



Pedro Hidalgo O.

Ingeniero Civil
Secretario Técnico del Comité de Norma
Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica
Pontificia Universidad Católica de Chile

Norma Diseño Sísmico: Industrias más Seguras

La nueva regulación NCh 2369 apunta fortalecer el nivel de seguridad de las construcciones, con capacidad suficiente para resistir un sismo de gran severidad.



En Septiembre de 2003 y después de cuatro años de estudio en 83 sesiones de comité, fue oficializada la norma NCh2369. La labor del comité de la norma se desarrolló en el Instituto Nacional de Normalización y se basó en un anteproyecto preparado por un grupo de ingenieros estructurales que ha trabajado por varios años en el diseño sísmico de este tipo de estructuras. Este anteproyecto reflejó el estado del arte de la práctica chilena, ya que no existe en el mundo una norma dedicada específicamente a este tipo de construcciones y que haya servido para ser adaptada a las condiciones particulares de nuestro país. Aun cuando las disposiciones de esta norma se basan en las de la norma NCh433 Diseño sísmico de edificios, existen una serie de aspectos que se analizan en el presente artículo. Las principales características de la norma NCh2369 que se apartan de las de la norma NCh433 se resumen a continuación:

- Incluye un objetivo esencial, además de la protección de la vida humana: la continuidad de la operación de la industria, aún en la eventualidad de sismos de gran severidad. Por esta razón sus niveles de seguridad son mayores que los de la norma NCh433, y la clasificación de estructuras

y equipos depende de su importancia para la operación de la industria.

- Reconoce estados de carga adicionales: sobrecargas de operación, sobrecargas adicionales de operación, y establece combinaciones de cargas diferentes a los de NCh433, tanto para el método de diseño por tensiones admisibles como el método de diseño por factores de carga y resistencia.
- Establece explícitamente la revisión del diseño sísmico por ingenieros autorizados para dirigir en Chile, lo cual es especialmente importante en aquellos proyectos que son realizados en el extranjero.
- Existe mayor amplitud que en la norma NCh433 en lo que se refiere a los métodos aceptados para realizar el análisis o la verificación sísmica, por ejemplo, métodos no lineales y análisis especiales y disposiciones para el diseño de estructuras con disipadores de energía.
- Incluye disposiciones especiales referentes al diseño sísmico de estructuras de acero y de hormigón prefabricado.

Solicitud Sísmica

La forma de especificar la solicitud sísmica es muy parecida a la dispuesta en la norma NCh433. Sin embargo, se pueden destacar las diferencias siguientes:





- El espectro de diseño es igual al coeficiente sísmico establecido para realizar el análisis estático, tal como lo hace el Uniform Building Code en USA, debido a los problemas de uso que pueden encontrar ingenieros extranjeros si se mantiene el espectro de la norma NCh433.
- Por la razón anterior, el factor de modificación de la respuesta R es de valor constante. En la Tabla 1 se muestran algunos de los valores de R , los que reflejan un mayor nivel de seguridad sísmica, tal como se indicó anteriormente.
- Se incorpora explícitamente el valor de la razón de amortiguamiento en el coeficiente sísmico y en el espectro de diseño. En la Tabla 2 se muestran las razones de amortiguación especificadas en la norma.
- El coeficiente sísmico tiene valores máximos, indicados en la Tabla 3, y un valor mínimo igual a $0,25 A_0/g$ el cual es un 50% mayor que el valor de la norma NCh433.

Control de Deformaciones

Este control se hace a nivel de sollicitación última (no reducida), y no a nivel de sollicitaciones de servicio como lo hace la norma NCh433. Para ello, las deformaciones horizontales calculadas con solici-

taciones sísmicas reducidas deben ser multiplicadas por el factor R , o por un factor menor $R1$ si es que el coeficiente sísmico ha sido determinado por el valor mínimo. El valor más usual de la deformación máxima permitida es $0,015h$, en que h es la altura del nivel en que se está calculando la deformación. La disposición que controla la separación entre estructuras sísmicamente diferentes también está regida por el concepto anterior.

