los capítulos discute los detalles de armado para las estructuras ubicadas en regiones de peligrosidad sísmica baja, moderada y elevada. También se ilustra el diseño de sistemas estructurales básicos resistentes a las cargas de viento. Al igual que en estas "Notas," este texto enfatiza "cómo aplicar" los diferentes requisitos del UBC más reciente.

La Referencia 1.16, publicada por la PCA, es un documento que complementa el texto descripto en el párrafo anterior; sin embargo, éste se centra en el diseño de los edificios de hormigón de acuerdo con las ediciones 1996 y 1997 del NBC y el

SBC, respectivamente. Como se mencionó anteriormente, los requisitos de diseño sismorresistente de las ediciones más recientes del NBC y el SBC son prácticamente idénticos, y se basan en la edición 1991 de las Recomendaciones NEHRP.^{1.5} Con las dos excepciones especificadas a continuación, este texto también es aplicable a las ediciones 1993 y 1999 del NBC, y a las ediciones 1994 y 1999 del SBC. La única diferencia entre los requisitos de carga del NBC de 1993 y los requisitos del NBC de 1996 y 1999 es que las combinaciones de cargas a utilizar para el diseño sísmico de acuerdo con la edición 1993 son idénticas a las que se deben utilizar de acuerdo con las tres ediciones del SBC. Pero las ediciones 1996 y 1999 del NBC adoptan por referencia las combinaciones de cargas de diseño por resistencia de ASCE 7-95.^{1.9} La segunda excepción es que, como se indica a continuación, las diferentes ediciones de los códigos adoptan diferentes ediciones de ACI 18.

Código Modelo	Edición	Edición de ACI 318 adoptada por el Código Modelo
NBC	1993	1989, Revisada en 1992
	1996	1995
	1999	1995
SBC	1994	1989
	1997	1995
	1999	1995
IBC	2000	1999
IBC	2003*	2002
NFPA 5000	2002*	2002

* Estos documentos no estaban completos en el momento de la publicación. Sin embargo, en base a la última información disponible, se anticipa que estos códigos harán referencia a ACI 318-02.

Como el diseño sismorresistente en las regiones en las cuales tradicionalmente se utilizaban el NBC o el SBC es una práctica relativamente nueva, la Referencia 1.16 será una importante fuente donde el ingeniero encontrará la información y los antecedentes necesarios. Debido a que la enorme mayoría de los edificios construidos en este país son de baja altura, el texto hace hincapié en este tipo de construcciones. A los fines de esta publicación, un edificio de baja altura se define como aquél que tiene menos de 65 pies de altura o que tiene un período fundamental de vibración menor que 0,7 segundos. Aunque no fue específicamente desarrollado para este propósito, la Referencia 1.16 también servirá como una valiosa fuente de información para los ingenieros que realizan sus diseños conforme a los requisitos del IBC.

Para ayudar a los diseñadores a comprender y utilizar mejor los requisitos especiales del Capítulo 21 del Código, la PCA ha desarrollado una publicación titulada *Seismic Detailing of Concrete Buildings*.^{1.17} Este texto contiene numerosas tablas y figuras que ilustran los requisitos para las construcciones ubicadas en regiones de peligrosidad sísmica moderada o elevada – Categorías C, D, E y F del IBC. Aunque está basado en la edición 1999 del Código, a la cual hace referencia el IBC 2000, la mayoría de los requisitos también son aplicables a ACI 318-02.

1.1.8.1 Estructuras para las cuales el riesgo sísmico es bajo – Para las estructuras de hormigón ubicadas en regiones de peligrosidad sísmica baja, o para aquellas para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente bajo (riesgo de daños bajo o inexistente), no hay requisitos de diseño ni detalles de armado especiales; por lo tanto se deben aplicar los requisitos generales del Código, excepto los del Capítulo 21. Se considera que las estructuras de hormigón dimensionadas en base a los requisitos generales del Código tienen un nivel de tenacidad adecuado para movimientos sísmicos de baja intensidad.

