



APRUEBA REGLAMENTO QUE FIJA EL DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS

Santiago, 5 de noviembre de 2010.- Hoy se decretó lo que sigue:

Núm. 117.- Visto: La Ley 16.391, en especial lo dispuesto en su artículo 2° número 3; el D.L. N° 1.305, de 1975, en su artículo 4°; lo previsto en los artículos 2°, 105 y 106, del D.F.L. N° 458, de 1975, Ley General de Urbanismo y Construcciones; la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, aprobada por D.S. N° 47 (V. y U.), de 1952; la Norma Técnica NCh 433, sobre Diseño Sísmico de Edificios, aprobada mediante D.S. N° 172 (V. y U.), de 1996, modificado por decreto exento N°406 (V. y U.), de 2010; el artículo 32 número 6° de la Constitución Política de la República de Chile; la resolución N° 1.600, de 2008, de la Contraloría General de la República, y

Considerando:

1.- Que al Ministerio de Vivienda y Urbanismo le corresponde, entre otras materias, dictar ordenanzas, reglamentos e instrucciones generales sobre urbanización de terrenos, construcción de viviendas, obras de equipamiento comunitario, desarrollo y planificación urbanas y cooperativas de viviendas;

2.- Que por D.S. N° 172 (V. y U.), de 1996, se aprobó la Norma Técnica NCh 433, sobre Diseño Sísmico de Edificios y mediante decreto exento N° 406 (V. y U.), de 2010, se oficializó una modificación a la referida Norma Técnica;

3.- Que la NCh 433, según lo dispuesto en el artículo 5.5.7, de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, tiene el carácter de obligatoria;

4.- Que como es de público conocimiento, una amplia zona del país fue afectada por un sismo de intensidad excepcionalmente severa con características de terremoto el 27 de febrero de 2010, catástrofe que produjo un nivel de daños que se considera por sobre lo aceptable.

5.- Que, en atención a lo anterior el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, conformó un panel de expertos en materias relativas a diseño sísmico de edificios, compuesto por:

Sr. Eduardo Contreras, Jefe de la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo;

Sr. Augusto Holmberg, Gerente General del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, ICH;

Sr. Alfonso Larraín, Presidente de la Asociación de Ingenieros Estructurales;

Sr. Tomás Guendelman, 1° Vicepresidente de la Asociación de Ingenieros Estructurales;

Sr. Rubén Boroschek, Profesor Ingeniería Civil Universidad de Chile, Vicepresidente Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica;

Sr. Fernando Yáñez, 2° Vicepresidente de la Asociación de Ingenieros Estructurales y Director del IDIEM de la Universidad de Chile;

Sr. Rodrigo Mujica, Past President de la Asociación de Ingenieros Estructurales;

Sr. Sergio Contreras, Vicepresidente del Colegio de Ingenieros de Chile;

Sr. Rafael Riddell, Jefe de Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica de la Pontificia Universidad Católica de Chile;

Sr. Rodrigo Jordán, Profesor Auxiliar Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica de la Pontificia Universidad Católica de Chile;

Sr. Patricio Bonelli, Profesor Titular del Departamento de Obras Civiles de la Universidad Técnica Federico Santa María;

Sr. René Lagos, René Lagos y Asociados;

Sr. Manuel Ruz, Ruz y Vukasovic Ingenieros;

Sr. Gonzalo Santolaya, Santolaya Ingenieros Consultores;

Sr. Leopoldo Breschi, VMR Ingenieros;

Sr. Jorge Lindenberg, IEC Ingenieros Civiles, y

Sr. Manuel Saavedra, Profesor Titular Ingeniería Civil Universidad de Chile.

6.- Que como resultado de las reuniones sostenidas por el Panel de Expertos se determinó que es urgente y necesario incorporar a la señalada norma técnica adecuaciones y complementaciones, para su aplicación hasta que el Instituto Nacional de Normalización confeccione la norma técnica correspondiente y ésta sea declarada Norma Oficial de la República de Chile por decreto supremo del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, dicto el siguiente

Decreto:

Apruébase el siguiente Reglamento que fija el diseño sísmico de edificios.

Artículo 1°.- El diseño sísmico de edificios deberá realizarse de conformidad a las exigencias establecidas en el presente decreto y en lo que no se contraponga

con éstas, supletoriamente, por lo establecido en la Norma Técnica NCh 433, aprobada mediante D.S. N° 172 (V. y U.), de 1996 y su modificación del año 2009 oficializada por D.S. N° 406 (V. y U.), de 2010, en adelante, NCh 433, Of. 1996, mod. 2009.

Artículo 2°.- Las disposiciones que se fijan en el presente decreto, no serán exigibles para obras civiles tales como puentes, presas, túneles, acueductos, muelles o canales. Tampoco se aplicará a edificios industriales ni instalaciones industriales, cuyo diseño deberá ajustarse a lo dispuesto en la normativa legal, reglamentaria y técnica correspondiente.

Artículo 3°.- Toda referencia a cláusulas, simbología, figuras o tablas que se contengan en el presente decreto, deberá entenderse efectuada a las contenidas en la NCh 433 Of. 1996, mod. 2009.

Artículo 4°.- Los símbolos empleados en este decreto y cuando corresponda, en la NCh 433 Of. 1996, mod.2009, tendrán el siguiente significado:

- S_{ac} = espectro de pseudo aceleración elástico;
- S_{de} = espectro de desplazamiento elástico;
- T_a = parámetro que interviene en la construcción del espectro de diseño;
- T_{ag} = período de mayor masa traslacional en la dirección de análisis, calculado con las secciones agrietadas, es decir, considerando la influencia del acero y la pérdida de rigidez debido al agrietamiento del hormigón.
- T_b = parámetro que interviene en la construcción del espectro de diseño y que depende del tipo de suelo;
- T_c = parámetro que interviene en la construcción del espectro de diseño y que depende del tipo de suelo;
- T_d = parámetro que interviene en la construcción del espectro de diseño y que depende del tipo de suelo;
- Z = factor que depende de la zonificación sísmica establecida en la cláusula 4.1 de la NCh 433 Of. 1996, mod.2009;
- p = parámetro que interviene en la construcción del espectro de diseño y que depende del tipo de suelo;
- δ_u = desplazamiento lateral de diseño en el techo.
- α_A = parámetro que interviene en la construcción del espectro de diseño y que depende del tipo de suelo;
- α_V = parámetro que interviene en la construcción del espectro de diseño y que depende del tipo de suelo;
- α_D = parámetro que interviene en la construcción del espectro de diseño y que depende del tipo de suelo;

Artículo 5°.- Efecto del suelo de fundación y de la topografía en las características de movimiento sísmico.