Diseño de Elementos y Equipos Montados sobre Estructuras

Estas disposiciones están basadas en datos experimentales de aceleraciones de piso que se han medido en edificios norteamericanos. El nivel de las sollicitaciones para diseñar los equipos y sus anclajes depende tanto de las características de la estructura soportante y de su capacidad para amplificar la aceleración del suelo, como del factor de modificación de la respuesta de la estructura del equipo mismo (R_p).

Las disposiciones de diseño cubren tanto el caso en que se ha determinado la aceleración del piso en que está ubicado el equipo a través de un análisis, como el caso en que no se dispone de esta información.

Disposiciones Especiales para Estructuras de Acero

Dado que no se dispone de una norma chilena para el diseño de estructuras de acero, en el capítulo 8 de la norma se incluyen disposiciones de diseño sísmico de estructuras de pórticos arriostrados, marcos rígidos sin arriostrar, conexiones, anclaje de estructuras metálicas y sistemas de arriostramiento horizontales. Estas disposiciones complementan aquellas del código norteamericano AISC, (American Institute of Steel Construction), tanto para el diseño ASD (tensiones admisibles) como LRFD (factores de carga y resistencia). En particular, las disposiciones sísmicas se han estudiado sobre la base de las disposiciones de diseño sísmico de AISC y consideraran la experiencia de la práctica chilena en el diseño sísmico de construcciones metálicas.

Disposiciones Especiales para Estructuras de Hormigón

Lo más novedoso de estas disposiciones lo constituyen las referentes al diseño de obras de hormigón prefabricado. El comité tomó la decisión de estudiar algunas disposiciones de diseño considerando



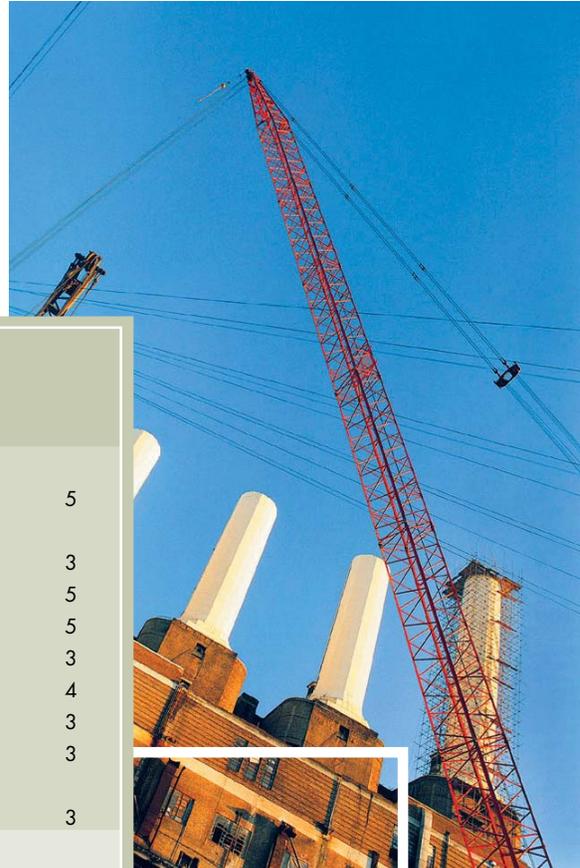


Tabla 1

Ejemplos de valores máximos del factor de modificación de la respuesta R

Estructuras de acero

Edificios y estructuras de marcos dúctiles de acero con elementos no estructurales dilatados	5
Edificios y estructuras de marcos dúctiles de acero con elementos no estructurales no dilatados e incorporados en el modelo estructural	3
Edificios y estructuras de marcos arriostrados, con anclajes dúctiles	5
Edificios industriales de un piso, con o sin puente grúa, y con arriostramiento continuo de techo	5
Edificios industriales de un piso, sin puente-grúa, sin arriostramiento continuo de techo	3
Naves de acero livianas	4
Estructuras de péndulo invertido	3
Estructuras sísmicas isostáticas	3
Estructuras de plancha o manto de acero, cuyo comportamiento sísmico está controlado por el fenómeno de pandeo local	3