El diseñador siempre debe tener en cuenta que los requisitos generales del Código incluyen algunos requisitos que específicamente pretenden mejorar la tenacidad, con el objetivo de aumentar la resistencia de las estructuras de hormigón solicitadas por cargas sísmicas u otras cargas catastróficas o extraordinarias. Por ejemplo, cuando una viga forma parte del sistema resistente a los esfuerzos laterales de una estructura, una parte de la armadura para momento positivo se debe anclar en los apoyos de manera tal que desarrolle su tensión de fluencia (ver 12.11.2). De manera similar, en ciertos tipos de nudos viga-columna se debe proveer armadura transversal (ver 11.11.2). Otros requisitos de diseño introducidos después de la publicación del Código de 1971, tales como los requisitos de armadura mínima de corte (ver 11.5.5) y los detalles para el anclaje y empalme de las armaduras (Capítulo 12), también aumentan la tenacidad y la capacidad de una estructura de hormigón para soportar las cargas reversibles provocadas por los movimientos sísmicos. A partir de la edición 1989 del Código se agregaron requisitos sobre la armadura especial requerida para lograr integridad estructural (ver 7.13), cuyo

objetivo es mejorar la integridad global de una estructura de hormigón en caso que se produzcan daños en un elemento estructural principal o que la estructura sea solicitada por cargas extraordinarias.

1.1.8.2 Estructuras para las cuales el riesgo sísmico es moderado o elevado – Para las estructuras de hormigón ubicadas en regiones de peligrosidad sísmica moderada, o para aquellas para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente intermedio (riesgo de daños moderado), la Sección 21.12 incluye ciertos detalles de armado que se suman a los indicados en los Capítulos 1 a 18 y que son aplicables a los pórticos de momento de hormigón armado (sistemas aporticados) que deben resistir solicitaciones sísmicas. Para reflejar la terminología que se utiliza en los códigos modelo desde hace al menos diez años, los pórticos detallados de acuerdo con la Sección 21.12 ahora se denominan *Pórticos de Momento Intermedios*. Estos detalles de armado "intermedios" servirán para lograr un nivel de comportamiento inelástico adecuado si el pórtico es solicitado por un sismo de una magnitud tal que exija su comportamiento inelástico. No hay otros requisitos de diseño ni detalles de armado aparte de los indicados en los Capítulos 1 a 18 para otros componentes estructurales de las estructuras para las cuales el riesgo sísmico es moderado (incluyendo los tabiques estructurales o muros de cortante), ya sea que se consideren parte del sistema resistente a las solicitaciones sísmicas o no. Se considera que los tabiques estructurales dimensionados en base a los requisitos generales del Código tienen un nivel de tenacidad suficiente para los desplazamientos laterales que se anticipan en las regiones de sismicidad moderada.

El tipo de sistema estructural resistente a las cargas sísmicas provisto en una estructura para la cual el riesgo sísmico es moderado determinará si es necesario incorporar algún tipo de detalle de armado especial.

Si el sistema resistente a las cargas laterales está compuesto por pórticos de momento, se deben utilizar los requisitos de la Sección 21.12 correspondientes a *Pórticos de Momento Intermedios* y también los del artículo 21.2.2.3. Observar que aún cuando una combinación de cargas que incluye los efectos del viento (ver 9.2.1), y no una que incluye los efectos sísmicos, determina el diseño, igualmente se deben respetar los detalles de armado intermedios para asegurar que los pórticos resistentes al momento tengan un cierto nivel de tenacidad. Ya sea que los esfuerzos sísmicos especificados determinen el diseño o no, los pórticos constituyen la única defensa contra los efectos provocados por un movimiento sísmico.

Para el caso de un sistema estructural en el cual se combinan pórticos y tabiques estructurales, la inclusión de los detalles intermedios dependerá de cómo las cargas sísmicas se "asignan" a los tabiques y pórticos. Si la totalidad de los esfuerzos sísmicos se asignan a los tabiques estructurales, para los pórticos no se requieren los detalles de armado indicados en 21.12. Si en el análisis se considera la interacción pórtico-tabique, es decir si parte de los esfuerzos sísmicos han de ser resistidos por los pórticos, entonces los detalles indicados en 21.12 son necesarios para rigidizar los pórticos del sistema dual. Tradicionalmente los códigos modelo han considerado que un sistema es dual cuando los pórticos de momento pueden resistir como mínimo el 25% de los esfuerzos laterales de diseño. Si los tabiques estructurales resisten la totalidad de los efectos de las cargas gravitatorias y laterales no es necesario considerar los detalles intermedios; se deben aplicar los requisitos generales del Código.