Los siguientes tipos de suelos requieren de un estudio especial en el cual se establezca un espectro de diseño local:

Suelos potencialmente licuables, entendiendo por ellos las arenas, arenas limosas o limos, saturados, con Índice de Penetración Estándar N menor que 20 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0.10 MPa); suelos susceptibles de densificación por vibración; suelos clasificados como tipo IV, V o no clasificables en los alcances de Tabla inserta en el artículo 7° del presente decreto.

Artículo 6°.- Cuando la información sobre el suelo de fundación permita clasificarlo dentro de dos o más tipos de suelo de acuerdo con lo establecido en la Tabla contenida en el artículo 7° del presente decreto, se debe suponer el perfil del suelo que resulte en el caso más desfavorable.

Artículo 7°.- Establécese en la tabla que a continuación inserta, la siguiente definición de suelos de fundación.

Definición de los tipos de suelos de fundación.

Suelo Tipo	V_s (m/s)	RQD	q_u (MPa)	N_1	S_u (MPa)
I	Roca y suelo cementado (*1)	≥ 900	$\geq 50\%$	≥ 10 ($\epsilon_{qu} \leq 2\%$)	
II	Roca blanda o suelo muy denso o muy firme	≥ 500		$\geq 0,40$ ($\epsilon_{qu} \leq 2\%$)	≥ 50
III	Suelo medianamente denso o firme	≥ 180		≥ 30	$\geq 0,05$
IV	Suelo suelto o blando	< 180		≥ 20	
V	Suelos Especiales	*	*	*	*

(*1): No soluble en agua

N_1 : Nspt normalizado a una presión de confinamiento de 0,1 MPa. Aplicable sólo a suelos que clasifican como arenas.

ϵ_{qu} : Deformación unitaria dada por el ensayo de compresión no confinada.

RQD: "Rock Quality Designation" de acuerdo con norma ASTM D 6032 "Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation of Rock Core"

Observaciones:

1. Para suelo tipo I se debe justificar V_s más una de las dos condiciones indicadas.
2. Para suelo tipo II se debe justificar V_s más N_1 en caso de arenas, y q_u en caso de otros suelos. Una excepción son las gravas fluviales compactas de espesor mayor o igual a 30 m bajo el sello de fundación, las cuales clasifican en suelo tipo II sin necesidad de medir V_s .
3. Para suelo tipo III se debe justificar V_s más N_1 en caso de arenas, y S_u en caso de otros suelos. Una excepción son las arenas con N_1 mayor o igual que 30 golpes/pie las cuales clasifican en suelo tipo III sin necesidad de medir V_s . Se aceptarán valores entre 20 y 30 golpes/pie siempre que el estrato sea menor o igual a 2 m.
4. Para suelo tipo IV se debe justificar V_s más N_1 en caso de arenas.
5. Se consideran Suelos Especiales (tipo V) aquellos que no clasifican como suelos tipo I, II, III y IV, por ejemplo: suelos licuables, suelos colapsibles, suelos orgánicos, suelos sensitivos, turba, entre otros.
6. Para viviendas sociales o estructuras de 5 o más pisos sobre la superficie del terreno natural o más de 10.000 m² o categoría III y IV, las propiedades que permiten clasificar el suelo de fundación deben ser evaluadas en los primeros 30 m bajo la superficie de apoyo de las fundaciones o hasta la roca. En caso de pilotes, este nivel corresponde al nivel más bajo entre la cabeza del pilote y el nivel del terreno.
7. En el caso de terrenos con topografía irregular pueden existir fenómenos de amplificación local, los cuales no están cubiertos por la clasificación.
8. Durante los dos primeros años de vigencia del presente decreto, V_s se debe determinar mediante una medición directa o del análisis de los datos y ensayos obtenidos de la exploración geotécnica. A partir del tercer año de vigencia de este decreto la medición directa de V_s será obligatoria.
9. V_s corresponde al menor valor entre el promedio ponderado de los primeros 30 metros bajo el sello de fundación o V_s promedio ponderado de los primeros 15 metros, de acuerdo a la siguiente definición.

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n V_{si}}$$

Donde:
 V_{si} (m/s) = velocidad de ondas de corte de cada estrato;
 d_i (m) = espesor de cada estrato.

10. En el caso de loteo de viviendas sociales con superficie construida menor que 2.500 m² o privadas con superficie construida menor que 5.000 m² o edificaciones aisladas de menos de 1.000 m², con excepción de categorías de uso III y IV, no es obligatorio justificar V_s con mediciones directas.

Artículo 8°.- Diafragmas de piso.

Se debe verificar que los diafragmas tienen la rigidez y la resistencia suficiente para lograr la distribución de las fuerzas inerciales entre los planos o subestructuras verticales resistentes. Si existen dudas sobre la rigidez del diafragma, se debe tomar en cuenta su flexibilidad agregando los grados de libertad que sea necesario o introduciendo separaciones estructurales. Del mismo modo, se puede incorporar la rigidez a flexión y corte de los diafragmas si se considera que a través de ellos se produce un acoplamiento que altera los parámetros vibratorios de la estructura y la distribución y magnitud de los esfuerzos sísmicos en los planos o subestructuras verticales resistentes, como es el caso, entre otros, de vanos cortos de puertas o ventanas y de pasillos de circulación.

Artículo 9°.- Deformaciones sísmicas.

En estructuras de hormigón armado, el desplazamiento lateral de diseño en el techo, δ_u , se debe considerar igual a la ordenada del espectro elástico de desplazamientos S_{de} , para un 5% de amortiguamiento respecto al crítico, correspondiente al período de mayor masa traslacional en la dirección de análisis, multiplicada por un factor igual a 1,3.

$$\delta_u = 1,3 S_{de}(T_{ag})$$

Donde T_{ag} es el período de mayor masa traslacional en la dirección de análisis, considerando en su cálculo la influencia del acero y la pérdida de rigidez debido al agrietamiento del hormigón en la rigidez elástica inicial. Si el período ha sido calculado con las secciones brutas, es decir, sin considerar la influencia del acero y la pérdida de rigidez debido al agrietamiento del hormigón, el período de mayor masa traslacional en la dirección de análisis de la estructura se puede aproximar a 1,5 veces al calculado sin considerar estos efectos.