Estanque, recipientes, chimeneas, silos y tolvas

Chimeneas, silos y tolvas con mantos continuos hasta el suelo	3
Silos, tolvas, estanques apoyados sobre columnas, con o sin arriostramiento entre columnas	4
Estanques de acero de eje vertical con manto continuo hasta el suelo	4
Estanques de hormigón armado de eje vertical con manto continuo hasta el suelo	3
Estanques y ductos de materiales sintéticos compuestos (FRP, GFRP, HDPE y similares)	3
Recipientes horizontales apoyados sobre cunas con anclajes dúctiles	4

Torres, tuberías y equipos

Torres de proceso	3
Torres de enfriamiento de madera o plástico	4
Gabinetes de control eléctrico apoyados en el suelo	3
Tuberías de acero, excepto sus conexiones	5
Estanterías de almacenamiento	4

Tabla 2

Razones de amortiguamiento ξ

Manto de acero soldado; chimeneas, silos, tolvas, tanques a presión, torres de proceso, cañerías, etc.	0,02
Manto de acero apernado o remachado	0,03
Marcos de acero soldados con o sin arriostramiento	0,02
Marcos de acero con uniones de terreno apernadas, con o sin arriostramiento	0,03
Estructuras de hormigón armado y albañilería	0,05
Estructuras prefabricadas de hormigón armado puramente gravitacionales	0,05
Estructuras prefabricadas de hormigón armado con uniones húmedas, no dilatadas de los elementos no estructurales e incorporados en el modelo estructural	0,05
Estructuras prefabricadas de hormigón armado con uniones húmedas dilatadas de los elementos no estructurales	0,03
Estructuras prefabricadas de hormigón armado con uniones secas, dilatadas y no dilatadas:	
Con conexiones apernadas y conexiones mediante barras embebidas en mortero de relleno	0,03
Con conexiones soldadas	0,02
Otras estructuras no incluidas o asimilables a las de esta lista	0,02



Tabla 3**Valores máximos del coeficiente sísmico**

R	C máx.		
	$\xi = 0,02$	$\xi = 0,03$	$\xi = 0,05$
1	0,79	0,68	0,55
2	0,60	0,49	0,42
3	0,40	0,34	0,28
4	0,32	0,27	0,22
5	0,26	0,23	0,18

NOTA: Los valores indicados son válidos para la zona sísmica 3.
Para las zonas sísmicas 2 y 1, los valores de esta tabla se deben multiplicar por 0,75 y 0,50, respectivamente.

el creciente uso de este tipo de estructuras en construcciones de galpones de tipo industrial así como su pobre comportamiento sísmico en movimientos recientes. Sin embargo, esto no es un impedimento para que en el futuro se estudie una norma específica sobre construcciones de hormigón prefabricado.

Se distinguen diversos tipos para materializar la prefabricación. Destacan los sistemas con conexiones húmedas, las cuales se tratan igual que una construcción de hormigón armado tradicional; aquellos con conexiones dúctiles, en las cuales se requiere que la conexión haya sido verificada mediante ensayos experimentales; y los sistemas con conexiones secas en los cuales se limita su altura a 18 metros, los valores máximos del factor R y de la razón de amortiguamiento son 4 y 0,03, respectivamente, se exige que la conexión sea un 40% más resistente que los elementos que se están uniendo, y se establece un coeficiente sísmico mínimo igual a 0,4 A_0/g .

También se dedica un párrafo especial a la estructuración de columnas en voladizo, en la cual las columnas están empotradas en el suelo y están unidas en su parte superior por elementos a través de uniones rotuladas. En estos sistemas se exige la materialización de un sistema de arriostramiento de techo conectado al extremo superior de las columnas, y que todas las columnas estén unidas por vigas-puntales en ambas direcciones horizontales. También se establece como valores máximos del factor R y de la razón de amortiguamiento los valores 3 y 0,02, respectivamente, y se establece un coeficiente sísmico mínimo igual a 0,4 A_0/g . **B**

**Referencias**

- Instituto Nacional de Normalización, Norma NCh2369.Of2003 "Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales".
- Instituto Nacional de Normalización, Norma NCh433.Of96 "Diseño sísmico de edificios".
- International Conference of Building Officials, "Uniform Building Code" (UBC), 1997.