En las estructuras de hormigón ubicadas en regiones de peligrosidad sísmica elevada, o en aquellas para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente elevado (riesgo de daños elevado), todos los elementos estructurales deben satisfacer los requisitos de dimensionamiento y detalles especiales indicados en el Capítulo 21 (excepto la Sección 21.12). Aunque para los fines del diseño algunos de los elementos del pórtico no se consideran parte del sistema resistente a los esfuerzos laterales, igualmente se deben respetar ciertas consideraciones especiales para el dimensionamiento y los detalles de estos elementos (ver 21.11). La intención de los requisitos especiales para el diseño sismorresistente del Capítulo 21 es lograr estructuras de hormigón armado monolíticas que tengan una tenacidad adecuada para responder de manera inelástica frente a movimientos sísmicos severos.

A diferencia de las ediciones anteriores del Código, la edición 2002 trata específicamente los sistemas de hormigón prefabricado que se utilizarán en regiones de peligrosidad sísmica moderada o elevada, o en estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente intermedio o elevado. Los pórticos de momento especiales pueden ser hormigonados en obra o contruidos de elementos prefabricados. Los pórticos de momento especiales de elementos de hormigón prefabricado deben satisfacer todos los requisitos para los pórticos hormigonados en obra (21.2 a 21.5) más los requisitos los indicados en 21.6. Además, deben satisfacer los requisitos para pórticos de momento ordinarios (Capítulos 1 a 18). Como no hay ningún requisito específico para los pórticos de momento intermedios contruidos de elementos prefabricados, los pórticos que forman parte de una estructura ubicada en una región de peligrosidad sísmica moderada o para la cual se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente intermedio deben ser pórticos de momento especiales o bien deben ser evaluados conforme a los requisitos de comportamiento del artículo 21.2.1.5. En el

Código 2002 se revisó la definición correspondiente a "pórtico de momento ordinario" para aclarar que estos pórticos pueden ser hormigonados en obra o contruidos de elementos prefabricados, y que en cualquiera de estos casos deben satisfacer los requisitos de los Capítulos 1 a 18.

Se han agregado dos nuevos tipos de tabiques estructurales prefabricados: los tabiques estructurales prefabricados intermedios y los tabiques estructurales prefabricados especiales. Los tabiques estructurales prefabricados intermedios deben satisfacer los requisitos de los Capítulos 1 a 18, además de los requisitos de la Sección 21.13. La Sección 21.13 no se ocupa del tabique en sí, sino de las uniones entre los paneles individuales y de las uniones entre los paneles y la fundación. Si se utilizan paneles de tabique prefabricados para resistir esfuerzos sísmicos horizontales en regiones de peligrosidad sísmica moderada o en estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente intermedio, éstos deben satisfacer ya sea los requisitos para tabiques estructurales prefabricados intermedios o bien los requisitos para tabiques estructurales prefabricados especiales. Un tabique formado por elementos prefabricados diseñado de acuerdo con los requisitos de los Capítulos 1 a 18 pero que no satisface ninguno de estos conjuntos de requisitos solamente se puede utilizar en estructuras ubicadas en regiones de peligrosidad sísmica baja o en estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente bajo.

Los tabiques estructurales prefabricados especiales deben satisfacer los requisitos de los Capítulos 1 a 18, además de los de las Secciones 21.2, 21.7, 21.13.2 y 21.13.3. Si se utilizan paneles de tabique prefabricados para resistir esfuerzos sísmicos horizontales en regiones de peligrosidad sísmica elevada o en estructuras para las cuales se requiere un nivel de comportamiento o diseño sismorresistente elevado, éstos deben satisfacer los requisitos para tabiques estructurales prefabricados especiales.