El espectro elástico de desplazamientos se calcula como:

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae}(T)$$

S_{de} = espectro de desplazamiento elástico (cm);

S_{ae} = espectro de pseudo aceleración elástico definido en el artículo 13 del presente decreto (cm/seg²);

T = períodos considerados del sistema estructural (seg);

δ_u = desplazamiento lateral de diseño en el techo (cm).

Artículo 10.- Separaciones entre edificios o cuerpos de edificios.

La distancia de un edificio al plano medianero en cualquier nivel no debe ser inferior al desplazamiento a ese nivel calculado según lo establecidos en el artículo 9° del presente decreto (para niveles intermedios se puede interpolar linealmente) ni a 5 cm. Se exceptúan los edificios colindantes con un predio de uso público no destinado a ser edificado.

Artículo 11.- Método de análisis, generalidades.

Cualquiera sea el método de análisis usado, se debe considerar un modelo de la estructura con un mínimo de tres grados de libertad por piso: dos desplazamientos horizontales y la rotación del piso en torno a la vertical. En la elección del número de grados de libertad incluidos en el análisis se debe tener en cuenta lo dispuesto en el artículo 8° del presente decreto. En el caso de planos o subestructuras verticales resistentes concurrentes a aristas comunes, deberá considerarse el monolitismo estructural mediante la inclusión de grados de libertad que compatibilicen los desplazamientos verticales de las aristas correspondientes.

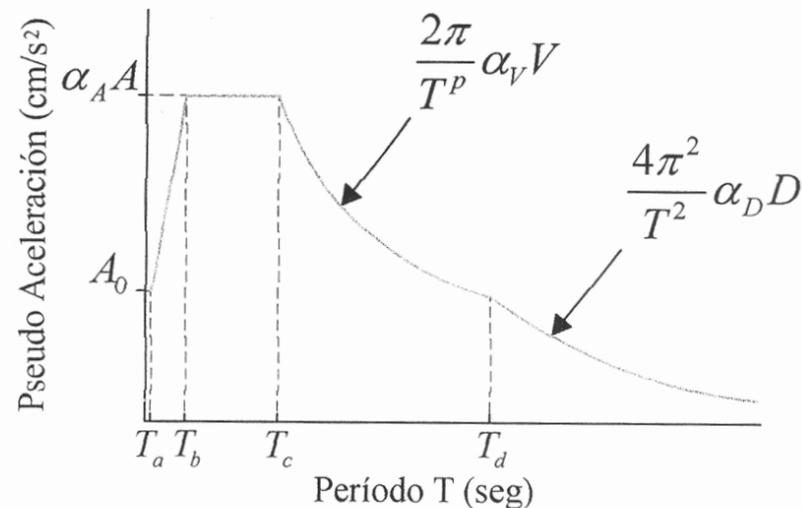
Artículo 12.- Espectro de diseño.

El espectro de diseño que determina la resistencia sísmica de la estructura está definido por:

$$S_a = \frac{S_{ae}}{\left(\frac{R^*}{I}\right)} \quad (9)$$

En que el valor de I se determina en la forma estipulada en la cláusula 6.2.3, de la NCh 433, Of. 1996, mod. 2009.

Artículo 13.- El espectro de pseudo aceleración elástico S_{ae} se debe construir de acuerdo a la definición genérica presentada en la Figura inserta en el presente artículo y conjuntamente con los valores indicados en las Tablas que fijan el Valor de la aceleración efectiva A_0 y del factor Z de zonificación sísmica y el Valor de los parámetros que definen el espectro de pseudo aceleraciones elásticas, ambas incertan en el artículo 14 de este decreto. En la Tabla que fija el Valor de la aceleración efectiva A_0 y del factor Z de zonificación sísmica, deberá utilizarse $g=981$ cm/seg² para la construcción del espectro de pseudo aceleración.



Definición genérica del espectro de pseudo aceleración.

Artículo 14.- Establécese, en las tablas que a continuación insertan, el valor de la aceleración efectiva A_0 y del factor Z de zonificación sísmica; el valor de los parámetros que dependen del tipo de suelo y el valor de los parámetros que definen el espectro de pseudo aceleraciones elásticas, respectivamente.



La demanda de corte en los muros debe estudiarse específicamente para cada topología de edificios recomendándose la aplicación del método de diseño por capacidad. El corte aumenta en proporción al aumento de resistencia a la flexión en la sección crítica, ese aumento debe considerarse si la cantidad de armadura suministrada a la flexión da una mayor resistencia a la flexión que la requerida por análisis.

En el diseño por capacidad, la resistencia requerida al corte se calcula

$$V_u = w \times \Omega_0 \times V_E, \text{ donde}$$

$\Omega_0 = (M_{pr} / M_E)$ en la sección crítica, generalmente en el primer piso, inmediatamente encima de los subterráneos.

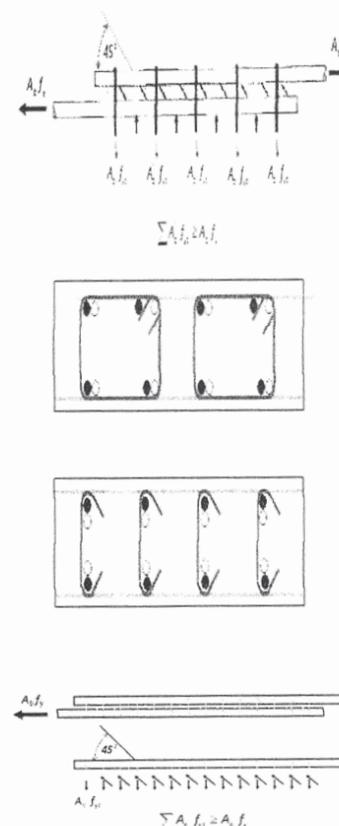
w = factor de amplificación dinámica, que en estas disposiciones se está tomando igual a 1.4.

4.2 Refuerzo Transversal en Empalmes por Traslapo

Nota: Para secciones en zona de transición, se recomienda considerar el aumento del corte debido a que el factor Φ usado en flexión es menor que 0.9 usado para las secciones controladas por la tracción.