En la Tabla 1-1 se resumen los requisitos de dimensionamiento y los detalles de armado especificados en ACI 318 para los sistemas estructurales de hormigón armado que resisten esfuerzos laterales.

Tabla 1-1 – Secciones del Código que se deben satisfacer

Componente que resiste esfuerzos sísmicos, a menos que se especifique lo contrario		Nivel de peligrosidad sísmica o Categoría de comportamiento o diseño sísmico, según lo definido en la sección del Código indicada		
		Bajo 21.2.1.2	Intermedio 21.2.1.3	Elevado 21.2.1.4
Elementos que forman parte de un pórtico	Hormigonado en obra	Cap. 1-18	Cap. 1-18, 21.2.2.3, 21.12	Cap. 1-18, 21.2-21.5
	Prefabricado	Cap. 1-18	Nota 1	Cap. 1-18, 21.2-21.6
Tabiques estructurales y vigas de acoplamiento	Hormigonado en obra	Cap. 1-18, o Cap. 22	Cap. 1-18	Cap. 1-18, 21.2-21.7
	Prefabricado	Cap. 1-18, o Cap. 22	Cap. 1-18, 21.13	Cap. 1-18, 21.2, 21.7, 21.8
Diafragmas estructurales		Cap. 1-18	Cap. 1-18	Cap. 1-18, 21.2, 21.9
Fundaciones		Cap. 1-18, o Cap. 22	Cap. 1-18	Cap. 1-18, 21.2, 21.10
Elementos que forman parte de un pórtico pero que se asume que no resisten esfuerzos sísmicos		Cap. 1-18	Cap. 1-18	Cap. 1-18, 21.11

Nota 1: No hay requisitos específicos para la construcción de pórticos de momento intermedios con elementos prefabricados. Ver 21.2.1.5.

1.1.8.3 Nivel de Peligrosidad Sísmica especificado en el Código de Construcción General –

Tradicionalmente este código ha diferenciado entre peligrosidad sísmica "baja," "moderada" o "elevada." La definición exacta de los niveles de peligrosidad sísmica está bajo la jurisdicción del código de construcción general y se asignan por zonas (que dependen de la intensidad del movimiento del terreno). Los códigos modelo especifican cuáles secciones del Capítulo 21 se deben satisfacer en función del nivel de peligrosidad sísmica. A modo de guía, en ausencia de requisitos específicos en el código de construcción general, los niveles de peligrosidad sísmica se correlacionan con las zonas sísmicas de la siguiente manera:

<u>Nivel de Peligrosidad Sísmica</u>	<u>Zona Sísmica</u>
Bajo	0 y 1
Moderado	2
Elevado	3 y 4

Esta correlación de los niveles de peligrosidad sísmica y las zonas sísmicas se refiere al UBC.^{1.3}

Sin embargo, a partir de la adopción de los Requisitos NEHRP 1991 en el NBC y el SBC, el diseñador tendrá que consultar el código modelo vigente para determinar el nivel de peligrosidad sísmica y los correspondientes requisitos especiales para el diseño sismorresistente. El NBC, el SBC y los Requisitos NEHRP 1991, sobre los cuales se basan los requisitos de diseño sismorresistente de ambos códigos modelo, asignan una estructura a una Categoría de Comportamiento Sísmico determinada. La Categoría de Comportamiento Sísmico expresa el riesgo en términos de la naturaleza y el destino del edificio, y del movimiento estimado de la roca en el sitio de emplazamiento. Para determinar la Categoría de Comportamiento Sísmico de una estructura primero es necesario determinar su Grupo de Riesgo Sísmico. Las instalaciones esenciales se asignan al Grupo III, los edificios utilizados para reuniones públicas y otras estructuras en las cuales habrá muchos ocupantes se asignan al Grupo II. Los edificios y demás estructuras no asignadas a los Grupos II o III se consideran parte del Grupo I (para una definición más precisa de estos Grupos de Riesgo Sísmico, ver el código vigente). El siguiente paso consiste en determinar el coeficiente de aceleración máxima relacionado con la velocidad, A_v , que se obtiene de un mapa que forma parte del NBC y el SBC. Una vez que se tienen estos dos elementos se puede determinar la Categoría de Comportamiento Sísmico con ayuda de una tabla incluida en el código vigente que es similar a la Tabla 1-2, la cual se ha tomado de los Requisitos NEHRP.