R.4.2 Esta disposición señala la necesidad de establecer un mecanismo de transferencia de fuerzas entre barras empalmadas en un traslape que sea diferente al del hormigón a tracción y compresión. La presencia del refuerzo transversal permite que se desarrolle un enrejado equivalente compuesto por un puntal de compresión entre las barras que se empalman, y tensores perpendiculares en tracción, sin tener que contar hasta cierto punto con la contribución del hormigón a tracción. La cantidad de refuerzo que se calcula en (a) se ha obtenido de un modelo puntal tensor suponiéndose una inclinación de 45 grados en los puntales comprimidos y despreciándose un posible endurecimiento en el refuerzo longitudinal. Para cruzar el plano potencial de falla se exige refuerzo en dos direcciones ortogonales porque durante la construcción, las barras que se empalman pueden quedar en un plano paralelo al eje del muro o perpendiculares a él. En la Figura R4.2 se muestra un ejemplo de barras verticales empalmadas en una sección transversal de un muro. En la primera figura, las barras empalmadas están paralelas al refuerzo horizontal de la malla en el alma, en ese caso la grieta potencial es perpendicular a ellas y el refuerzo horizontal de la malla las cruza, debiéndose agregar estribos si no fuera suficiente; en el segundo caso, la grieta es paralela al refuerzo horizontal requiriéndose de trabas que la crucen. En la figura superior se muestran solo las fuerzas del refuerzo transversal que actúan equilibrando la componente del puntal de compresión que tiende a separar las barras. En la inferior el diagrama de cuerpo libre de una de las barras. En ausencia de refuerzo transversal esa componente queda equilibrada por la resistencia a tracción del hormigón solamente.

En la Figura R4.2 se dibujaron las barras longitudinales empalmadas sin separación, como se suele hacer en las construcciones para simplificar su montaje. Sin embargo, es recomendable que la distancia entre ellas sea por lo menos igual al diámetro de la barra empalmada para permitir que se desarrolle el puntal de compresión en todo su manto.



4.2.1 En las zonas de empalmes por traslape del refuerzo longitudinal en muros, se debe disponer de refuerzo transversal a lo largo de la longitud de traslape de acuerdo con §2.4 y §2.6 y §4.2.2 cuando se cumpla (a) ó (b):

- (a) La cuantía de refuerzo longitudinal definida por $\Sigma A_b / h s$ sea mayor que $2.8/f_y$.
- (b) El recubrimiento a la barra longitudinal de diámetro d_b sea menor que $2d_b$.

Figura R.4.2 – Las barras que atraviesan la longitud de empalme en el plano definido por las barras empalmadas, deben resistir una fuerza igual a la fuerza $A_b f_y$ que se transfiere en el empalme.

R4.2.1 Nota: La separación del refuerzo vertical puede llegar a 450 según §14.3.5 de ACI 318-08.

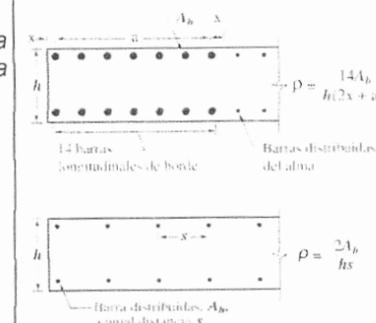


Figura R.4.2.1 – Figura R21.7.6.5 en ACI 318-08. Definición de la cuantía local de refuerzo longitudinal para condiciones de borde típicas en muros.

Se recomienda cambiar la extensión del gancho e incluir un mínimo de 75 mm, que controla la extensión de los ganchos de barras de menor diámetro. La extensión mínima tiene en cuenta las tolerancias en las dimensiones del refuerzo permitidas en ACI 318-2008 que están contenidas en §2.1 ACI 117-2006. ACI 117-2006 permite una variación en la longitud de los ganchos de hasta 25 mm. Esto implica que bajo las disposiciones existentes ganchos de barras de 8, 10 y 12 mm podrían aceptarse en la construcción con una extensión de apenas 23, 35 y 47 mm, respectivamente. Durante un sismo de gran intensidad y duración estas barras podrían ir perdiendo el anclaje progresivamente con los ciclos de carga y descarga, limitando así la función de arriostamiento de barras longitudinales. Esta pérdida del anclaje



deformaciones el acortamiento en el hormigón suele ser mayor que ese valor en zonas críticas. El alargamiento en el acero en el instante en que el acortamiento en el hormigón en la fibra opuesta es igual a 0.004 se usa como índice para diferenciar el modo de falla. No se permite el uso de muros con secciones controladas por compresión. Se recomienda el uso de muros con secciones transversales controladas por tracción, con un refuerzo transversal que evite el pandeo prematuro de las barras longitudinales en los bordes y a la vez proporcione confinamiento al hormigón. Análogamente a lo establecido para vigas en §10.3.5 de ACI318-08, se establece que para muros especiales ϵ_t en el estado de resistencia nominal no debe ser menor que 0.004. No es recomendable lograr desplazamientos laterales confiando en grandes acortamientos del hormigón confinado, es preferible que el acero se alargue antes que el hormigón alcance su capacidad última compresión. Para que el confinamiento de borde sea efectivo se necesitan espesores considerables de muros, ensayos hechos en columnas que simulaban bordes de muros fallados en compresión en el terremoto del 27 de febrero de 2010, bien confinados, han tenido fallas en compresión frágiles.

La máxima carga axial mayorada permitida para muros es entonces P_4 , asociada a un alargamiento unitario en el acero igual a 0.004 cuando el hormigón llega a un acortamiento unitario igual a 0.003 en la fibra extrema opuesta. Por equilibrio de fuerzas verticales, $P_4 = C - T_f$, donde P_4 es la carga axial aplicada sobre el muro, C es la compresión en uno de sus bordes y T_f es la tracción proveniente de la armadura del ala opuesta en una sección T, o borde traccionado en una

La profundidad de línea neutra aumenta proporcionalmente con la carga axial pero sobre todo, con la cantidad de armadura en el ala A_{sf} , y disminuye con el espesor y con la cantidad de armadura en el borde del alma A_{sw} . Es decir, para disminuir la profundidad de línea neutra se puede agregar armadura en el borde del alma A_{sw} , aumentar el espesor h del muro ó disminuir la carga axial. El límite de la carga que define la zona de transición se puede aumentar agregando armadura en el borde del alma A_{sw} , ó aumentando el espesor del muro, h .

La carga axial que define el límite entre una sección transversal controlada por

tracción y una en transición se puede calcular de manera análoga al cálculo de P_4 , pero con una profundidad de línea neutra igual a:

$$c_5 = 3 d_t / 8 \quad a_5 = \beta_1 c_5 f_c'$$

se llega a

$$P_5 = 0.85 h \beta_1 f_c' 3 d_t / 8 + A_{sw} f_{sy}' - A_{sf} f_{sy}$$

Si $f_{sy}' = f_{sy}$

$$P_5 = 0.85 h \beta_1 f_c' 3 d_t / 8 + f_{sy} (A_{sw} - A_{sf})$$

Si $A_{sw} = A_{sf}$ y tomando $\beta_1 = 0.85$,

$$P_5 = 0.271 f_c' A_g$$

3.2 La dimensión transversal de muros especiales debe ser mayor o igual a un dieciseisavo de la longitud sin soporte lateral de un elemento en compresión, $l_w/16$.

4.- Refuerzo Transversal en Muros

4.1 Refuerzo Transversal en el Alma

En muros especiales, si el corte no ha sido calculado mediante el método de diseño por capacidad, se permite como alternativa diseñar los muros especiales con ΦV_n , no menor que el corte máximo obtenido de las combinaciones de cargas de diseño que incluyan E , considerando E como 1.4 veces el corte prescrito por el reglamento general adoptado para diseño sísmico vigente. Este factor de amplificación del corte es adicional al factor de mayoración de cargas usado en las combinaciones de cargas.

R.4.1 ACI318-08 permite aplicar el método de diseño por capacidad al cálculo del corte sísmico, ver § 9.3.4.

Como alternativa a la aplicación del diseño por capacidad, se permite amplificar el corte proveniente de análisis sísmico, como se especifica en ACI318-08 para pórticos intermedios, ver § 21.3.3 (b) y R21.3 en ACI318-08.

Por ejemplo, para calcular el corte último las combinaciones de carga quedan como:

$$U = 0.9D + 1.4 \times 1.4 \times E + 1.0L + 0.2S \quad (9-5)$$

$$U = 1.2D + 1.4 \times 1.4 \times E + 1.6H \quad (9-7)$$

Existe evidencia experimental³, teórica⁴⁻¹³ y del reciente terremoto, que es muy importante, que la demanda de corte en muros es mayor que la que se obtiene por el método estático equivalente y por el método de análisis modal. Por efecto de los modos superiores, por el aumento del momento del muro comprimido debido

al aumento de fuerza axial, al aumento de la fuerza axial debido al acoplamiento de vigas y losas y al exceso de armadura a tracción respecto a la calculada. El aumento de corte debe obtenerse con un factor de amplificación del cálculo proveniente del análisis lineal, por un factor que suele ser mayor que dos, sino se aplica el diseño por capacidad. En estas disposiciones se dejó como 1.4 por ahora. También se puede esperar una redistribución importante del cortante en muros debido a que las rigideces a flexión relativa de los muros son diferentes a las supuestas en el análisis porque responden agrietados y el corte que toman depende de la resistencia a flexión que alcanzan, que entre otros factores depende de la fuerza axial que varía instante a instante y que es muy difícil de evaluar.

sección rectangular.

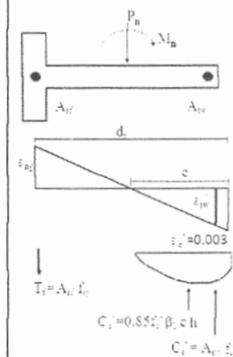


Figura R.3.1 - Distribución de deformaciones unitarias y tensiones.

De la Figura R3.1, por compatibilidad de deformaciones:

$$c_4 = 3/7 d_t \quad a_4 = \beta_1 c_4$$

Equilibrio vertical:

$$C = P_4 + T_f = P_4 + A_{sf} f_{sy}$$

$$P_4 = 0.85 h \beta_1 3/7 d_t f_c' + A_{sw} f_{sy}' - A_{sf} f_{sy}$$

Si $f_{sy}' = f_{sy}$

$$P_4 = 0.85 h \beta_1 3/7 d_t f_c' + f_{sy} (A_{sw} - A_{sf})$$

Si $A_{sw} = A_{sf}$ y tomando $\beta_1 = 0.85$,

$$P_4 = 0.3 f_c' A_g$$

Nótese que,

$$C_4 = (P_4 + A_{sf} f_{sy} - A_{sw} f_{sy}') / 0.85 h \beta_1 f_c'$$



Disposiciones para el Diseño de Estructuras de Hormigón Armado	Comentarios
<p>1. Alcance</p> <p>El diseño de edificios de hormigón armado se debe realizar de acuerdo a lo establecido en ACI 318S-08¹ y complementar con las siguientes disposiciones.</p> <p>1.1 Para el diseño de estructuras con muros de hormigón, se deben considerar las disposiciones para "muros estructurales especiales de hormigón", definidas en la sección 21.1 de ACI 318-08. Se consideran como muros especiales a los muros incluidos en la tabla 5.1 de NCh433Of.1996Mod2009, que se analizan con un factor R igual a 7 ó un factor R_0 igual a 11.</p>	<p>R.1.1 Las disposiciones contenidas en este documento, tienen como objetivo asegurar que las regiones en muros de hormigón diseñados para proporcionar resistencia sísmica puedan alcanzar rotaciones plásticas bajo condiciones de cargas cíclicas alternantes sin presentar un agotamiento de la capacidad de transferir carga gravitatoria, pero permitiendo una reducción moderada de la resistencia a la flexión.</p> <p>De las observaciones de daños en edificios modernos de hormigón armado se detectó la necesidad de especificar un espesor mínimo de muros, evitar la congestión de armaduras en los bordes y evitar las fallas por deslizamiento de anclajes. También se detectaron en muros grietas que indican fallas al corte especialmente en algunos edificios en Concepción. Ensayos recientes en columnas delgadas y resultados experimentales anteriores muestran la dificultad en lograr grandes acortamientos en los bordes de muros muy delgados, aún cuando estén confinados, siendo necesario evitar diseños que queden controlados por compresión. Al aplicarse el ACI 318-08, sin exceptuar ninguna de sus cláusulas, se deben aplicar las disposiciones complementarias indicadas para ese caso.</p> <p>Las disposiciones complementarias indicadas en §5 permiten simplificar el detallamiento de bordes de muros confinados.</p>
<p>1.2 Se permite el uso de "muros estructurales ordinarios de hormigón", definidos en la sección 21.1 de ACI 318-08 en estructuras de cinco pisos o menos cuando hayan sido diseñados considerando un factor R o R_0 igual o menor que 4, de acuerdo a lo establecido en la tabla 5.1 de NCh433Of.1996Mod2009.</p>	