Tabla 1-2 – Categorías de Comportamiento Sísmico^{1.5}

Valor de A_v	Grupo de Riesgo Sísmico		
	I	II	III
$A_v < 0,05$	A	A	A
$0,05 \leq A_v < 0,10$	B	B	C
$0,10 \leq A_v < 0,15$	C	C	C
$0,15 \leq A_v < 0,20$	C	D	D
$0,20 \leq A_v$	D	D	E

La edición 2000 del IBC,^{1.4} cuyos requisitos de diseño sismorresistente se basan en los Requisitos NEHRP 1997,^{1.8} expresan la peligrosidad sísmica de manera similar al NBC y al SBC, pero con una diferencia significativa. Para determinar el riesgo sísmico el IBC también considera los efectos de amplificación de los suelos blandos. El parámetro utilizado en el IBC para asignar el riesgo sísmico, para determinar los detalles de armado y otros requisitos es la Categoría de Diseño Sísmico. La Categoría de Diseño Sísmico de un edificio se determina de manera similar a la Categoría de Comportamiento Sísmico del NBC y el SBC. Primero el edificio se asigna a un Grupo de Uso Sísmico, que es igual al Grupo de Riesgo Sísmico del NBC y el SBC. A partir de este punto el procedimiento del IBC es más complejo. En vez de determinar un valor anticipado para el movimiento del terreno en base a una tabla, se determinan dos valores del espectro de aceleración de respuesta, uno para un período corto (0,2 segundos) y el otro para un período de 1 segundo. Luego estos factores se ajustan para considerar los efectos del tipo de suelo y se multiplican por dos tercios para obtener los valores de la aceleración de diseño. Conociendo el

Grupo de Uso Sísmico y la aceleración de diseño, para determinar la Categoría de Diseño Sísmico en base a cada uno de los valores de diseño se ingresa a dos tablas diferentes. Si las Categorías de Diseño Sísmico obtenidas son diferentes, la determinante es la mayor.

A modo de guía, a los fines de determinar el campo de aplicación de los requisitos de diseño y los detalles de armado especiales, la Tabla 1-3 muestra la correlación entre las zonas sísmicas del UBC; las Categorías de Comportamiento Sísmico del NBC, el SBC y los Requisitos NEHRP 1991; y las Categorías de Diseño Sísmico del IBC 2000 y los Requisitos NEHRP 1997.

Tabla 1-3 – Comparación de los Niveles de Peligrosidad Sísmica de ACI 318 con los de otros códigos y normas

Código, norma o documento fuente y año de edición	Nivel de peligrosidad sísmica o Categoría de comportamiento o diseño sísmico, según lo definido en la sección del Código indicada		
	Bajo (21.2.1.2)	Moderado / Intermedio (21.2.1.3)	Elevado (21.2.1.4)
<i>NBC</i> 1993, 1996, 1999	SPC ¹ A, B	SPC C	SPC D, E
<i>SBC</i> 1994, 1997, 1999	SPC A, B	SPC C	SPC D, E
<i>UBC</i> 1991, 1994, 1997	Zona Sísmica 0, 1	Zona Sísmica 2	Zona Sísmica 3, 4
<i>IBC</i> 2000, 2003	SDC ² A, B	SDC C	SDC D, E, F
<i>ASCE</i> ³ 7-93, 7-95	SPC ¹ A, B	SPC C	SPC D, E
<i>NEHRP</i> ⁴ 1991, 1994	SPC ¹ A, B	SPC C	SPC D, E
<i>ASCE</i> ³ 7-98, 7-02	SDC ² A, B	SDC C	SDC D, E, F
<i>NEHRP</i> ⁵ 1997	SDC ² A, B	SDC C	SDC D, E, F

1. SPC = Categoría de Comportamiento Sísmico según lo definido por el código, la norma o el documento fuente.
2. SDC = Categoría de Diseño Sísmico según lo definido por el código, la norma o el documento fuente.
3. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.*
4. *NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings.*
5. *NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures.*

1.2 DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

Para que el diseño ideado por el ingeniero se pueda materializar adecuadamente es necesario que la documentación técnica contenga toda la información necesaria. Hace ya muchas ediciones que el Código incluye un listado de los ítems que deben figurar en la documentación técnica.