2.- Disposiciones Generales	
<p>2.1 En el diseño a flexión y carga axial de muros se debe considerar la configuración de la sección transversal completa (secciones T, L, C, etc.).</p> <p>2.2 En la determinación de la resistencia a flexión y carga axial se debe considerar la contribución de todo el refuerzo longitudinal en la sección transversal definida en §2.1.</p> <p>2.3 El diámetro de las barras longitudinales en los elementos de borde en muros debe ser menor o igual que un noveno del espesor del muro.</p> <p>2.4 El diámetro del refuerzo transversal debe ser igual o mayor que un tercio del diámetro del refuerzo longitudinal que sujeta.</p>	<p>R.2.2 La verificación del comportamiento a cargas a flexión y axial de una sección de un muro debe hacerse a partir de detalle del refuerzo longitudinal como se muestra en los planos.</p>

2.5 El refuerzo transversal en el alma en muros deben anclarse a barras longitudinales extremas en el muro.

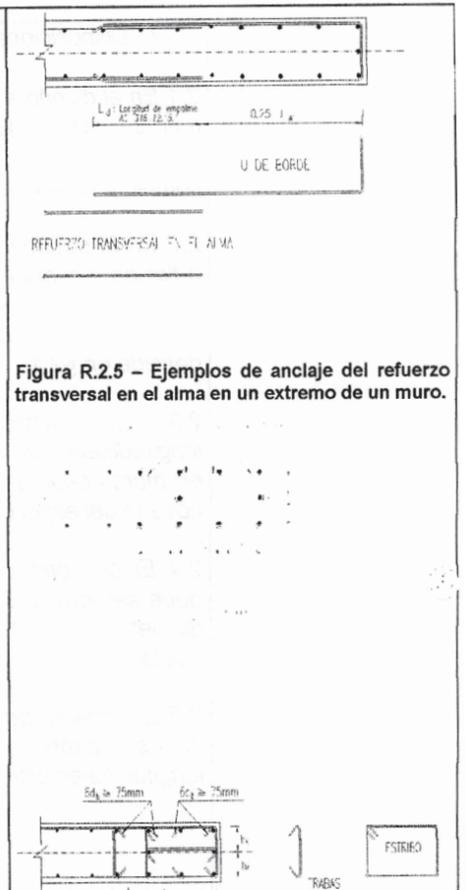
R 2.5 Los detalles de anclaje del refuerzo ilustrados en la Figura R.2.5 cumplen con §2.5. El empalme por traslape de la armadura al corte en zonas críticas debe hacerse en zonas alejadas de los bordes porque en esas zonas se puede perder el recubrimiento si el hormigón no confinado sobrepasa el acortamiento último.



2.6 El refuerzo transversal debe terminar en ganchos estándares a 135 grados ó 180 grados, como se definen en §7.1 de ACI 318-08. La extensión del gancho debe ser mayor que el menor entre $6 d_b$ y 75 mm.

3.- Disposiciones Específicas para Muros Estructurales Especiales.

3.1 En cualquier sección transversal en un muro el alargamiento unitario del refuerzo longitudinal debe superar 0.004 cuando el hormigón en la fibra extrema opuesta alcanza un acortamiento unitario igual a 0.003.



R3.1 ACI318-08 adopta convencionalmente un acortamiento en el hormigón igual a 0.003 para definir la resistencia nominal a flexión y compresión. Ante grandes