1.2.1 Información que debe incluir la documentación técnica

La información que debe incluir la documentación técnica prácticamente no ha variado con respecto al Código de 1999. Sin embargo, se ha agregado un ítem "e" que exige que los anclajes estén indicados en los planos de obra. Estos planos deben incluir toda la información de los anclajes necesaria para permitir su instalación con la profundidad de empotramiento y las distancias a los bordes que el ingeniero supuso para el diseño. Además, si en el diseño se utilizó "armadura suplementaria" (ver la definición correspondiente en la Sección D.1), se debe indicar la ubicación de dicha armadura con respecto a los anclajes.

1.3 INSPECCIÓN

El Código ACI requiere que las construcciones de hormigón sean inspeccionadas de acuerdo con lo exigido por el código de construcción general legalmente vigente. Si el código de construcción general vigente no contiene requisitos de inspección, o en regiones en las cuales no se ha adoptado ningún código de construcción, los requisitos de la Sección 1.3 pueden servir

de guía para lograr un nivel de inspección aceptable. Si el código de construcción vigente no contiene requisitos de inspección o si no se ha adoptado ningún código, las construcciones de hormigón, como mínimo, deben ser inspeccionadas por un profesional matriculado, por una persona bajo la supervisión de un profesional matriculado, o por un inspector calificado. Si una persona dice estar calificado para realizar estas inspecciones, se le debería exigir que demuestre su competencia obteniendo una certificación apropiada. Diferentes organizaciones han establecido programas de certificación voluntarios para los inspectores de las construcciones de hormigón, entre ellas ACI, BOCA, ICBO y SBCCI. Es posible que existan otros programas de certificación similares.

Los cuatro códigos modelo adoptados en Estados Unidos para reglamentar el diseño y la construcción exigen diferentes grados de inspección. Sin embargo, estos requisitos de tipo administrativo generalmente son modificados o enmendados cuando la jurisdicción local decide adoptar el código. El ingeniero debe consultar los requisitos de inspección específicos indicados en el código de construcción general legalmente vigente en la jurisdicción donde se encuentra la obra.

Además de las inspecciones periódicas arriba mencionadas, es posible que se requieran inspecciones por parte de inspectores especiales (ver la discusión sobre el artículo 1.3.5). El ingeniero debe consultar al código de construcción local o bien a las autoridades locales para investigar si dentro de la jurisdicción donde se construirá la obra existen requisitos de inspección especiales. El grado de inspección y la responsabilidad por la inspección deben ser explicitados en la documentación técnica. Sin embargo, se debe observar que la mayoría de los códigos que exigen inspecciones especiales no permiten que el contratista de la obra contrate al inspector especial. Habitualmente especifican que el inspector especial debe ser contratado por el propietario. Por este motivo, si la frecuencia y el tipo de inspecciones se especifica en la documentación contractual del proyecto, se debe aclarar que los costos que ocasionarán estos servicios no están incluidos en la oferta del contratista general.

1.3.4 Registros de inspección

Los inspectores y las agencias de inspección deben estar familiarizados con el artículo 1.3.4. Los registros de inspección se deben conservar hasta dos años después de finalizado un proyecto, o un tiempo más prolongado si así lo exige el código de construcción legalmente adoptado. El objetivo de conservar los registros de inspección hasta dos años después de finalizado un proyecto es asegurar que los registros estarán disponibles si surgen disputas o diferencias referidas a la calidad del trabajo o a cualquier violación de la documentación técnica posteriores a la aceptación por parte del propietario o a la emisión de un certificado de finalización de obra.