<p>4.2.2 El refuerzo transversal a lo largo de la longitud de traslapo debe ser igual o mayor al que se calcule en (a) y (b):</p> <p>(a) En cada una de dos direcciones ortogonales por separado, la suma de las áreas de las barras de refuerzo transversal que abraza dos barras empalmadas a lo largo del traslapo, debe ser igual o mayor al área de la barra de mayor diámetro que empalme.</p> <p>(b) El área de refuerzo trasversal en §4.2.2(a) puede reducirse por la relación f_y / f_{yt} cuando $f_{yt} > f_y$.</p> <p>4.2.3 El refuerzo transversal en el alma que pasa a lo largo del empalme puede utilizarse en el cálculo del refuerzo requerido en §4.2.2.</p> <p>5.- Elementos de borde para muros estructurales especiales de concreto reforzado.</p> <p>5.1 No es necesario considerar el límite inferior para el cociente δ_u/h_w en la Ecuación (21-8) igual a 0.007 establecido en §21.9.6.2 en ACI 318-08.</p> <p>5.2 Se permite reemplazar §21.9.6.4 (a) de ACI 318-08 por esta disposición.</p> <p>El elemento de borde debe extenderse horizontalmente desde la fibra extrema en compresión hasta una distancia no menor que el valor cc determinado como:</p> $\frac{c_c}{l_w} = \frac{c}{l_w} - \frac{1}{600} \frac{\delta_u'}{h_w'}$ <p>donde</p>	<p>sucede durante un ciclo inelástico cuando el hormigón donde ellas están ancladas no está sometido aún a compresión, mientras que las barras longitudinales, que deben arriostrarse, fluyen a compresión.</p> <p>R.5.1. No se considera necesario exigir para δ_u/h_w el límite inferior de 0.007 en la Ec. (21-8) de ACI 318-08</p> <p>R.5.2. Se determina la zona a confinar en función de la demanda de desplazamientos laterales, sin tomar de manera arbitraria $\delta_u/h_w = 1.5\%$ como está implícito en ACI 318-08.</p> <p>El desplazamiento de diseño δ_u', se puede calcular a partir de la forma del modo con mayor masa traslacional en la dirección de análisis considerada,</p>	<p>(a) Entre barras longitudinales el refuerzo transversal, h_x, debe ser espaciado una distancia menor o igual a la menor entre 200 mm y la mitad del espesor del muro.</p> <p>(b) El espaciamiento vertical entre conjuntos de estribos y trabas conformando el refuerzo de borde debe ser menor o igual al menor entre seis veces el diámetro de la barra longitudinal que se sujeta y la mitad del espesor del muro.</p> <p>5.5 Reemplazar §21.9.6.5. (a) de ACI 318-08 por:</p> <p>(a) Donde la cuantía de refuerzo longitudinal en el borde del muro sea mayor que $2.8/f_y$, el refuerzo transversal de borde debe cumplir con lo indicado en §21.6.4.2 de ACI 318-08 y §21.9.6.4 (a) ó §5.2. El espaciamiento longitudinal máximo del refuerzo transversal en el borde no debe exceder 200 mm.</p> <p>En zonas donde el refuerzo vertical pueda fluir, el espaciamiento longitudinal máximo del refuerzo transversal en el borde no debe exceder el menor valor entre seis veces el diámetro de la barra longitudinal y 200 mm.</p>	<p>R.5.4. Como §5.2 es opcional, si se ha reemplazado §21.9.6.4 (a) de ACI 318-08 por §5.2, solo en ese caso al aplicar §5.4 también §21.9.6.4 (a) debe ser reemplazado por §5.2.</p> <p>R.5.4 (a) El límite de 200 mm proviene de considerar un espaciamiento del orden de diez veces el tamaño máximo de agregado y evitar que en muros de gran espesor, las partículas gruesas del agregado se aplasten y fluyan del núcleo hacia fuera debido al amplio espacio entre el refuerzo longitudinal y/o transversal. En los bordes de muros se puede perder recubrimiento el hormigón comprimido no confinado. El hormigón confinado podría llegar estar sometido a una deformación unitaria de hasta aproximadamente el ocho por mil en el borde del muro.</p> <p>Las secciones C pueden requerir cierto confinamiento en sus esquinas.</p> <p>El refuerzo transversal en empalmes se necesita en zonas críticas, donde se espera que el refuerzo vertical quede sometido a ciclos de cargas con incursiones no lineales, y también en zonas de transferencia donde el refuerzo transversal se empalma con barras distantes, como en la zona de transición en muros bandera. Para la máxima separación entre barras que empalman, ver §12.4.2.3 de ACI 318-08 y su comentario.</p> <p>R.5.5. Como §5.2 permite reemplazar §21.9.6.4 (a) de ACI 318-08 por esa disposición, se ha re escrito §21.9.6.5 (a) para hacerla consistente. La separación del refuerzo transversal igual a seis diámetros de la barra longitudinal donde pueda fluir bajo ciclos de carga es necesaria para evitar el pandeo, que puede ocurrir luego de un alargamiento mayor que la fluencia. Este refuerzo se requiere solo en zonas donde se espere que el refuerzo longitudinal fluya, es decir, en las secciones críticas. Si no se ha diseñado para una sección crítica única, la disposición debe aplicarse a cualquier zona donde el refuerzo pudiera fluir.</p>
<p>δ_u' = desplazamiento relativo de diseño entre el extremo superior del muro y el desplazamiento a nivel de la sección del muro analizado.</p> <p>h_w' = altura del muro medida desde el extremo del muro a la sección analizada.</p> <p>c = mayor profundidad del eje neutro calculada para la fuerza axial mayorada y resistencia nominal a momento consistente con el desplazamiento de diseño δ_u.</p> <p>cc = extensión de la zona confinada medida desde el borde extremo.</p> <p>Al aplicarse esta disposición es necesario reemplazar el término δ_u/h_w de §21.9.6.2 por δ_u'/h_w'.</p> <p>El desplazamiento de diseño δ_u está indicado en el decreto del Ministerio de Vivienda y Urbanismo que regula el diseño sísmico de edificios.</p> <p>5.3 El refuerzo de borde debe extenderse en vertical, hacia arriba y hacia abajo de la sección analizada, en una distancia no menor que l_w.</p> <p>5.4 El espaciamiento del refuerzo transversal en bordes de muros, cuando se necesite, además de satisfacer §21.9.6.4, debe cumplir con (a) y (b)</p>	<p>asignándole a ese modo un desplazamiento en el techo del edificio igual a δ_u.</p> <p>Nota: ACI 318-08 requiere identificar la sección crítica, ver R21.9.6.2.</p>	<p>Artículo 4°.- Toda referencia que se contenga en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, aprobada por D.S. N° 47, (V. y U.), de 1992 a la NCh 430, o al diseño y cálculo de muros especiales de Hormigón Armado, deberá entenderse efectuada a lo dispuesto en el presente decreto.</p> <p>Artículo 5°.- En virtud de lo previsto en el artículo 4° de la ley 19.912 y en el artículo 7°, del D.S. N° 77, del Ministerio de Economía, del año 2004, omitanse los trámites previstos en la referida ley y su reglamento, en consideración a que las modificaciones que se introducen por el presente decreto vienen a solucionar problemas urgentes relacionados con la seguridad de las personas que habitan y utilizan las edificaciones que se construyen en el país y de los bienes que se guarnecen en éstos, comenzando a regir lo dispuesto en el presente decreto desde su publicación en el Diario Oficial.</p> <p>Artículo 6°.- Derógase el decreto exento N° 395, (V. y U.), de 2008, que aprueba la Norma Técnica NCh 430, sobre Hormigón Armado - Requisitos de diseño y cálculo, dejando de tener dicha Norma Técnica el carácter de oficial, a contar de la fecha de publicación en el Diario Oficial del presente decreto.</p> <p>Anótese, tómesese razón y publíquese.- SEBASTIÁN PIÑERA ECHENIQUE, Presidente de la República.- Magdalena Matte Lecaros, Ministra de Vivienda y Urbanismo.</p> <p>Lo que transcribo, para su conocimiento.- Andrés Iacobelli del Río, Subsecretario de Vivienda y Urbanismo.</p>	



Valor de la aceleración efectiva A_0 y del factor Z de zonificación sísmica.

Zona sísmica	A_0	Z
1	0.20 g	0.50
2	0.30 g	0.75
3	0.40 g	1.00

Valor de los parámetros que dependen del tipo de suelo.

Tipo de suelo	S	T_0 seg	T' seg	n
I	0.90	0.15	0.20	0.85
II	1.00	0.30	0.35	0.70
III	1.20	0.75	0.85	0.80

Valor de los parámetros que definen el espectro de pseudo aceleraciones elásticas.