1.3.5 Inspecciones especiales

Se requieren inspecciones continuas durante la colocación de toda la armadura y el hormigón de los pórticos de momento especiales (sistemas de vigas y columnas) que resistirán esfuerzos de origen sísmico ubicados en una región de peligrosidad sísmica elevada o en aquellos asignados a una categoría de comportamiento o diseño sismorresistente elevada. Los pórticos de momento especiales hormigonados en obra deben satisfacer los requisitos de las Secciones 21.2 a 21.5. Los pórticos de momento especiales contruidos con elementos de hormigón prefabricado deben satisfacer, además, los requisitos adicionales especificados en la Sección 21.6. La Tabla 1-3 muestra cómo los códigos modelo usados en Estados Unidos asignan la peligrosidad o el riesgo sísmico. El Código estipula que las inspecciones deben ser realizadas por un inspector calificado bajo la supervisión del ingeniero responsable por el diseño estructural o bajo la supervisión de un ingeniero que posee una capacidad comprobada en la inspección de pórticos de momento especiales resistentes a esfuerzos sísmicos ubicados en zonas de peligrosidad sísmica elevada o en estructuras asignadas a categorías de comportamiento o diseño sísmico elevadas. El artículo R.1.3.5* indica que la calificación de los inspectores debe ser aceptable para la jurisdicción que ha adoptado el código general de construcción.

Este requisito se basa en requisitos similares contenidos en el NBC, el IBC, el SBC y el UBC; en estos documentos estas inspecciones se denominan como "inspecciones especiales." El inspector especialmente calificado debe "demostrar su competencia para realizar la inspección del tipo particular de construcción que motiva la inspección especial." La Sección 1.3 contiene información sobre programas de certificación voluntarios para los inspectores especiales. El inspector especial tiene los siguientes deberes y responsabilidades:

* Los números correspondientes a las secciones y artículos del Comentario son precedidos por una "R" (por ejemplo, R1.3.5 se refiere a la Sección R1.3.5 del Comentario)

1. Observar el trabajo para verificar que cumpla con la documentación técnica aprobada.
2. Entregar informes de inspección a la autoridad competente, al ingeniero o arquitecto responsable, y a las demás personas designadas.
3. Presentar un informe de inspección final indicando si el trabajo cumple con la documentación técnica aprobada y si los métodos constructivos empleados son aceptables.

Hace tiempo que el requisito que exige la realización de inspecciones especiales por parte de un inspector especialmente calificado existe en el UBC; sin embargo, en el NBC y el SBC es un requisito relativamente nuevo. Con la adopción por parte del IBC, el NBC y el SBC de los requisitos sismorresistentes de NEHRP, estas inspecciones especiales cobran particular importancia. Una parte integral de los requisitos de NEHRP es la exigencia de contar con inspecciones especiales para los sistemas resistentes a los esfuerzos sísmicos de los edificios asignados a categorías de comportamiento o diseño sísmico elevadas.

Por definición, una inspección especial por parte de un inspector especial implica una inspección continua de la construcción. Para las construcciones de hormigón se requiere una inspección especial durante la colocación de todas las armaduras, durante la toma de muestras del hormigón usado para fabricar las probetas para los ensayos de resistencia, y durante las operaciones de colocación del hormigón. No es necesario que el inspector especial presencie todo el proceso de colocación de las armaduras, siempre que antes de colocar el hormigón realice una inspección de la armadura ya colocada. Generalmente no se exigen inspecciones especiales en ciertas obras, cuando las autoridades determinan que la construcción es de naturaleza menor y que no existe ningún riesgo para la seguridad pública. Tampoco se requieren inspecciones especiales para los elementos de hormigón prefabricado producidos bajo condiciones de control en planta, siempre que la planta haya sido autorizada previamente por la autoridad competente para realizar estos trabajos sin inspecciones especiales.

Otro requisito de "inspección" del IBC y el UBC que no forma parte del NBC ni del SBC es el relacionado con el concepto de "observación de la estructura." De acuerdo con el UBC, se requiere la observación de la estructura para los edificios ubicados en regiones de peligrosidad sísmica elevada (Zona Sísmica 3 o 4). De acuerdo con el UBC, también se requiere para las estructuras de mayor importancia asignadas a las categorías de diseño sísmico D, E o F, o ubicadas en una región en la cual la velocidad básica del viento es mayor que 110 millas por hora (velocidad de ráfagas de 3 segundos). De acuerdo con el UBC, el propietario debe contratar al ingeniero o arquitecto responsable por los trabajos de diseño estructural, o a otro ingeniero o arquitecto designado por el ingeniero o arquitecto responsable por el diseño estructural, para que realice una observación visual del sistema estructural en ciertas etapas significativas del proceso constructivo y después de su finalización, para verificar la conformidad general con los planos y especificaciones técnicas aprobados. De acuerdo con el IBC, se puede contratar a cualquier profesional del diseño matriculado calificado para que realice las observaciones de la estructura. Una vez completado el proyecto, y antes de emitir el certificado de finalización de obra, el ingeniero o arquitecto debe presentar a la autoridad competente una declaración por escrito indicando que se han realizado visitas a la obra, y describiendo cualquier deficiencia que no hubiera sido corregida.

En vista del creciente interés por inspeccionar las nuevas construcciones en Estados Unidos, particularmente aquellas ubicadas en regiones de peligrosidad sísmica elevada, se aconseja al diseñador que revise los requisitos de inspección especificados por el código general de construcción vigente, y que determine con exactitud cuál es la función del ingeniero en las inspecciones a realizarse durante la etapa constructiva.

REFERENCIAS

- 1.1 *The BOCA National Building Code*, Building Officials and Code Administrators International, Country Club Hills, IL, 1999.
- 1.2 *Standard Building Code*, Southern Building Code Congress International, Birmingham, AL, 1999.
- 1.3 *Uniform Building Code*, International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 1997.
- 1.4 *International Building Code*, Edición 2000, International Code Council, Inc., Falls Church, VA, 2000.
- 1.5 *NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings, Part 1 – Provisions, Part 2 – Commentary*, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., 1991.
- 1.6 *Recommended Lateral Force Requirements and Commentary*, Structural Engineers Association of California, San Francisco, CA, 1999.
- 1.7 *Report and Findings – Uniform Building Code Provisions Compared With the NEHRP Provisions*, preparado para el National Institute of Standards and Technology, International Conference of Building Officials, Whittier, CA, Julio 1992.
- 1.8 *NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Part 1 – Provisions, Part 2 – Commentary*, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., 1997.
- 1.9 Ghosh, S.K., *Impact of the Seismic Design Provisions of the International Building Code*, Structures and Code Institute, Northbrook, IL, 2001 (PCA Publication LT254).
- 1.10 American Society of Civil Engineers (1995), *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, ASCE7-95 Standard, ASCE, New York, NY.
- 1.11 Ghosh, S. K. (1998), “Design of Reinforced Concrete Buildings Under the 1997 UBC,” *Building Standards*, Mayo/Junio 1998, pp. 20-24.
- 1.12 *Concrete Floors on Ground*, Publication EB075.03D, Portland Cement Association, Skokie, IL, Revisado 1997.
- 1.13 *Slab Thickness Design for Industrial Concrete Floors on Grade*, Publication IS195.01D, Portland Cement Association, Skokie, IL, Revised 1996.
- 1.14 Ghosh, S. K. Domel, A. W. Jr., y Fanella, D. A., *Design of Concrete Buildings for Earthquake and Wind Forces*, Publication EB113.02D, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1995.
- 1.15 Fanella, D. A., y Munshi, J. A., *Design of Concrete Buildings for Earthquake and Wind Forces According to the 1997 Uniform Building Code*, Publication EB17.02D, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1998.
- 1.16 Fanella, D. A. y Munshi, J. A., *Design of Low-Rise Concrete Buildings for Earthquake Forces*, Publication EB004:02D, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1998.
- 1.17 Fanella, D.A., *Seismic Detailing of Concrete Buildings*, Publication SP382, Portland Cement Association, Skokie, IL, 2000.