Tipo de suelo	T_a seg	T_b seg	T_c seg	T_d seg	α_{AA}	α_{VV}	α_{DD}	ρ
I	0	0.13	0.22	2.53	1087 Z	51.5 Z	25.0 Z	0.8
II	0	0.20	0.32	2.02	1099 Z	88.0 Z	37.5 Z	0.6
III	0	0.37	0.68	1.75	1142 Z	144.0 Z	50.0 Z	0.6

Nota: el periodo del suelo está entre T_b y T_c .

Artículo 15.- Toda referencia que se contenga en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, aprobada por D.S. N° 47 (V. y U.), de 1992 y sus modificaciones, a la NCh 433, o al diseño sísmico de edificios, deberá entenderse efectuada al presente decreto.

Artículo 16.- En virtud de lo previsto en el artículo 4° de la Ley 19.912 y en el artículo 7°, del D.S. N° 77, del Ministerio de Economía, del año 2004, omítanse los trámites previstos en la referida ley y su reglamento, en consideración a que las modificaciones que se introducen por el presente decreto vienen a solucionar problemas urgentes relacionados con la seguridad de las personas que habitan y utilizan las edificaciones que se construyen en el país y de los bienes que se guarnecen en éstos, comenzando a regir lo dispuesto en el presente decreto desde su publicación en el Diario Oficial.

Anótese, tómesese razón y publíquese.- SEBASTIAN PIÑERA ECHENIQUE, Presidente de la República.- Magdalena Matte Lecaros, Ministra de Vivienda y Urbanismo.

Lo que transcribo para su conocimiento.- Andrés Iacobelli Del Río, Subsecretario de Vivienda y Urbanismo.

APRUEBA REGLAMENTO QUE FIJA LOS REQUISITOS DE DISEÑO Y CÁLCULO PARA EL HORMIGÓN ARMADO Y DEROGA DECRETO N° 395 EXENTO, DE 2008

Santiago, 5 de noviembre de 2010.- Hoy se decretó lo que sigue:

Núm. 118.- Visto: La ley 16.391, en especial lo dispuesto en su artículo 2° número 3; el D.L. N° 1.305, de 1975, en su artículo 4°; lo previsto en los artículos 2°, 105 y 106, del D.F.L. N° 458, de 1975, Ley General de Urbanismo y Construcciones; la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, aprobada por D.S. N° 47, (V. y U.), de 1992; la Norma Técnica NCh 430, sobre Hormigón Armado - Requisitos de diseño y cálculo, aprobada mediante decreto exento N° 395, (V. y U.), de 2008; el artículo 32 número 6° de la Constitución Política de la República de Chile, y la resolución N° 1.600, de 2008, de la Contraloría General de la República, y

Considerando:

1.- Que al Ministerio de Vivienda y Urbanismo le corresponde, entre otras materias, dictar ordenanzas, reglamentos e instrucciones generales sobre urbanización de terrenos, construcción de viviendas, obras de equipamiento comunitario, desarrollo y planificación urbanos y cooperativas de viviendas.

2.- Que por decreto exento N° 395, (V. y U.), de 2008, se aprobó la Norma Técnica NCh 430, sobre Hormigón Armado - Requisitos de diseño y cálculo.

3.- Que la NCh 430, según lo dispuesto en el artículo 5.5.7, de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, tiene el carácter de obligatoria.

4.- Que como es de público conocimiento, una amplia zona del país fue afectada por un sismo de intensidad excepcionalmente severa con características de terremoto el 27 de febrero de 2010, catástrofe que produjo un nivel de daños que se considera por sobre lo aceptable.

5.- Que, en atención a lo anterior el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, conformó un panel de expertos en materias relativas a Hormigón Armado - diseño y cálculo, compuesto por:

Sr. Eduardo Contreras, Jefe de la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo;

Sr. Augusto Holmberg, Gerente General del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, ICH;

Sr. Alfonso Larraín, Presidente de la Asociación de Ingenieros Estructurales;
Sr. Tomás Guendelman, 1° Vicepresidente de la Asociación de Ingenieros Estructurales;

Sr. Rubén Boroschek, Profesor Ingeniería Civil Universidad de Chile, Vicepresidente Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica;

Sr. Fernando Yáñez, 2° Vicepresidente de la Asociación de Ingenieros Estructurales y Director del IDIEM de la Universidad de Chile;

Sr. Rodrigo Mujica, VMB Ingenieros, Past President de la Asociación de Ingenieros Estructurales;

Sr. Sergio Contreras, Vicepresidente del Colegio de Ingenieros de Chile;

Sr. Rafael Riddell, Jefe de Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica de la Pontificia Universidad Católica de Chile;

Sr. Rodrigo Jordán, Profesor Auxiliar Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica de la Pontificia Universidad Católica de Chile;

Sr. Patricio Bonelli, Profesor Titular del Departamento de Obras Civiles de la Universidad Técnica Federico Santa María;

Sr. René Lagos, René Lagos y Asociados;

Sr. Gonzalo Santolaya, Santolaya Ingenieros Consultores;

Sr. Leopoldo Breschi, VMB Ingenieros;

Sr. Jorge Lindenber, IEC Ingenieros Civiles, y

Sr. Manuel Saavedra, Profesor Titular Ingeniería Civil Universidad de Chile.

4.- Que como resultado de las reuniones sostenidas por el Panel de Expertos se determinó que es urgente y necesario fijar aspectos especiales para el Hormigón Armado - Requisitos de diseño y cálculo, para su aplicación hasta que el Instituto Nacional de Normalización confeccione la norma técnica correspondiente y ésta sea declarada Norma Oficial de la República de Chile por decreto supremo del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, dicto el siguiente

Decreto:

Apruébase el siguiente Reglamento que fija los requisitos de diseño y cálculo para el Hormigón Armado.

Artículo 1°.- El diseño y cálculo de muros especiales de hormigón armado, deberá realizarse de conformidad a las exigencias establecidas en el presente decreto y en lo que no se contraponga con éstas, supletoriamente, por lo establecido en la ACI 318-08.

Artículo 2°.- Toda referencia a código, comentario, cláusulas, simbología, figuras o tablas que se contengan en el presente decreto, deberá entenderse realizada a las contenidas en ACI 318-08

Artículo 3°.- Fíjense las siguientes disposiciones para el diseño y cálculo de muros especiales de Hormigón Armado: