

Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica - Requisitos

Preámbulo

El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT), representando a Chile ante esos organismos.

La norma NCh2745 ha sido preparada por la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización, y en su estudio participaron los organismos y personas naturales siguientes:

Arze, Reciné y Asociados
Instituto Nacional de Normalización, INN

Marcial Baeza S. y Asociados
Pontificia Universidad Católica de Chile

RCP Ingeniería Ltda.
Universidad de Chile

Universidad Técnica Federico Santa María
VMB Ingeniería Estructural S.A.

Iván Darrigrande E.
Pedro Hidalgo O.
Agnes Leger A.
Marcial Baeza S.
Juan C. De la Llera M.
Christian Ledezma A.
Carl Lüders Sch.
Rodrigo Concha P.
Rubén Boroschek K.
M. Ofelia Moroni Y.
Rodolfo Saragoni H.
Mauricio Sarrazín A.
Patricio Bonelli C.
Leopoldo Breschi G.

Esta norma se estudió para establecer las disposiciones exigibles al análisis y diseño de edificios que cuentan con un dispositivo de aislación sísmica.

NCh2745

Por no existir Norma Internacional, en la elaboración de esta norma se ha tomado en consideración el *Código Uniform Building Code*, la norma NCh432.Of1971 *Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones* y la norma NCh433.Of1996 *Diseño sísmico de edificios*, así como antecedentes técnicos proporcionados por el Comité.

El Anexo A no forma parte del cuerpo de la norma, se inserta sólo a título informativo.

Contenido

	Página
Preámbulo	I
0 Introducción	1
1 Alcance y campo de aplicación	2
2 Referencias normativas	2
3 Términos y definiciones	4
4 Símbolos y términos abreviados	11
5 Generalidades	20
6 Criterio de selección	26
6.1 Bases de diseño	26
6.2 Estabilidad del sistema de aislación	26
6.3 Categorías de destino	27
6.4 Requisitos de configuración	27
6.5 Selección de procedimientos de respuesta lateral	27
7 Procedimiento de análisis estático	37
7.1 Generalidades	37
7.2 Característica fuerza-deformación del sistema de aislación	37
7.3 Desplazamientos laterales mínimos	50
7.4 Fuerzas laterales mínimas	56

Contenido

	Página	
7.5	Distribución de fuerzas en vertical	58
7.6	Límite de desplazamiento de entrepiso	59
8	Procedimiento de análisis dinámico	59
8.1	Generalidades	59
8.2	Sistema de aislación y elementos de la subestructura	59
8.3	Elementos estructurales de la superestructura	61
8.4	Movimiento del suelo	61
8.5	Modelo matemático	64
8.6	Descripción de los procedimientos de análisis	68
8.7	Fuerza lateral de diseño	71
8.8	Límites de desplazamiento de entrepiso	72
9	Carga lateral en elementos de estructuras y en los componentes no estructurales soportados por estructuras	73
9.1	Generalidades	73
9.2	Fuerzas y desplazamientos	73
10	Requisitos detallados de los sistemas	74
10.1	Generalidades	74
10.2	Sistema de aislación	74
10.3	Sistema estructural	81
11	Estructuras que no forman parte de edificaciones	82

Contenido

		Página
12	Fundaciones	82
13	Revisión de diseño y construcción	83
13.1	Generalidades	83
13.2	Sistema de aislación	83
14	Ensayos requeridos para el sistema de aislación	84
14.1	Generalidades	84
14.2	Ensayos de los prototipos	85
14.3	Determinación de las características fuerza-deformación	89
14.4	Aprobación del sistema	90
14.5	Propiedades para el diseño del sistema de aislación	91
 Anexos		
	Anexo A (informativo) Bibliografía	96
 Figuras		
	Figura 1 Espectro base de diseño para zona 2 y los tres tipos de suelos ($\beta = 0,05$)	62
	Figura C.1 Probabilidad de excedencia de un nivel de aceleración máxima del suelo para tres sitios en suelo duro, en zonas sísmicas 3, 2 y 1, respectivamente, en lapsos de 50 y 100 años	6
	Figura C.2 Modo fundamental de un edificio aislado	8
	Figura C.3 Cortes de entrepiso para un marco plano aislado de 5 pisos y distintos niveles de razón de amortiguamiento en el sistema de aislación	9

Contenido

	Página
Figura C.4 Reducción promedio de aceleraciones para estructuras aisladas de período objetivo 2,5 s, sometidas a los registros chilenos del terremoto de 1985 indicados en C8.4.2	10
Figura C.5 Requerimiento de rigidez para realizar análisis estático lateral equivalente	35
Figura C.6 Ciclo fuerza-deformación de una pareja de aisladores de bajo amortiguamiento LDR	38
Figura C.7 Ciclo fuerza-deformación de una pareja de aisladores con corazón de plomo LRB	39
Figura C.8 Ajuste de un modelo bilineal al ciclo fuerza-deformación de una pareja de aisladores LRB	40
Figura C.9 Curva fuerza-deformación de una pareja de aisladores de alto amortiguamiento HDR	41
Figura C.10 Definición de modelo bilineal de una pareja de aisladores de alto amortiguamiento HDR	43
Figura C.11 Descenso del aislador como resultado de la deformación lateral γ	46
Figura C.12 Mecanismos típicos de aislación friccional y relaciones constitutivas fuerza-deformación	47
Figura C.13 Variación del coeficiente de fricción dinámico μ_d con la velocidad y presión de contacto	49
Figura C.14 Variación observada de los coeficientes de roce $\mu_{\text{mín.}}$, $\mu_{\text{máx.}}$ y μ_s , como función de la presión de contacto	50
Figura C.15 Factor de modificación de respuesta para suelo tipo II obtenido a partir de registros compatibles	52
Figura C.16 Deformada instantánea del edificio aislado FCC (Fire Command & Control Building) durante el sismo de Northridge, 1994	58
Figura C.17 Definición del espectro de diseño de pseudo-aceleración	62

Contenido

	Página
Figura C.18 Registros sintéticos compatibles con los espectros de diseño para $\beta = 0,5$. Ellos fueron obtenidos a partir de una componente de registros reales en suelos I, II y III	63
Figura C.19 Amplificación de registros y combinación de componentes	64
Figura C.20 Definición de la zona de independencia de velocidad de carga para un aislador	87
Figura C.21 Cálculo de la rigidez efectiva (secante) máxima y mínima para una pareja de aisladores elastoméricos	91
Figura C.22 Efecto de la carga axial sobre la curva fuerza-deformación medida en un aislador FPS	92
 Tablas	
Tabla 1 Coeficiente de destino de la estructura	94
Tabla 2 Factores de modificación de respuesta por amortiguamiento, B_D y B_M	94
Tabla 3 Factor de amplificación para el sismo máximo posible (Probabilidad de excedencia del PGA igual a 10% en 100 años)	95
Tabla 4 Factor de reducción para el diseño de la superestructura	95
Tabla 5 Factor que depende de la zonificación sísmica definida en NCh433	95
Tabla 6 Definición del espectro de diseño, SDI	95
Tabla C.1 Valor del coeficiente "a"	52
Tabla C.2 Factores de modificación de respuesta por amortiguamiento, B_D y B_M (UBC)	53
Tabla C.3 Irregularidades verticales estructurales	66
Tabla C.4 Irregularidades estructurales en planta	67
Tabla C.5 Resumen de propiedades mecánicas de la pareja de aisladores de Figura C.21 para $\gamma = 100\%$ (columnas 3 a 6)	91

Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica - Requisitos

0 Introducción

0.1 El proyecto de norma que sirvió de base a la discusión de esta norma fue el resultado del trabajo del Grupo N° 5 de la Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Sísmica, ACHISINA, Protección Sísmica: Aislación Sísmica y Disipación de Energía, desde su creación en el año 1999. El proyecto contiene la traducción, comentario, y adaptación del código *Uniform Building Code* del año 1997 a la realidad sísmica chilena. En lo posible, este documento fue compatibilizado además con la norma chilena NCh433.Of1996 *Diseño sísmico de edificios*. Esto no fue una tarea sencilla debido a que el diseño de estructuras aisladas se basa principalmente en criterios de desempeño que no son consistentes con la filosofía de NCh433.Of1996 vigente.

0.2 Tal vez una de las lecciones más significativas que dejó la terrible experiencia ocurrida en los terremotos de Northridge (1994) y Kobe (1995), fue el exitoso comportamiento sísmico de las estructuras con aislación basal. Este resultado ha ocasionado una explosión en el desarrollo y uso de los sistemas de aislación en Japón, y en menor medida en California. Frente a esta rápida evolución de la Ingeniería Sísmica en el mundo hacia el uso de sistemas de reducción de vibraciones, en particular, de aislación sísmica, se torna necesario complementar los códigos sísmicos actualmente existentes con requisitos específicos para estructuras aisladas. Esta necesidad es compartida por los distintos agentes involucrados en el desarrollo y ejecución de proyectos civiles: inmobiliarias, constructoras, fabricantes, proyectistas, y usuarios, quienes favorecen el concepto de la aislación sísmica, pero que requieren como respaldo, un estándar mínimo para el diseño y construcción de estas estructuras.

0.3 Aunque en principio la idea de traducir y adaptar un código existente pareció una tarea sencilla, el tiempo y esfuerzo involucrado en este trabajo ha demostrado lo contrario. Especialmente laborioso ha sido el desarrollo de un comentario, que si bien puede ser aún pulido considerablemente, incluye aspectos relevantes que en opinión del Comité pueden ayudar eficazmente a la comprensión de los conceptos fundamentales del comportamiento sísmico de estructuras aisladas como también a aspectos muy concretos de su diseño.

0.4 Las disposiciones de esta norma no pueden garantizar por sí solas un buen comportamiento sísmico de las estructuras aisladas. Esto se debe a que este comportamiento está influido por la forma de dimensionamiento o diseño de los elementos estructurales, la cual depende de la norma de diseño del material correspondiente, y particularmente, por la forma en que se ejecutó la construcción del edificio. A esto se debe agregar que la capacidad y seguridad sísmica de la estructura y elementos no estructurales se ven afectados por el nivel de deterioro a que se ve expuesto el edificio, a las modificaciones que eventualmente se realicen durante su vida útil y por la severidad y características del evento sísmico.

1 Alcance y campo de aplicación

Esta norma establece requisitos para el análisis y diseño sísmico de edificios con aislación sísmica. También establece requisitos para el diseño de los elementos no estructurales soportados por el edificio y los ensayos requeridos para el sistema de aislación. Esta norma no incluye el diseño sísmico de edificios que usan disipadores de energía en la superestructura.

2 Referencias normativas

Los documentos normativos siguientes contienen disposiciones que, a través de referencias en el texto de la norma, constituyen requisitos de la norma.

A la fecha de publicación de esta norma estaba vigente la edición que se indica a continuación.

Todas las normas están sujetas a revisión y a las partes que deban tomar acuerdos, basados en esta norma, se les recomienda investigar la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las normas que se incluyen a continuación.

NOTA - El Instituto Nacional de Normalización mantiene un registro de las normas nacionales e internacionales vigentes.

NCh427.cR1977	<i>Especificaciones para el cálculo de estructuras de acero para edificios.</i>
NCh430.EOf1961	<i>Hormigón armado - II Parte.</i>
NCh432.Of1971	<i>Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones.</i>
NCh433.Of1996	<i>Diseño sísmico de edificios.</i>

- NCh1537.Of1986 *Diseño estructural de edificios - Cargas permanentes y sobrecarga de uso.*
- NCh1928.Of1993 *Albañilería armada - Requisitos para el diseño y cálculo.*
- NCh2123.Of1997 *Albañilería confinada - Requisitos de diseño y cálculo.*
- UBC: 1997 *Uniform Building Code.*

NCh2745	Comentarios
<p>3 Términos y definiciones</p> <p>Para los propósitos de esta norma, se aplican los términos y definiciones siguientes:</p> <p>3.1 aislador: elemento estructural del sistema de aislación que es horizontalmente flexible y verticalmente rígido y que permite grandes deformaciones laterales bajo sollicitación sísmica. Es un elemento que se puede utilizar como parte del, o adicionalmente al, sistema de carga gravitacional de la estructura</p> <p>3.2 amortiguamiento efectivo: valor de la razón de amortiguamiento viscoso equivalente que se obtiene de la energía disipada para respuesta cíclica del sistema de aislación</p> <p>3.3 desplazamiento de diseño: desplazamiento lateral producido por el sismo de diseño, excluyendo el desplazamiento debido a la torsión natural y accidental, requerido para el diseño del sistema de aislación</p> <p>3.4 desplazamiento máximo: desplazamiento lateral provocado por el sismo máximo posible, excluyendo el desplazamiento adicional debido a la torsión natural y accidental, requerido para el diseño del sistema de aislación</p> <p>3.5 desplazamiento total de diseño: desplazamiento lateral provocado por el sismo de diseño, incluyendo desplazamientos adicionales debidos a la torsión natural y accidental, requerido para el diseño del sistema de aislación o de algún elemento de él</p> <p>3.6 desplazamiento total máximo: desplazamiento lateral máximo provocado por el sismo máximo posible incluyendo desplazamientos adicionales debidos a la torsión natural y accidental, requerido para</p>	<p>C3 Términos y definiciones</p> <p>C.3.1 Típicamente, la rigidez vertical mínima del sistema de aislación es tal que la frecuencia de vibración propia de la estructura en sentido vertical, suponiendo una superestructura rígida, debe superar los 10 Hz (C7.2.d.1). Por ejemplo, suponiendo una frecuencia horizontal propia de la estructura aislada de 0,5 Hz, la rigidez vertical de un aislador resulta ser: $k_v = (f_v/f_h)^2 k_h = 400 k_h$, esto es, 400 veces más grande que su rigidez horizontal.</p>

NCh2745	Comentarios
<p>la verificación de la estabilidad del sistema de aislación, o elementos de él, para el diseño de las separaciones entre edificios, y para los ensayos bajo carga vertical de los prototipos de los aisladores</p> <p>3.7 interfaz de aislación: espacio generado por el sistema de aislación que se encuentra limitado en su parte superior por la superestructura y en su parte inferior por la subestructura (ver 3.14 y 3.15)</p> <p>3.8 pares de registros: registros del movimiento según dos direcciones ortogonales</p> <p>3.9 rigidez efectiva o secante: valor de la fuerza lateral que se genera en el sistema de aislación, o en un elemento de él, dividido por el desplazamiento lateral correspondiente</p> <p>3.10 sismo de diseño (SDI): nivel del movimiento sísmico del suelo que tiene como mínimo el 10% de probabilidad de excedencia en 50 años</p> <p>3.11 sismo máximo posible (SMP): nivel máximo del movimiento del suelo que puede ocurrir en el lugar de edificación dentro del esquema geológico conocido. En zonas de alta sismicidad, (Zona Sísmica 3 ó 2 de NCh433), éste puede tener una intensidad que se puede considerar como el nivel del movimiento sísmico del suelo que tiene un 10% de probabilidad de ser excedido en un período de 100 años</p>	<p>C3.10 y C3.11 La Figura C.1 muestra como ejemplo el cálculo de la probabilidad de excedencia de un cierto nivel de aceleración máxima del suelo para tres localidades ubicadas en suelo duro, en zonas sísmicas 3, 2 y 1, respectivamente.</p> <p>Para zona sísmica 3, se observa que para una probabilidad de excedencia del 10% y $T = 50$ años, la aceleración resultante varía entre 0,45 g y 0,6 g, dependiendo de la relación de atenuación utilizada.</p>

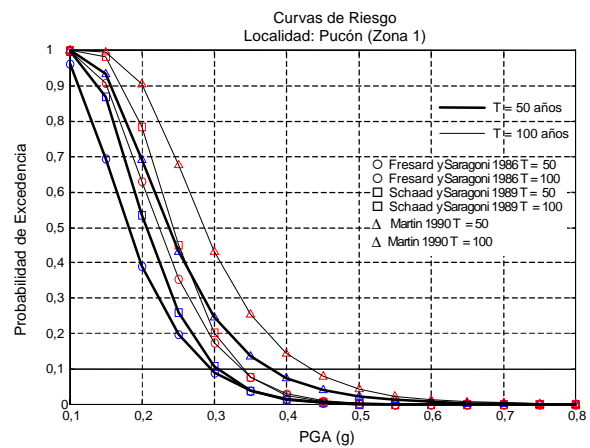
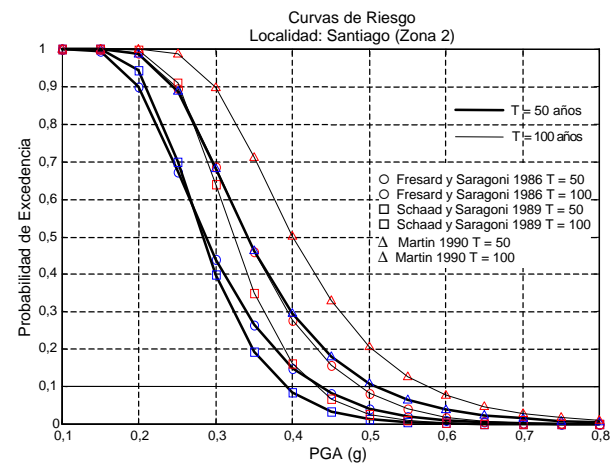
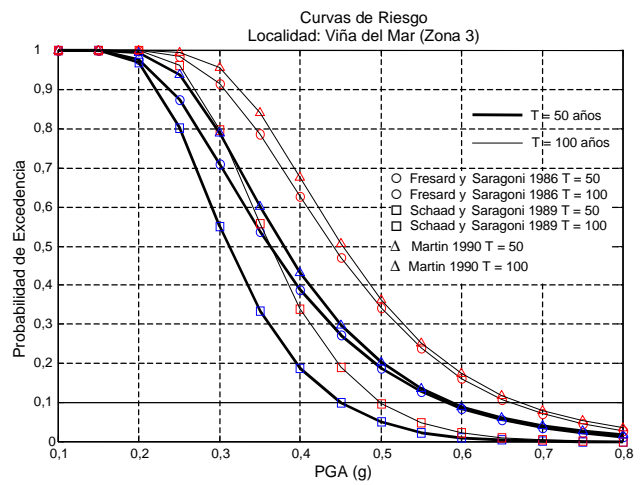


Figura C.1 - Probabilidad de excedencia de un nivel de aceleración máxima del suelo para tres sitios en suelo duro, en zonas sísmicas 3, 2 y 1, respectivamente, en lapsos de 50 y 100 años (Anexo A, [6, 14, 24])

NCh2745	Comentarios
<p>3.12 sistema de aislación: conjunto de elementos estructurales que incluye a todos los aisladores individuales, todos los elementos estructurales que transfieren fuerza entre los elementos del sistema de aislación y la superestructura y subestructura, y todas las conexiones a otros elementos estructurales. El sistema de aislación también incluye al sistema de restricción al viento en caso que dicho sistema se use para satisfacer los requisitos de esta norma</p>	<p>Similarmente, se observa que para las otras zonas sísmicas, los valores de aceleración del suelo correspondientes a un nivel de excedencia de 10% en 50 años varían entre 0,4 g y 0,5 g para zona 2 y entre 0,3 g y 0,38 g para zona 1.</p> <p>En base a los resultados de Figura C.1 se observa que el rango de aceleraciones máximas del suelo para estos sitios, y para una probabilidad de excedencia de 10% en 100 años, varían entre 0,5 g y 0,65 g para zona 3; 0,45 g y 0,58 g para zona 2; 0,35 g y 0,45 g para zona 3.</p> <p>Consecuentemente las razones promedio entre las aceleraciones máximas correspondientes al SMP y el SDI son, 1,15; 1,12 y 1,14, respectivamente para las zonas 3; 2 y 1, respectivamente. Debido a la similitud entre estas razones se ha optado por proponer un factor de amplificación M_M entre ambos niveles igual a 1,2.</p> <p>La elección de la aceleración máxima del suelo como parámetro de definición para M_M es arbitraria. Sin embargo, a falta de mediciones de velocidad y desplazamiento del suelo en eventos del <i>tipo máximo posible</i>, parece razonable escoger por el momento los resultados basados en aceleración máxima, que se acostumbra a utilizar en los estudios de riesgo.</p> <p>C 3.12 sistema de aislación</p> <p>C3.12.a El objetivo fundamental de la aislación sísmica es <i>desacoplar</i> horizontalmente la estructura del suelo de fundación con el objeto de que el movimiento horizontal del suelo durante un sismo no se transmita a la estructura y que ella permanezca idealmente inmóvil en un marco de referencia inercial. Por cierto que un desacople perfecto entre suelo y estructura es impracticable actualmente; sin embargo, cualquier sistema de aislación busca concentrar en él la deformación impuesta por el suelo,</p>

filtrando el movimiento que se trasmite hacia la superestructura.

C3.12.b De esta forma, una estructura aislada adecuadamente tendrá un modo fundamental de vibrar como el indicado en Figura C.2 en que se observa que la superestructura es esencialmente rígida y la deformación se concentra en el nivel de aislación. Es importante observar además, que una estructura aislada tendrá generalmente dos frecuencias modales traslacionales (modo aislado traslacional) prácticamente iguales, asociadas al modo indicado en la figura en ambas direcciones horizontales. La frecuencia torsional fundamental del sistema (modo aislado torsional) puede diferir considerablemente de las frecuencias fundamentales traslacionales, dependiendo de la ubicación en planta de los aisladores y sus rigideces relativas, aunque en distribuciones uniformes la razón de frecuencia torsional y lateral es similar (ver Anexo A, [13]) a 1. Cabe aclarar también, que las frecuencias asociadas a los modos superiores de la estructura (modos 4, 5,...) no corresponden ni se parecen a las frecuencias de la estructura con base fija. En verdad estos modos superiores son similares a los modos de deformación de la estructura sin restricción en su base (estructura libre).

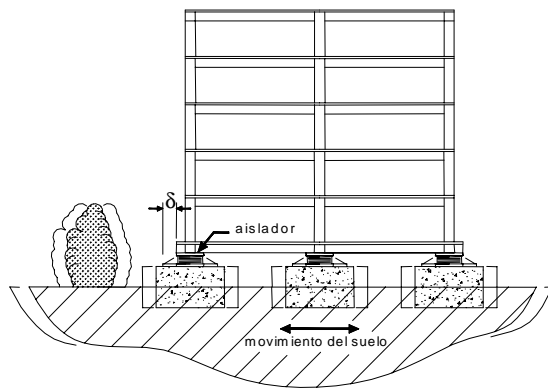


Figura C.2 - Modo fundamental de un edificio aislado

C3.12.c El sistema de aislación debe satisfacer tres requisitos fundamentales:

- 1) tener una gran flexibilidad horizontal de modo de alargar el período fundamental de vibración de la estructura a una zona de menor aceleración espectral;
- 2) introducir un nivel de disipación de energía de modo de reducir la demanda de deformación sobre el sistema de aislación; y
- 3) proveer una rigidez suficiente para cargas de servicio de la estructura de modo de evitar vibraciones molestas.

C3.12.d El incremento de amortiguamiento en el sistema de aislación conduce típicamente a una menor demanda de deformación sobre el sistema de aislación, lo que a su vez implica una reducción de la fuerza de corte que actúa sobre el sistema de aislación y la superestructura. El nivel óptimo de amortiguamiento del sistema depende ciertamente del objetivo de diseño en lo referente a la demanda sobre la estructura (deformaciones) y sus contenidos (aceleraciones); de hecho, un aumento excesivo del amortiguamiento conduce a un aumento de las aceleraciones de piso lo que puede inducir problemas con los contenidos de la estructura (Figura C.3).

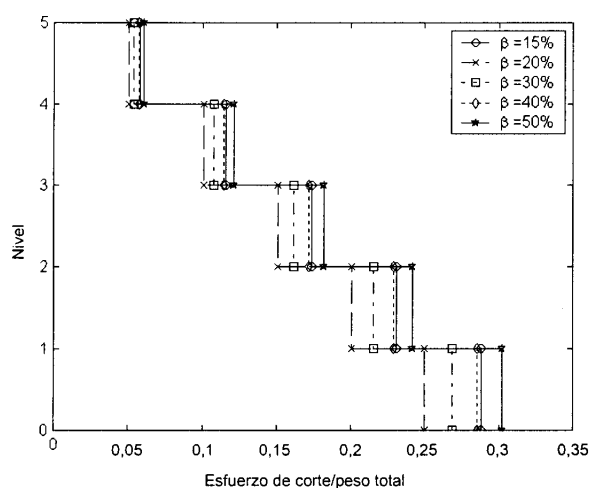


Figura C.3 - Cortes de entrepiso para un marco plano aislado de 5 pisos y distintos niveles de razón de amortiguamiento en el sistema de aislación

C3.12.e Por último, es interesante ilustrar para un sistema de un grado de libertad cuál es el nivel de reducción de respuesta que se espera con el uso de la aislación sísmica. La Figura C.4 muestra el promedio de la reducción de respuesta de deformación y aceleración total que se obtiene al aislar estructuras convencionales con períodos fundamentales entre 0,3 s y 1,5 s y un período aislado objetivo de 2,5 s para los sismos chilenos que se indican en C8.4.2. Como se aprecia, la reducción de deformaciones y aceleraciones decrece en la medida que la estructura convencional se hace más flexible; sin embargo, para períodos de la estructura convencional de hasta 0,7 s, las reducciones observadas son del orden de 10.

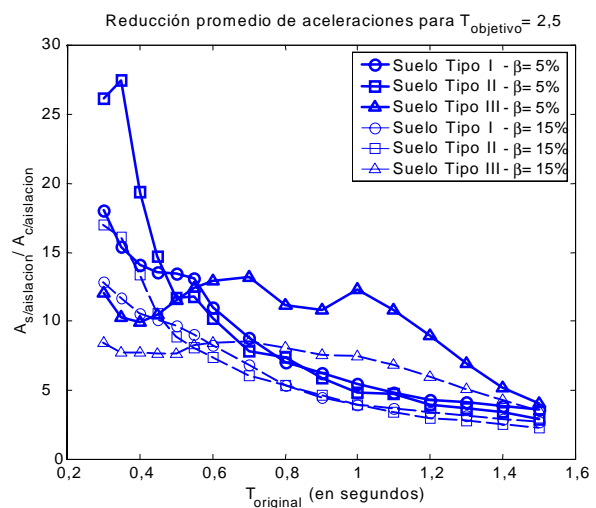


Figura C.4 - Reducción promedio de aceleraciones para estructuras aisladas de período objetivo 2,5 s, sometidas a los registros chilenos del terremoto de 1985 indicados en C8.4.2

3.13 sistema para restringir los efectos del viento: conjunto de elementos estructurales que proveen una restricción al desplazamiento horizontal de la estructura aislada ante cargas de viento. El sistema de restricción puede ser parte integral de los aisladores o bien ser un dispositivo independiente

NCh2745	Comentarios
<p>3.14 subestructura: porción de la estructura que se encuentra por debajo del nivel de aislación</p> <p>3.15 superestructura: porción de la estructura que se encuentra por sobre el nivel de aislación</p> <p>4 Símbolos y términos abreviados</p> <p>Para los propósitos de esta norma, se aplican los símbolos y términos abreviados de NCh433 y adicionalmente los siguientes:</p> <p>B_D = coeficiente numérico relativo a la razón de amortiguamiento efectivo del sistema de aislación para el desplazamiento de diseño, β_D (ver Tabla 2)</p> <p>B_M = coeficiente numérico relativo a la razón de amortiguamiento efectivo del sistema de aislación para el desplazamiento máximo, β_M (ver Tabla 2)</p> <p>b = dimensión más corta de la planta de la estructura, medida perpendicularmente a d</p> <p>C_D = coeficiente sísmico de desplazamiento correspondiente al nivel sísmico de diseño, según ecuación 1</p> <p>C_M = coeficiente sísmico de desplazamiento correspondiente al nivel sísmico máximo posible, según ecuación 3</p> <p>D_D = desplazamiento de diseño, en milímetros (mm), en el centro de rigidez del sistema de aislación en la dirección bajo</p>	<p>C4 Símbolos y términos abreviados</p>

NCh2745	Comentarios
<p>consideración, como se indica en 7.3.1</p>	
<p>D'_D = desplazamiento de diseño, en milímetros (mm), en el centro de rigidez del sistema de aislación en la dirección bajo consideración, como se indica en 8.2</p>	
<p>D_M = desplazamiento máximo, en milímetros (mm), en el centro de rigidez del sistema de aislación en la dirección bajo consideración, como se indica en 7.3.3</p>	
<p>D'_M = desplazamiento máximo, en milímetros (mm), en el centro de rigidez del sistema de aislación en la dirección bajo consideración, como se indica en 8.2</p>	
<p>D_{TD} = desplazamiento total de diseño, en milímetros (mm), de un elemento del sistema de aislación incluyendo tanto el desplazamiento traslacional en el centro de rigidez, D'_D, como la componente de desplazamiento torsional en la dirección bajo consideración, como se especifica en 7.3.5</p>	
<p>D_{TM} = desplazamiento total máximo, en milímetros (mm), de un elemento del sistema de aislación incluyendo tanto el desplazamiento traslacional en el centro de rigidez, D_M, como la componente de desplazamiento torsional en la dirección bajo consideración, como se indica en 7.3.3</p>	

NCh2745	Comentarios
d	= dimensión en planta más larga de la estructura
E_{CICLO}	= energía disipada, en kN-mm, en un aislador durante un ciclo completo de carga reversible, en un rango de desplazamiento de ensayo de Δ^+ a Δ^- , medida por el área encerrada por un ciclo de la relación constitutiva fuerza-defomación
$\sum E_D$	= total de energía disipada, en kN-mm, por todos los aisladores durante un ciclo completo de respuesta al desplazamiento de diseño, D_D
$\sum E_M$	= total de energía disipada, en kN-mm, por todos los aisladores durante un ciclo completo de respuesta al desplazamiento máximo, D_M
e	= excentricidad real, en milímetros (mm), medida en planta entre el centro de masa de la superestructura y el centro de rigidez del sistema de aislación, más la excentricidad accidental, igual a un 5% de la dimensión máxima de la planta perpendicular a la dirección de la sollicitación sísmica considerada
$F -$	= fuerza negativa, en kN, en un aislador, durante un ciclo de ensayo a un desplazamiento con una amplitud Δ^-
$F +$	= fuerza positiva, en kN, en un aislador, durante un ciclo de ensayo a un desplazamiento con una amplitud Δ^+

NCh2745	Comentarios	
$\sum F_D^+ _{\text{máx.}}$ <p>= suma para todos los aisladores de los valores absolutos de la fuerza positiva máxima de un aislador al desplazamiento positivo D_D. Para un aislador determinado, la fuerza positiva máxima al desplazamiento positivo, D_D, se determina comparando cada una de las fuerzas positivas que ocurren durante cada ciclo de la secuencia de ensayos asociada con el desplazamiento D_D y seleccionando el valor positivo máximo al desplazamiento positivo D_D</p>	<p>La distinción que se realiza entre F_D^+ y F_D^+ es especialmente importante en el caso de aisladores elastoméricos en que la diferencia de las fuerzas máximas depende en general del número de ciclo en cuestión debido a un fenómeno conocido como <i>scragging</i>. El <i>scragging</i> se debe a un cambio en la estructura del material como resultado de la deformación y justifica la necesidad de eliminarlo mediante ciclado del dispositivo previo a su uso en la estructura (ver 14.5).</p>	
$\sum F_D^+ _{\text{mín.}}$ <p>= suma para todos los aisladores de los valores absolutos de la fuerza positiva mínima de un aislador al desplazamiento positivo D_D. Para un aislador determinado, la fuerza positiva mínima al desplazamiento positivo D_D se determina comparando cada una de las fuerzas positivas que ocurren durante cada ciclo de la secuencia de ensayos asociada con el desplazamiento D_D y seleccionando el valor positivo mínimo al desplazamiento positivo D_D</p>		
$\sum F_D^- _{\text{máx.}}$ <p>= suma para todos los aisladores de los valores absolutos de la fuerza negativa máxima en valor absoluto de un aislador al desplazamiento negativo D_D. Para un aislador determinado, la fuerza negativa máxima al desplazamiento negativo D_D se</p>		

NCh2745	Comentarios
<p>determina comparando cada una de las fuerzas negativas que ocurren durante cada ciclo de la secuencia de ensayos asociada con el incremento de desplazamiento D_D y seleccionando el valor absoluto máximo al desplazamiento negativo D_D</p> <p>$\sum F_D^- _{\text{mín.}}$ = suma para todos los aisladores de los valores absolutos de la fuerza negativa mínima en valor absoluto de un aislador al desplazamiento negativo D_D. Para un aislador determinado, la fuerza negativa mínima en el desplazamiento negativo D_D se determina comparando cada una de las fuerzas negativas que ocurren durante cada ciclo de la secuencia de ensayos asociada con el incremento de desplazamiento D_D y seleccionando el valor absoluto mínimo al desplazamiento negativo D_D</p> <p>$\sum F_M^+ _{\text{máx.}}$ = suma para todos los aisladores de los valores absolutos de la fuerza positiva máxima de un aislador al desplazamiento positivo D_M. Para un aislador determinado, la fuerza positiva máxima al desplazamiento positivo, D_M, se determina comparando cada una de las fuerzas positivas que ocurren durante cada ciclo de la secuencia de ensayos asociada con el incremento de desplazamiento D_M y seleccionando el valor positivo</p>	

NCh2745	Comentarios
<p>máximo al desplazamiento positivo D_M</p> <p>$\sum F_M^+ _{\text{mín.}}$ = suma para todos los aisladores de los valores absolutos de la fuerza positiva mínima de un aislador al desplazamiento positivo D_M. Para un aislador determinado, la fuerza positiva mínima al desplazamiento positivo D_M se determina comparando cada una de las fuerzas positivas que ocurren durante cada ciclo de la secuencia de ensayos asociada con el incremento de desplazamiento D_M y seleccionando el valor positivo mínimo al desplazamiento positivo D_M</p> <p>$\sum F_M^- _{\text{máx.}}$ = suma para todos los aisladores de los valores absolutos de la fuerza negativa máxima en valor absoluto de un aislador al desplazamiento negativo D_M. Para un aislador determinado, la fuerza negativa máxima al desplazamiento negativo D_M se determina comparando cada una de las fuerzas negativas que ocurren durante cada ciclo de la secuencia de ensayos asociada con el incremento de desplazamiento D_M y seleccionando el valor absoluto máximo al desplazamiento negativo D_M</p> <p>$\sum F_M^- _{\text{mín.}}$ = suma para todos los aisladores de los valores absolutos de la fuerza negativa mínima en valor absoluto de un aislador al</p>	

NCh2745	Comentarios
	<p>desplazamiento negativo D_M.</p> <p>Para un aislador determinado, la fuerza negativa mínima al desplazamiento negativo D_M se determina comparando cada una de las fuerzas negativas que ocurren durante cada ciclo de la secuencia de ensayos asociada con el incremento de desplazamiento D_M y seleccionando el valor absoluto mínimo al desplazamiento negativo D_M</p>
g	= constante de aceleración de gravedad, (9 810 mm/s ²)
H_r	= altura total de la goma del aislador
h_i	= altura en metros sobre la base hasta el nivel i
h_x	= altura en metros sobre la base hasta el nivel x
k_{ef}	= rigidez efectiva o secante de un aislador, en kN/mm, como indica ecuación 11
$k_{D \text{ máx.}}$	= rigidez efectiva o secante máxima del sistema de aislación, en kN/mm, al desplazamiento de diseño en la dirección horizontal considerada
$k_{M \text{ máx.}}$	= rigidez efectiva o secante máxima del sistema de aislación, en kN/mm, al desplazamiento máximo en la dirección horizontal considerada
$k_{D \text{ mín.}}$	= rigidez efectiva o secante mínima del sistema de aislación, en kN/mm, al desplazamiento de

NCh2745	Comentarios
<p>diseño en la dirección horizontal considerada</p>	
<p>$k_{M \text{ mín.}}$ = rigidez efectiva o secante mínima del sistema de aislación, en kN/mm, al desplazamiento máximo en la dirección horizontal considerada</p>	
<p>M_M = coeficiente numérico relacionado con la respuesta al sismo máximo posible (ver Tabla 3)</p>	
<p>R_l = coeficiente de reducción para estructuras aisladas sísmicamente, relacionado con el sistema resistente a las fuerzas laterales de la superestructura como se establece en Tabla 3</p>	
<p>T_D = período efectivo, en segundos, de la estructura aislada al desplazamiento de diseño en la dirección considerada, como se indica en ecuación 2</p>	
<p>T_M = período efectivo, en segundos, de la estructura aislada al desplazamiento máximo en la dirección considerada, como se indica en ecuación 4</p>	
<p>V_b = fuerza o corte lateral total de diseño sísmico en los elementos del, o por debajo del, sistema de aislación, como se indica en ecuación 7</p>	
<p>V_s = fuerza o corte lateral total de diseño sísmico en los elementos de la superestructura, como se indica en ecuación y en los límites especificados en cláusula 7</p>	

NCh2745	Comentarios
W	= carga muerta sísmica total definida en NCh433. Para el diseño del sistema de aislación, W es el peso de la carga muerta sísmica total de la superestructura
w_i	= la parte de W ubicada o asignada al nivel i
w_x	= la parte de W ubicada o asignada al nivel x
y	= distancia, en milímetros (mm), entre el centro de rigidez del sistema de aislación y el elemento de interés, medida perpendicularmente a la dirección de la sollicitación sísmica considerada
Z	= factor que depende de la zonificación sísmica definida en NCh433; se establece en Tabla 5
β_{ef}	= amortiguamiento efectivo del sistema de aislación y del aislador como indica ecuación 12
β_D	= amortiguamiento efectivo del sistema de aislación, al desplazamiento de diseño como indica ecuación 17
β_M	= amortiguamiento efectivo del sistema de aislación, al desplazamiento máximo como indica ecuación 18
γ	= deformación angular del elastómero calculada como el cociente entre la deformación de corte y la altura de goma

NCh2745	Comentarios
<p>Δ^+ = desplazamiento positivo máximo de un aislador durante cada ciclo de ensayo del prototipo</p> <p>Δ^- = desplazamiento negativo mínimo de un aislador durante cada ciclo de ensayo del prototipo</p>	
<h2>5 Generalidades</h2>	<h2>C5 Generalidades</h2>
<p>5.1 Todas las estructuras con aislación sísmica y cada porción de las mismas se deben diseñar y construir de acuerdo con los requisitos de esta norma. Las disposiciones de NCh433 también son obligatorias, en lo que no contradigan las disposiciones de la presente norma.</p> <p>5.2 El sistema resistente a fuerzas laterales y el sistema de aislación se deben diseñar para resistir las deformaciones y los esfuerzos producidos por los efectos de movimientos del suelo como lo dispone esta norma.</p> <p>5.3 Cuando las fuerzas de viento indicadas en NCh432, produzcan deformaciones o esfuerzos mayores, dichas cargas se deben utilizar para el diseño en lugar de las deformaciones y esfuerzos resultantes de las fuerzas sísmicas.</p>	<p>C5.a Introducción</p> <p>C5.a.1 Durante la última década el concepto de aislación sísmica se ha comenzado a considerar seriamente como una alternativa en el diseño sismorresistente de estructuras, especialmente en aquellos casos en que se busca un mejor desempeño sísmico para las estructuras y sus contenidos. El buen desempeño que las estructuras aisladas han tenido durante los sismos de Northridge (Los Angeles, 1994) y Kobe (Kobe, 1995), avalan las bondades de esta alternativa en cuanto a aumentar considerablemente el nivel de seguridad para las personas y la operabilidad de la estructura después de un sismo.</p> <p>C5.a.2 Actualmente, los conceptos de aislación sísmica se enseñan como parte del currículo de Ingeniería Civil en la mayoría de las Universidades mundialmente reconocidas, innumerables investigaciones se han desarrollado para demostrar la eficiencia de la aislación sísmica como una técnica sismorresistente, y numerosos dispositivos de aislación están comercialmente disponibles para su implementación en la práctica. Consecuentemente, se ha desarrollado una creciente necesidad de suplementar los códigos sísmicos actualmente vigentes con requisitos específicos para estructuras aisladas. Esta necesidad es compartida por los organismos encargados de la construcción y el público en general, quienes requieren que esta tecnología se implemente adecuadamente, y por los ingenieros proyectistas, los que requieren un estándar</p>

NCh2745	Comentarios
	<p>mínimo para el diseño y construcción de estructuras con esta tecnología.</p> <p>C5.a.3 Los primeros esfuerzos en la dirección de un código para el diseño de estructuras aisladas sísmicamente fue publicado por el Structural Engineering Association of California, SEAOC, el año 1986 en el documento <i>Tentative Seismic Isolation Design Requirements</i> (ver Anexo A, [21]). Reconociendo la necesidad de obtener un documento que represente una opinión consensuada, el comité sismológico del SEAOC desarrolló los requisitos de diseño <i>General Requirements for the Design and Construction of Seismic Isolated Structures</i> que fueron publicados en el apéndice 1 L del libro azul del SEAOC (ver Anexo A, [22]) en 1990. Estos mismos requisitos fueron publicados posteriormente como un apéndice no mandatorio del Capítulo 23 del UBC (ver Anexo A, [9]) en el año 1991. El comité sismológico del SEAOC y del <i>International Conference of Building Officials, ICBO</i>, han revisado este documento periódicamente desde entonces y versiones posteriores de estos requisitos se pueden encontrar en el libro azul del SEAOC (ver Anexo A, [23]) del año 1996, y en el código UBC (ver Anexo A, [12]) del año 1997. Por otra parte, el Consejo de Seguridad Sísmica para Edificios encomendó la incorporación de requisitos para el diseño de estructuras con aislación sísmica y disipación de energía en los requisitos de <i>National Earthquake Hazard Reduction Program, NEHRP</i>, del año 1994. Estos requisitos fueron modificados en la versión del año 1997 en que los tres documentos NEHRP/UBC/SEAOC fueron compatibilizados.</p> <p>C5.a.4 El largo camino recorrido por estas tres instituciones y comités en EEUU avala la decisión del Grupo N° 5 de ACHISINA encargado de realizar esta norma de basar su trabajo en el documento UBC (ver Anexo A, [12]) del año 1997. Aunque el documento UBC (ver Anexo A, [12]) puede ser criticado en</p>

NCh2745	Comentarios
	<p>diversos aspectos, su filosofía y criterios han sido ampliamente discutidos y aceptados por la comunidad científica y profesional en el mundo. Esto no implica que el documento no sea perfectible, y ha sido la intención de este grupo de trabajo el introducir cambios y comentarios en aquellos puntos debatibles y arbitrarios.</p> <p>C5.b Filosofía de los requisitos de diseño para estructuras aisladas</p> <p>C5.b.1 Es condición esencial de una estructura aislada el que su desempeño objetivo no sólo involucre la protección de la vida durante un sismo severo, sino también la reducción del daño de la estructura y sus contenidos. De esta forma, los requisitos de diseño que se presentan en esta norma son una combinación de ambos objetivos: protección a la vida y reducción del daño.</p> <p>C5.b.2 Como punto de partida, estos requisitos definen dos niveles sísmicos: un nivel sísmico de diseño (SDI) y un nivel sísmico máximo posible (SMP). El sismo de diseño coincide con el nivel utilizado comúnmente en el diseño de estructuras convencionales consistente con una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años. Por otra parte, el sismo máximo posible corresponde al máximo nivel de movimiento del suelo que puede ocurrir dentro del marco geológico conocido y ha sido definido como el nivel que tiene una probabilidad de excedencia de un 10% en un período de 100 años.</p> <p>Estos niveles de riesgo, que son consistentes con la tendencia mundial en los códigos de aislación sísmica, son distintos a los utilizados en NCh433, lo que será reflejado a través de un espectro de diseño que difiere del contenido en dicha norma. El nuevo espectro deberá reflejar, además, un nivel de seguridad superior para el sistema de aislación, debido a que su falla compromete necesariamente la estabilidad vertical de la estructura completa.</p>

NCh2745	Comentarios
	<p>C5.b.3 Para el diseño de estructuras aisladas se requiere que el sistema de aislación sea capaz de sostener las deformaciones y cargas correspondientes al SMP sin falla. Análogamente, cualquier sistema que cruce la interfaz de aislación se debe diseñar para acomodar el desplazamiento correspondiente al SMP.</p> <p>C5.b.4 Estas recomendaciones buscan, además, que la superestructura permanezca esencialmente elástica durante el sismo de diseño, a diferencia de los requisitos para estructuras con base fija que buscan alcanzar sólo un nivel de protección razonable para fallas estructurales mayores y pérdida de vidas sin hacer hincapié en limitar el daño o mantener las funciones de la estructura. La filosofía actual sismorresistente establece que las <i>fuerzas laterales de diseño</i> sean, digamos, un octavo de las fuerzas reales que ocurrirían en el edificio si éste permaneciera elástico durante el sismo. La seguridad a la vida se provee entonces a través de requerir que el sistema tenga una ductilidad adecuada y permanezca estable gravitacionalmente sin daño masivo o falla para desplazamientos que exceden con creces el límite de fluencia del sistema. Sin embargo, daño a los elementos estructurales, componentes no estructurales, y contenidos son probables en una estructura convencional para un evento mayor.</p> <p>C5.b.5 Para una estructura convencional, su sobrevivencia para el SMP no se verifica explícitamente y se maneja implícitamente a través de mayor ductilidad y mayor detalle de los elementos. Por el contrario, en estructuras aisladas la verificación del desempeño de la estructura para el SMP se debe realizar analítica y experimentalmente. El criterio detrás de esta verificación es proveer evidencia que en el peor escenario sísmico posible, la estructura aislada es al menos tan segura como la estructura convencional. El diseño explícito del sistema de aislación y el ensayo de aisladores para el SMP es necesario</p>

NCh2745	Comentarios
	<p>actualmente debido a que aún no existe suficiente evidencia práctica como para permitir un criterio menos conservador. Es importante notar que, los aisladores friccionales o elastoméricos convencionales utilizados permiten alcanzar el nivel de diseño correspondiente al SMP sin mayor dificultad.</p> <p>C5.b.6 De acuerdo con los requisitos indicados en esta norma, el diseño de una estructura está orientado a cumplir con los objetivos de desempeño siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Resistir sismos pequeños y moderados sin daño en elementos estructurales, componentes no estructurales, y contenidos del edificio. 2. Resistir sismos severos sin que exista: <ol style="list-style-type: none"> a) falla del sistema de aislación; b) daño significativo a los elementos estructurales; y c) daño masivo a elementos no estructurales. <p>Para cumplir con estos objetivos, los requisitos propuestos limitan la respuesta inelástica de la superestructura a una fracción menor de lo que se permite para edificios convencionales. Consecuentemente, el desplazamiento lateral de una estructura durante un sismo debe ocurrir en la interfaz de aislación y no en la superestructura.</p> <p>C5.b.7 Los objetivos de desempeño establecidos en C5.b.6 exceden a aquellos de estructuras convencionales en sismos moderados y severos. Es importante recalcar que, incluso a través de reforzar considerablemente las estructuras convencionales, es difícil alcanzar los objetivos de desempeño de una estructura aislada, en especial aquellos relacionados con</p>

NCh2745	Comentarios
	<p>los contenidos y terminaciones. Esto se debe a que el aumento de resistencia de la estructura convencional conlleva una rigidización de la estructura, lo que induce niveles de aceleración que dificultan el control de daños en contenidos, instalaciones y terminaciones, y por ende, la funcionalidad del edificio. Tal fue el caso del Hospital Sylmar, durante el sismo de Northridge en el año 1994 (ver Anexo A, [8]).</p> <p>C5.c Proyectos de edificación con aislación sísmica en Chile</p> <p>C5.c.1 A la fecha de la redacción de esta norma existen tres edificios con aislación sísmica en Santiago, el edificio de vivienda social de la Comunidad Andalucía (ver Anexo A, [15]) diseñado y construido entre los años 1991 y 1992, la Clínica San Carlos de la P. Universidad Católica de Chile construida durante el año 2000 (ver Anexo A, [3]), y el Edificio San Agustín de la Facultad de Ingeniería de la P. Universidad Católica de Chile construido durante 2001 y 2002 (ver Anexo A, [3]). Además, durante el año 2002 finalizó la etapa de desarrollo del proyecto del edificio Placa Técnica del Hospital Militar ubicado en La Reina, que se convertirá en la estructura aislada más grande del país (ver Anexo A, [25]).</p> <p>C5.c.2 Los antecedentes mundiales muestran que con posterioridad a los terremotos de Northridge y Kobe, el uso de la aislación sísmica en el mundo ha crecido considerablemente. Por ejemplo, las estadísticas en Japón muestran que el año 1998 se construyeron más de 700 edificios con aislación sísmica, entre los que se incluyen 35 hospitales, 18 edificios gubernamentales y 304 edificios de viviendas.</p> <p>C5.c.3 Los sistemas de aislación más utilizados en el mundo actualmente son los aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDR) y</p>

NCh2745	Comentarios
<p>6 Criterio de selección</p> <p>6.1 Bases de diseño</p> <p>Los procedimientos y limitaciones para el diseño de estructuras con aislación sísmica se deben determinar considerando la zona, características del lugar, aceleración vertical, propiedades de las secciones agrietadas de los elementos de hormigón y mampostería, destino, configuración, sistema estructural y altura.</p> <p>6.2 Estabilidad del sistema de aislación</p> <p>La estabilidad de los elementos del sistema de aislación sujetos a cargas verticales se debe verificar por análisis y ensayos, según se requiera, para desplazamientos sísmicos laterales iguales al desplazamiento máximo total.</p>	<p>alto amortiguamiento (HDR), los aisladores elastoméricos con corazón de plomo (LRB), el aislador de péndulo friccional (FPS), y los deslizadores teflón-acero (PTFE).</p> <p>C5.c.4 Cada proyecto tiene sus propios factores que motivan el uso de sistemas de aislación y posee diferentes objetivos de desempeño. El primer paso esencial en el desarrollo del proyecto es definir el criterio de diseño en base a los objetivos del propietario en lo que respecta a la funcionalidad de la estructura, daño y protección de la inversión, preservación histórica de la estructura, riesgo a las personas, y economía en la construcción. Para aquellos propietarios que desean una alta prioridad a la funcionalidad, protección de los contenidos, e inversión, requieren un criterio de diseño más estricto que aquellos que buscan un nivel de desempeño de protección a la vida únicamente. En cualquier caso, es el propietario el que debe estar consciente del nivel de riesgo que se desea asumir en el diseño.</p> <p>C.6 Criterio de selección</p> <p>C6.1 Bases de diseño</p> <p>Las guías de diseño propuestas incluyen aspectos generales del diseño de estructuras con aisladores sísmicos y son aplicables a una amplia gama de soluciones estructurales posibles para el sistema de aislación.</p> <p>C6.2 Estabilidad del sistema de aislación</p> <p>Debido a esta generalidad, esta norma descansa en la exigencia de que los sistemas de aislación sean ensayados para confirmar las propiedades utilizadas en el cálculo y diseño de la estructura aislada. En general los sistemas de aislación que se consideran adecuados deben:</p>

NCh2745	Comentarios
<p>6.3 Categorías de destino</p> <p>El factor de importancia, I, para una edificación con aislación sísmica se debe considerar igual a 1,0 sin considerar la categoría de destino.</p> <p>NOTA - Ver Tabla 1.</p> <p>6.4 Requisitos de configuración</p> <p>Cada estructura se debe clasificar como estructura regular o irregular en base a la configuración estructural del sistema de aislación, de acuerdo con Tablas C.3 y C.4 de 8.5.3.1.</p> <p>6.5 Selección de procedimientos de respuesta lateral</p> <p>6.5.1 Generalidades</p> <p>Cualquier estructura con aislación sísmica se puede, y ciertas estructuras aisladas definidas más adelante se deben diseñar utilizando el procedimiento de respuesta lateral dinámico</p>	<p>a) Permanecer estables para el desplazamiento de diseño requerido.</p> <p>b) Proveer una resistencia que no decrezca con un aumento en el desplazamiento.</p> <p>c) No degradarse en rigidez y resistencia bajo carga cíclica.</p> <p>d) Poseer una relación constitutiva fuerza-deformación que esté bien definida y sea repetible.</p> <p>C6.3 Categorías de destino</p> <p>Dos razones justifican un valor único del coeficiente de importancia I en estructuras aisladas. Primero, se reconoce que existe mayor certeza en relación a estructuras convencionales sobre el verdadero nivel de demanda impuesto sobre la estructura. Segundo, como el objetivo de desempeño del diseño es siempre lograr funcionalidad luego del sismo, no tiene sentido diferenciar por concepto de uso entre estructuras. No se eliminó la Tabla 1 para facilitar la eventual incorporación de valores de I diferentes a 1 para destinos o niveles de desempeño distintos a los contemplados actualmente en dicha tabla.</p> <p>C6.5.1 Generalidades</p> <p>C6.5.1.a General</p> <p>C6.5.1.a.1 El modelo estructural del sistema de aislación y de la sub y la superestructura</p>

NCh2745	Comentarios
de cláusula 8.	<p>cumple dos funciones primordiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Cálculo de la respuesta y diseño de la sub y la superestructura para el terremoto de diseño. b) Cálculo de la demanda de desplazamientos y verificación de la estabilidad del sistema de aislación para el terremoto máximo posible. <p>C6.5.1.a.2 Distintas metodologías de distintos grados de complejidad se pueden utilizar para modelar la respuesta de estructuras aisladas, desde modelos simplificados hasta modelos tridimensionales no-lineales del edificio completo. El nivel de sofisticación del modelo debe ser coherente con el grado de complejidad de la estructura. En general, superestructuras flexibles, irregulares en planta y altura requerirán de modelos más sofisticados.</p> <p>C6.5.1.b Modelo del sistema de aislación</p> <p>C6.5.1.b.1 El modelo estructural del sistema de aislación debe ser capaz de representar efectos de la respuesta tridimensional del sistema, como por ejemplo la torsión en planta, la correcta distribución de cargas verticales en los aisladores, interacción bidireccional, e interacción lateral-vertical (aislador de péndulo friccional). Además, el análisis del modelo estructural debe considerar la variabilidad de las propiedades de los aisladores; debe considerar la mayor rigidez del sistema de aislación en la determinación de las fuerzas de diseño de la superestructura y la menor rigidez posible en la determinación de la deformación del sistema de aislación.</p> <p>C6.5.1.b.2 Si el sistema de aislación permite el levantamiento de la estructura, el modelo debe ser capaz de representar este levantamiento y el impacto en el contacto entre estructura y dispositivo. El levantamiento es un fenómeno no-lineal y requiere modelación explícita (aunque ocurre en estructuras aisladas como no aisladas), por ejemplo, a través de un</p>

elemento tipo *gap* que impone cero fuerza en el momento de levantamiento libre de la estructura. La importancia de que el modelo del aislador permita el levantamiento en caso de ocurrir, es determinar en forma adecuada la redistribución de esfuerzos y deformaciones que ocurre en la estructura una vez que el vínculo del aislador desaparece.

C6.5.1.b.3 Otro aspecto importante es la consideración del efecto $P - \Delta$ a través del aislador. Este efecto crea un momento significativo sobre la estructura bajo y sobre el aislador. Dependiendo del sistema de anclaje del dispositivo, este momento puede variar entre P veces $\Delta/2$ y P veces Δ donde P es la carga axial sobre el aislador y Δ su desplazamiento. Este momento es en adición al momento flector debido al corte a través del aislador.

C6.5.1.b.4 Modelación de aisladores

C6.5.1.b.4.1 General

Uno de los objetivos primordiales del modelo estructural debe ser acotar las posibles variaciones observadas en las propiedades mecánicas de los aisladores como resultado de variaciones de la carga vertical, la velocidad de carga, movimiento bidireccional, temperatura, y envejecimiento del aislador.

C6.5.1.b.4.2 Modelos lineales

C6.5.1.b.4.2.1 Para los procedimientos lineales establecidos por esta norma, el sistema de aislación se puede representar por un modelo lineal equivalente. Las propiedades de este modelo son la rigidez secante del aislador, también confusamente denominada como equivalente, k_{ef} :

$$k_{ef} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \quad (C.1)$$

NCh2745	Comentarios
	<p>y la razón de amortiguamiento lineal viscoso equivalente β_{ef} :</p> $\beta_{ef} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\sum E_{di}}{K_{ef} D^2} \right] \quad (C.2)$ <p>en que:</p> <p>$\sum E_{di}$ = suma de las energías disipadas por todos los aisladores en un ciclo;</p> <p>$K_{ef} = \sum k_{ef}$ = rigidez efectiva o secante de todos los aisladores del sistema de aislación.</p> <p>Todas las cantidades se determinan en base a ciclos de amplitud D.</p> <p>C6.5.1.b.4.2.2 Los modelos lineales equivalentes deben ser utilizados sólo en el diseño de aisladores elastoméricos, cuyas propiedades no son altamente dependientes de la carga axial. En el caso de aisladores friccionales, se recomienda adicionalmente verificar el diseño de estos dispositivos mediante un análisis no-lineal de respuesta en el tiempo.</p> <p>C6.5.1.b.4.3 Modelos no-lineales</p> <p>C6.5.1.b.4.3.1 Para evaluar la respuesta no-lineal de la estructura con aisladores sísmicos se requiere utilizar un modelo que sea representativo de la constitutiva no-lineal del dispositivo. De acuerdo con lo descrito anteriormente, este modelo es típicamente independiente de la velocidad de deformación en el caso de aisladores elastoméricos, pero dependiente de ella en el caso de aisladores friccionales.</p> <p>C6.5.1.b.4.3.2 Debido a que la respuesta dinámica de la estructura completa queda controlada por el comportamiento del sistema de aislación, cuando se cumple con las</p>

NCh2745	Comentarios
	<p>disposiciones de esta norma, es admisible que el modelo utilizado durante el diseño del sistema de aislación sea simple e ignore, por ejemplo, la flexibilidad de la superestructura. Esto permite ahorrar gran cantidad de tiempo en el cálculo de las respuestas y conduce por lo general a resultados precisos. Sin embargo, una vez concluido el proceso de diseño es recomendable verificar, con un modelo no-lineal de los aisladores y tridimensional de la superestructura, el comportamiento del sistema completo para un conjunto de sismos.</p> <p>C6.5.1.b.4.3.3 El hecho de que la no-linealidad del sistema se localice en el sistema de aislación, conduce a que los análisis no-lineales descritos sean de bajo costo computacional en relación a lo que sería un análisis no-lineal de una estructura convencional. Además, la interpretación de las respuestas medidas durante sismos en estructuras aisladas muestra que es posible predecir con gran nivel de precisión (error menor al 10%) el verdadero comportamiento no-lineal de estas estructuras (ver Anexo A, [4]).</p> <p>C6.5.1.c Modelo de la superestructura</p> <p>C6.5.1.c.1 En general, la superestructura se debe modelar con igual detalle que para un edificio convencional; sin embargo, es un hecho que la incertidumbre en la respuesta del modelo de la superestructura se reduce gracias al sistema de aislación. El nivel de detalle del modelo de la superestructura debe ser tal que permita evaluar correctamente la distribución de esfuerzos y deformaciones en sus elementos.</p> <p>C6.5.1.c.2 Es importante recordar que la superestructura será diseñada para permanecer elástica esencialmente y por lo tanto su rigidez y resistencia debe ser consistente con este comportamiento. De no ser así, se perdería el gran beneficio del sistema de aislación en cuanto al control del daño de la estructura y sus</p>

NCh2745	Comentarios
	<p>contenidos. Se define que la superestructura permanece esencialmente elástica durante el sismo si el requerimiento nominal de ductilidad sobre las componentes del sistema de resistencia lateral del edificio es pequeño ($R \cong 2$). Este requerimiento de ductilidad no impide que algún elemento entre en el rango inelástico; sin embargo, el sistema resistente lateral de la estructura como un todo no cambia su característica apreciablemente.</p> <p>C6.5.1.d Procedimiento de análisis</p> <p>C6.5.1.d.1 En esta norma es posible utilizar modelos lineales o no-lineales para el análisis de estructuras aisladas sísmicamente. El análisis estático con modelos lineales establece valores mínimos del desplazamiento de diseño para el sistema de aislación y se puede utilizar en una clase muy limitada de estructuras. Este procedimiento es recomendado para un diseño preliminar de la estructura y provee un mecanismo de verificación simple de modelos más sofisticados.</p> <p>C6.5.1.d.2 El análisis de respuesta espectral se recomienda para estructuras que tienen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) una superestructura flexible; 2) una superestructura de planta irregular; y 3) aisladores con una relación constitutiva fuerza-deformación que puede ser adecuadamente representada por un modelo lineal equivalente. <p>La mayor ventaja de un análisis de respuesta espectral con superestructura flexible es que permite calcular en forma simple la distribución de fuerzas y deformaciones en los elementos.</p> <p>C6.5.1.d.3 Los procedimientos de análisis no-lineal incluyen en general Análisis Estático No-lineal (AENL), también conocido como <i>pushover</i>, y Análisis Dinámico No-lineal (ADNL) o de</p>

NCh2745	Comentarios
<p data-bbox="196 1798 501 1832">6.5.2 Análisis estático</p> <p data-bbox="196 1870 815 1971">El procedimiento de análisis estático lateral equivalente de cláusula 5 se puede utilizar para el diseño de una estructura con aislación</p>	<p data-bbox="852 338 1495 622">respuesta en el tiempo. El modelo no-lineal incluye a los aisladores y puede incluir o no a la superestructura dependiendo de su importancia; sin embargo, es relevante insistir en que el objetivo de la aislación sísmica es que la no-linealidad de la superestructura sea pequeña. El análisis no-lineal de respuesta en el tiempo se debe utilizar en los casos siguientes:</p> <ol data-bbox="852 663 1495 1160" style="list-style-type: none"> 1. Sistemas con una razón de amortiguamiento modal mayor a un 30%. 2. Sistemas sin capacidad autocentrante. 3. Sistemas cuya deformación se espera exceda la distancia disponible de separación con estructuras adyacentes. 4. Sistemas que son dependientes de la velocidad de deformación. 5. Sistemas que experimentan levantamiento y/o impacto. <p data-bbox="852 1196 1495 1335">En el ADNL, la superestructura se puede modelar como lineal provisto que se demuestre que su respuesta se mantiene en el rango elástico durante el SMP.</p> <p data-bbox="852 1370 1495 1760">C6.5.1.d.4 Aunque la mayoría de las estructuras con aislación sísmica se deben analizar por modelos dinámicos lineales o no-lineales del sistema de aislación, esta norma establece un requisito mínimo de demanda de deformación y fuerza que es un porcentaje de la demanda indicada por las fórmulas de análisis estático, incluso cuando se realiza análisis dinámico. Esta indicación provee un nivel mínimo de seguridad que protege contra un diseño excesivamente no conservador.</p> <p data-bbox="852 1798 1177 1832">C6.5.2 Análisis estático</p>

NCh2745	Comentarios
sísmica, siempre que:	
1. La estructura esté ubicada a más de 10 km de todas las fallas activas.	C6.5.2, 1 Las fallas activas consideradas son aquellas capaces de generar sismos que puedan controlar el diseño de la estructura.
2. La estructura esté ubicada en un tipo de suelo I ó II.	C6.5.2, 2 En esta norma se ha adoptado la misma clasificación de suelos de NCh433.
3. La superestructura tenga menos de cinco pisos y una altura menor que 20 m.	
4. El período efectivo de la estructura aislada, T_M , sea menor o igual a 3,0 s.	
5. El período efectivo de la estructura aislada, T_D , sea mayor que tres veces el período elástico de base fija de la superestructura, y no menor que 2,0 s.	<p>C6.5.2, 5 La razón de esta cláusula es limitar el análisis estático a superestructuras rígidas, que son aquellas en que se logran las mayores reducciones de esfuerzos (ver Figura C.4).</p> <p>El período elástico de base fija de la superestructura puede ser estimado a partir de expresiones empíricas o de métodos aproximados, como el Método de Rayleigh.</p>
6. La superestructura tenga una configuración regular.	C6.5.2,6 Ver C8.5.3.
7. El sistema de aislación esté definido por todos los atributos siguientes:	
7.1 La rigidez efectiva (secante) del sistema de aislación para el desplazamiento de diseño es mayor que un tercio de la rigidez efectiva (secante) a un 20% del desplazamiento de diseño.	C6.5.2, 7.1 La razón de 7.1 es limitar el análisis estático lateral equivalente a sistemas de aislación con constitutivas que no presentan gran degradación de rigidez (ver Figura C.5).

NCh2745

Comentarios

- 7.2 El sistema de aislación tiene la capacidad de producir una fuerza restitutiva, como se especifica en 10.2.4.
- 7.3 El sistema de aislación tiene propiedades de fuerza-deformación que son independientes de la velocidad de carga.
- 7.4 El sistema de aislación tiene propiedades de fuerza-deformación que son independientes de las cargas verticales y efectos de sollicitaciones bidireccionales.
- 7.5 El sistema de aislación debe permitir alcanzar el desplazamiento sísmico máximo posible y no menos de 1,2 veces el desplazamiento total de diseño.

6.5.3 Análisis dinámico

El procedimiento de respuesta lateral dinámica de cláusula 8 se debe utilizar para el diseño de estructuras con aislación sísmica como se especifica a continuación:

1. Análisis espectral

El análisis de respuesta espectral se puede utilizar para el diseño de una

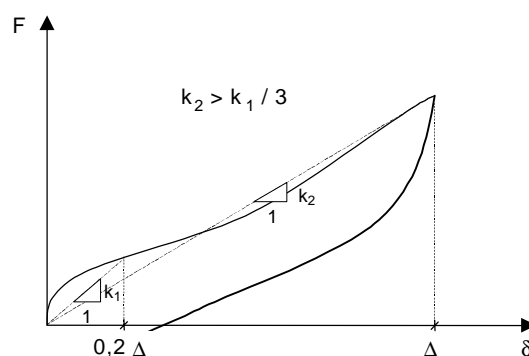


Figura C.5 - Requerimiento de rigidez para realizar análisis estático lateral equivalente

C6.5.2, 7.4 Se excluye por lo tanto del análisis estático a estructuras con sistemas friccionales de aislación las que se deberán analizar mediante un análisis de historia de respuesta en el tiempo.

C6.5.3 Análisis dinámico

NCh2745	Comentarios
<p>estructura con aislación sísmica, siempre que:</p> <p>a) La estructura esté ubicada en un tipo de suelo I, II, ó III.</p> <p>b) El sistema de aislación esté definido por todos los atributos especificados en 6.5.2, ítem 7.</p> <p>2. Análisis de respuesta en el tiempo</p> <p>El análisis de respuesta en el tiempo se puede utilizar para el diseño de cualquier estructura con aislación sísmica y se debe utilizar para el diseño de todas las estructuras con aislación sísmica que no cumplan con los criterios de b.5.3, ítem 1.</p> <p>3. Espectro de diseño específico del lugar</p> <p>Los espectros de movimiento del suelo específicos a un lugar y correspondiente al sismo de diseño y al sismo máximo posible se deben utilizar para el diseño y análisis de todas las estructuras aisladas, cuando:</p> <p>a) La estructura está ubicada en un tipo de suelo IV.</p> <p>b) La estructura está ubicada a menos de 10 km de una falla activa y capaz.</p>	<p>C6.5.3, 3 Debido a que suelos blandos tienden a producir espectros de respuesta con amplificaciones importantes en bandas angostas de frecuencia, es esencial poder caracterizar estas bandas para poder evitar que las frecuencias de diseño de la estructura aislada coincidan con las predominantes del suelo. Un ejemplo característico es el contrasentido que sería fundar un edificio aislado de período cercano a 2 s en las blandas arcillas expansivas de Ciudad de México caracterizadas por períodos predominantes de 2 s.</p> <p>C6.5.3, 3b Se define a una falla como activa si hay evidencia de a lo menos un desplazamiento en los últimos 10 000 años. (Período Holoceno). Se define además una falla activa como sísmicamente capaz si los desplazamientos de la falla van asociados a la ocurrencia de sismos.</p>

NCh2745	Comentarios
<p>7 Procedimiento de análisis estático</p> <p>7.1 Generalidades</p> <p>A excepción de lo indicado en cláusula 8, toda estructura aislada sísmicamente o parte de ella, se debe diseñar y construir para resistir como mínimo las fuerzas y desplazamientos especificados en esta cláusula. Las disposiciones de NCh433 también son obligatorias, en lo que no contradigan las disposiciones de la presente norma.</p> <p>7.2 Característica fuerza-deformación del sistema de aislación</p> <p>Los desplazamientos y fuerzas laterales mínimas de diseño provocados por sismos en estructuras aisladas sísmicamente se deben basar en las características de fuerza-deformación del sistema de aislación.</p> <p>Dichas características de fuerza-deformación deben incluir explícitamente los efectos que provoca el sistema para restringir los efectos del viento, si tal sistema se usa para cumplir con los requisitos de diseño de esta norma.</p> <p>Las características de fuerza-deformación del sistema de aislación se deben basar en ensayos debidamente fundamentados y realizados de acuerdo con lo estipulado en cláusula 14.</p> <p>La rigidez vertical mínima del sistema de aislación debe ser tal que la frecuencia de vibración propia de la estructura aislada en sentido vertical, suponiendo una superestructura rígida, debe ser mayor que 10 Hz.</p>	<p>C7 Procedimiento de análisis estático</p> <p>C7.1 Generalidades</p> <p>El objetivo de las fórmulas entregadas a continuación es acotar los valores de las propiedades del sistema de aislación de modo que el diseño resultante sea conservador bajo todas las fuentes potenciales de variabilidad que afectan las propiedades del sistema de aislación. Además, las fórmulas reconocen que la rigidez y el amortiguamiento efectivo dependen del nivel de deformación y deben ser evaluados para los niveles sísmicos de diseño y máximo posible. Esta norma no considera el efecto de diferencias que puedan ocurrir entre las propiedades de diseño y reales (<i>as-built</i>) derivando la responsabilidad del control de calidad de la estructura y los aisladores al ingeniero calculista.</p> <p>C7.2 Característica fuerza-deformación del sistema de aislación</p> <p>C7.2.a Aisladores elastoméricos</p> <p>C7.2.a.1 Los aisladores elastoméricos son uno de los dispositivos más utilizados actualmente en el diseño de estructuras aisladas. El aislador elastomérico consiste en un conjunto de capas delgadas de goma natural adheridas a planchas delgadas de acero formando un <i>sandwich</i> de goma y acero. Durante su construcción, las láminas de acero y goma se intercalan horizontalmente dentro de un molde de acero que da la forma geométrica al aislador. Una vez colocadas estas láminas en el molde, se coloca el aislador bajo una prensa y se le aplica presión y temperatura de 140°C por un tiempo cercano a las 6 h en el caso de aisladores circulares de diámetro igual a 60 cm. Durante este proceso la goma se vulcaniza y adquiere su propiedad elástica. Además, el calor aplicado produce la reacción del pegamento epóxico con que se han cubierto las láminas de goma y acero. La adherencia debe ser más resistente que la</p>

goma misma y la falla por cizalle de un aislador debe ocurrir por ruptura de la goma antes que por una falla del pegamento goma-acero.

C7.2.a.2 Las gomas de bajo amortiguamiento (LDR) exhiben en general un comportamiento prácticamente lineal-elástico a bajas deformaciones y lineal-viscoso a grandes deformaciones. La razón de amortiguamiento efectivo es típicamente menor a 0,07 para deformaciones angulares γ que varían entre 0 y 2. Una relación fuerza-deformación característica de un LDR se muestra en Figura C.6. El diseño de estos aisladores se realiza de acuerdo con ecuaciones C.7 a C.11 que se presentan en C7.2.c.

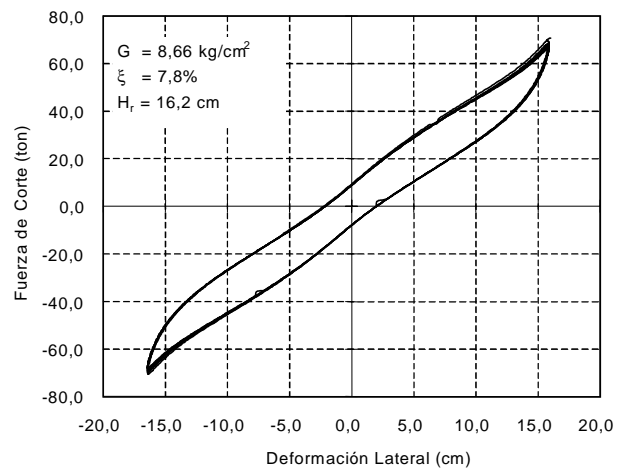


Figura C.6 - Ciclo fuerza-deformación de una pareja de aisladores de bajo amortiguamiento LDR

C7.2.b Aisladores con corazón de plomo

C7.2.b.1 Los aisladores con corazón de plomo (LRB) se construyen en general de goma de bajo amortiguamiento y se les deja un orificio central cilíndrico en el que se introduce el corazón de plomo bajo presión. Bajo deformación lateral, el plomo se deforma en un estado de corte puro y fluye a una tensión cercana a los 10 MPa a temperatura ambiente, produciendo numerosos ciclos histeréticos estables. Debido a que el plomo recristaliza a temperatura ambiente (20°C

aproximadamente), su fluencia repetida no produce falla por fatiga. Una de las grandes ventajas de los aisladores con corazón de plomo es que producen en forma natural un nivel de rigidez inicial importante para cargas de servicio. Un ciclo típico de fuerza-deformación de un aislador con corazón de plomo se muestra en Figura C.7.

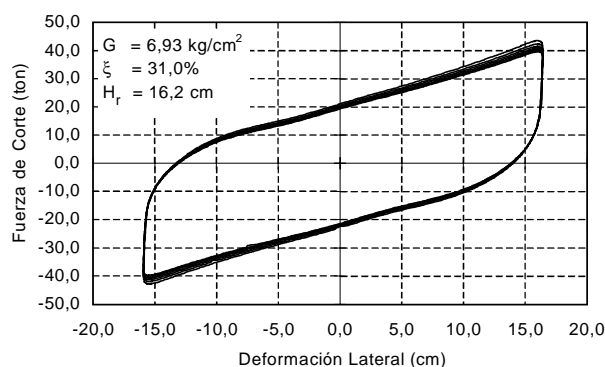


Figura C.7 - Ciclo fuerza-deformación de una pareja de aisladores con corazón de plomo LRB

C7.2.b.2 La capacidad del aislador a cero deformación, Q , se puede aproximar por:

$$Q = A_p \tau_y \quad (\text{C.4})$$

en que:

A_p = área de plomo; y

τ_y = tensión de fluencia.

Por otra parte, la rigidez post-fluencia del aislador k_p es en general mayor que la rigidez de la goma del aislador sin el corazón de plomo. De esta forma:

$$k_p = f_L \frac{GA_r}{H_r} \quad (\text{C.5})$$

en que:

G = módulo de corte de la goma calculado típicamente a $\gamma = 0,5$;

A_r = área de la goma adherida al acero;

H_r = altura total de goma en el aislador; y

f_L = aproximadamente 1,15.

Como regla práctica, la rigidez inicial del aislador es entre 6,5 y 10 veces su rigidez de post-fluencia.

C7.2.b.3 El ciclo fuerza deformación de un aislador LRB se puede representar por un comportamiento bilineal como se indica en Figura C.8. El modelo requiere la definición de tres parámetros: la fuerza de fluencia F_y , la rigidez post-fluencia k_p , y el desplazamiento de fluencia D_y . Conocido el desplazamiento de fluencia, la fuerza de fluencia es:

$$F_y = Q + k_p D_y \quad (C.6)$$

en que:

$$D_y = Q / K = \text{con } K = (5,5 \text{ a } 9) k_p$$

El modelo bilineal para la pareja de aisladores LRB de Figura C.7 se muestra en Figura C.8.

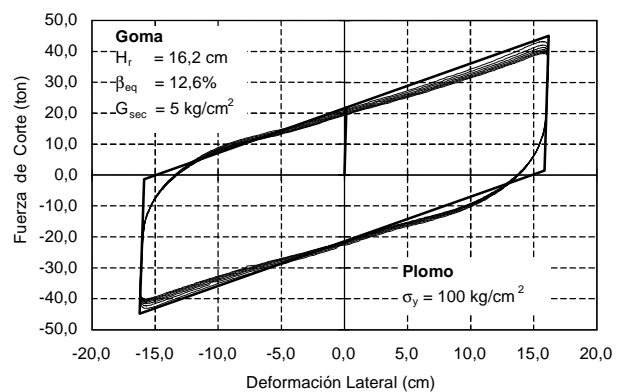


Figura C.8 - Ajuste de un modelo bilineal al ciclo fuerza-deformación de una pareja de aisladores LRB

C7.2.c Aisladores de alto amortiguamiento

C7.2.c.1 Los aisladores sísmicos de alto amortiguamiento están hechos de un compuesto especial de goma que permite alcanzar típicamente valores para la razón de amortiguamiento entre 0,10 y 0,20 para deformaciones angulares menores a $\gamma = 2$ aproximadamente. Es importante recalcar que la inclusión de nuevos aditivos químicos en la fórmula de la goma de alto amortiguamiento afecta también a otras propiedades mecánicas de ella como la elongación de ruptura. Un ciclo típico de un aislador de alto amortiguamiento se muestra en Figura C.9.

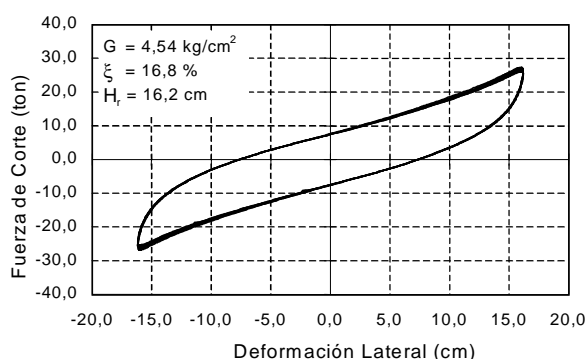


Figura C.9 - Curva fuerza-deformación de una pareja de aisladores de alto amortiguamiento HDR

C7.2.c.2 Como ocurre con la mayoría de los dispositivos de goma, los aisladores elastoméricos requieren de un proceso de estabilización mecánica del ciclo fuerza-deformación conocido como *scragging*. Durante el *scragging* el aislador se somete a varios ciclos de deformación lo que modifica la estructura molecular del compuesto de goma, produciendo ciclos de fuerza-deformación más estables para deformaciones menores a la que se somete durante el *scragging*. Estudios recientes muestran que las propiedades iniciales del compuesto sin *scragging* se recuperan parcialmente con el tiempo; tal recuperación depende del compuesto utilizado.

C7.2.c.3 Típicamente, en el análisis de

NCh2745	Comentarios
	<p>estructuras aisladas con aisladores HDR, la constitutiva fuerza-deformación se modela como un sistema bilineal cuyas propiedades dependen de la razón de amortiguamiento efectivo β_{ef} y el módulo de corte tangente G, para un determinado nivel de deformación angular γ. La rigidez postfluencia k_p se puede calcular como (ver Anexo A, [5] y [14]):</p> $k_p = \frac{GA}{H_r} \quad (C.7)$ <p>en que:</p> <p>H_r = representa la altura total de goma del aislador. Por otra parte, la resistencia característica Q para deformación nula se puede expresar como:</p> $Q = \frac{\pi\beta_{ef} k_p D^2}{(2 - \pi\beta_{ef})D - 2D_y} \quad (C.8)$ <p>en que:</p> <p>D_y = desplazamiento de fluencia, el que se puede aproximar por un valor que varía entre $0,05 H_r$ y $0,1 H_r$.</p> <p>Por último, la fuerza de fluencia del aislador se puede estimar como $F_y = Q + k_p D_y$. Alternativamente estas expresiones se pueden escribir en términos de la rigidez efectiva (secante) como:</p> $Q = \frac{\pi\beta_{ef} k_{ef} D^2}{2(D - D_y)} \quad (C.9)$ <p>en que:</p> <p>k_{ef} = se determina de acuerdo con la curva de ensayo y el procedimiento descrito posteriormente; el módulo efectivo (secante) de la goma resulta:</p>

$$G_{ef} = \frac{k_{ef} H_r}{A} \quad (C.10)$$

C7.2.c.4 La modelación bilineal de la constitutiva fuerza-deformación para un aislador de diámetro $\phi = 60$ cm, área $A = \pi \cdot 60^2 / 4 = 2827$ cm², $G_{ef} = 6$ kg/cm², y $H_r = 16$ cm, se muestra en Figura C.10.

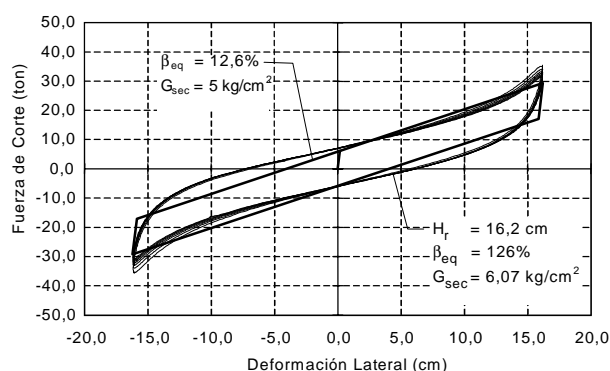


Figura C.10 - Definición de modelo bilineal de una pareja de aisladores de alto amortiguamiento HDR

C7.2.c.5 En Figura C.10 el valor del parámetro U corresponde a la razón entre la fuerza para deformación nula y la fuerza para deformación máxima en un ciclo determinado. Este parámetro se puede usar alternativamente a la deformación de fluencia D_y en la definición del ciclo histerético del modelo bilineal.

C7.2.c.6 Otro modelo más preciso que el anterior, utilizado para gomas de alto amortiguamiento, es la constitutiva de Bouc-Wen (SAP 2000) que en el caso unidimensional se puede escribir como:

$$\begin{aligned} \dot{z} &= \gamma |\dot{x}| z |z|^{n-1} - v \dot{x} |z|^n + A \dot{x} \\ f &= \alpha K_d \dot{x} + (1 - \alpha) z \end{aligned} \quad (C.11)$$

en que:

z = representa la componente no-

NCh2745	Comentarios
	<p>lineal de la fuerza;</p> <p>γ, n, ν y A = parámetros del estado z del elemento que controlan la forma del ciclo;</p> <p>α = parámetro que regula la importancia relativa entre la parte lineal (k_d) y no-lineal (z) de la constitutiva.</p> <p>C7.2.d Rigidez vertical de los aisladores</p> <p>C7.2.d.1 La rigidez vertical de un aislador se escoge típicamente para producir una frecuencia vertical de vibración del sistema superior a 10 Hz. La rigidez vertical de un aislador se define como:</p> $k_z = \frac{E_c A}{H_r} \quad (\text{C.12})$ <p>en que:</p> <p>E_c = representa el módulo de compresión para el conjunto goma-acero. En el caso de un aislador circular, el módulo de compresión E_c resulta (ver Anexo A, [13]):</p> $\frac{1}{E_c} = \left(\frac{1}{6G_{ef} S^2} + \frac{4}{3K} \right) \quad (\text{C.13})$ <p>en que:</p> <p>K = módulo de compresibilidad de la goma (que típicamente adopta un valor de 2 000 MPa); y</p> <p>S = primer factor de forma del aislador, que en el caso de un aislador circular es $S = \phi / 4t$, en que t es el espesor de las láminas de goma.</p>

En base a estos resultados se demuestra que la razón entre la frecuencia vertical y lateral de la estructura aislada es aproximadamente igual a:

$$\frac{f_v}{f_h} = \sqrt{\frac{E_c}{G}} = \sqrt{\left(\frac{1}{6G_{ef}S^2} + \frac{4}{3K}\right)^{-1}} \quad (C.14)$$

es decir, $f_v = 35,4 f_h$ para un aislador con $S = 25$, $G_{ef} = 0,8$ Mpa, y $K = 2\ 000$ MPa. Si el período fundamental del sistema aislado es de 2,5 s, la frecuencia vertical de vibración es $f_v = 14$ Hz, aproximadamente, superando el límite de 10 Hz. Es posible demostrar que la rigidez vertical de un aislador es similar a la rigidez vertical de una columna de hormigón armado de un piso tipo y sección idéntica a la del aislador.

C7.2.d.2 Eventualmente, el sistema puede experimentar una amplificación de la aceleración vertical del suelo debido a su flexibilidad vertical modificando la carga axial sobre los aisladores, la que se debería considerar.

C7.2.d.3 Por último, la deformabilidad axial del aislador, aunque pequeña, se debe considerar en adición al descenso que experimenta el aislador como resultado de su deformación lateral. Para tal efecto la estructura debe considerar una separación vertical mínima entre los elementos de la superestructura y subestructura. La Figura C.11 muestra el descenso experimentado por un aislador de diámetro 60 cm como resultado de la deformación lateral γ .

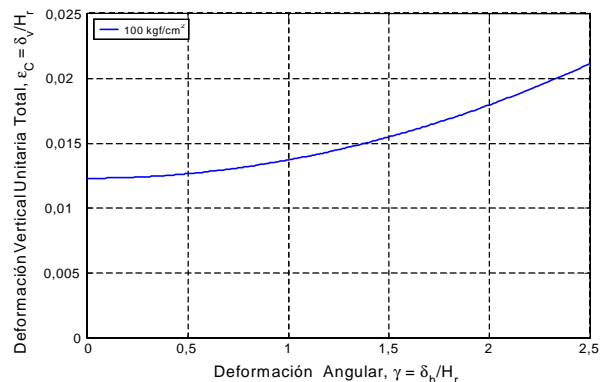


Figura C.11 - Descenso del aislador como resultado de la deformación lateral γ

C7.2.e Deslizadores y aisladores friccionales

C7.2.e.1 El aislador friccional limita nominalmente la carga que se desarrolla en la interfaz de aislación a un cierto nivel predeterminado por el diseñador. Esta carga depende del coeficiente de fricción μ entre las superficies deslizantes y de la carga normal N aplicada sobre ella. Entre las ventajas más importantes de estos dispositivos está la separación entre el sistema de transmisión de carga vertical y el mecanismo de aislación. Sin embargo, el sistema friccional *per se* carece de un mecanismo de restitución que permita el centrado de la estructura como consecuencia del movimiento del suelo. Debido a esto, los aisladores friccionales son utilizados generalmente en combinación (paralelo) con un esquema que proporcione fuerzas restitutivas.

C7.2.e.2 La fuerza lateral que desarrolla un aislador friccional se expresa como:

$$F = \frac{N}{R} u + \mu_d N \operatorname{sgn}(\dot{u}) \quad (\text{C.15})$$

en que:

N = representa la carga normal sobre la superficie de aislación;

R = radio de curvatura de la superficie

sobre la que ocurre el deslizamiento;
y

u y \dot{u} = corresponden al desplazamiento y velocidad del dispositivo;

μ_d = coeficiente de fricción dinámica.

Como es habitual la fuerza friccional se invierte de dirección al invertir el sentido de la velocidad.

C7.2.e.3 Dos esquemas de aislación friccional se muestran en Figura C.12. La Figura C.12(a) muestra esquemáticamente un deslizador friccional sobre un plano horizontal, y Figura C.12(b) muestra un deslizador sobre una superficie esférica (por ejemplo, péndulo friccional). Acompañan a estos mecanismo de fricción las constitutivas esquemáticas fuerza-deformación de cada uno de ellos.

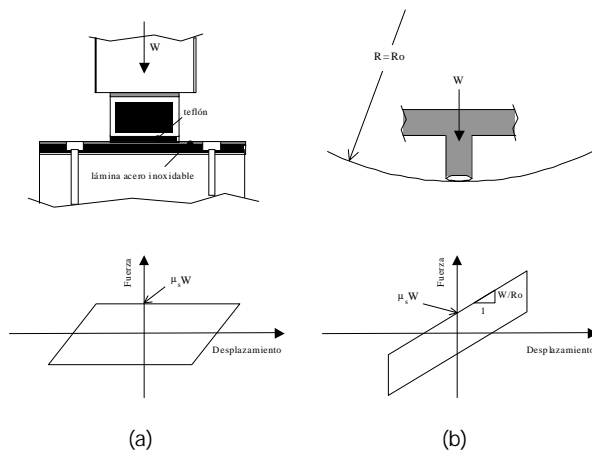


Figura C.12 - Mecanismos típicos de aislación friccional y relaciones constitutivas fuerza-deformación

C7.2.e.4 Para el caso del deslizador horizontal, el radio de curvatura R es infinito y por lo tanto no existe una componente restitutiva que centre al dispositivo. Para una superficie de deslizamiento esférica (ver Anexo A, [27]), el radio de curvatura es constante $R = R_o$ y la componente restitutiva del dispositivo es lineal en el desplazamiento u como indica la ecuación C.15.

NCh2745	Comentarios
	<p>C7.2.e.5 Para el caso de deformaciones pequeñas, la fuerza normal en el dispositivo se puede obtener de la expresión siguiente:</p> $N = W \left(1 + \frac{\ddot{u}_z}{g} + \frac{N_{vol}}{W} \right) \quad (C.16)$ <p>en que:</p> <p>W = corresponde a la carga gravitacional;</p> <p>\ddot{u}_z = corresponde a la aceleración vertical del suelo; y</p> <p>N_{vol} = corresponde a la carga normal debida al momento volcante de la estructura.</p> <p>Si las deformaciones son grandes (por ejemplo, sismos impulsivos de California), la carga normal del deslizador sobre la superficie esférica se debe evaluar correctamente a través de considerar la restricción cinemática que impone esta superficie en las ecuaciones de movimiento de la estructura (ver Anexo A, [1]).</p> <p>C7.2.e.6 En la fabricación de los aisladores friccionales se utiliza preferentemente Teflón ®¹⁾ [politetrafluoroetileno (PTFE)] reforzado en contacto con una lámina de acero inoxidable pulida al nivel de espejo. Las presiones de contacto admisible entre el Teflón ® y el acero utilizadas en el diseño en general no exceden de 40 MPa. Por otra parte, el coeficiente de fricción varía generalmente entre 0,05 y 0,12 dependiendo de la velocidad de deformación y la presión de contacto.</p>

1) Teflón es el nombre comercial de un producto. Esta información se entrega para la conveniencia de los usuarios de esta norma y no constituye un respaldo del INN al producto mencionado. Se pueden usar productos equivalentes, si se demuestra mediante validación, que con ellos se obtienen los mismos resultados.

C7.2.e.7 Para una interfaz de teflón y acero, el coeficiente de fricción dinámico se puede escribir como (ver Anexo A, [26]):

$$\mu_d = \mu_{\text{máx.}} - (\mu_{\text{máx.}} - \mu_{\text{mín.}}) \exp(-a|\dot{u}|) \quad (\text{C.17})$$

en que:

$\mu_{\text{mín.}}$ y $\mu_{\text{máx.}}$ = representan el coeficiente de fricción a pequeñas y grandes velocidades, respectivamente (ver Figura C.13). Finalmente, la Figura C.14 muestra resultados experimentales de la variación de los coeficientes $\mu_{\text{mín.}}$, $\mu_{\text{máx.}}$ y como función de la presión de contacto y distintas velocidades de deslizamiento.

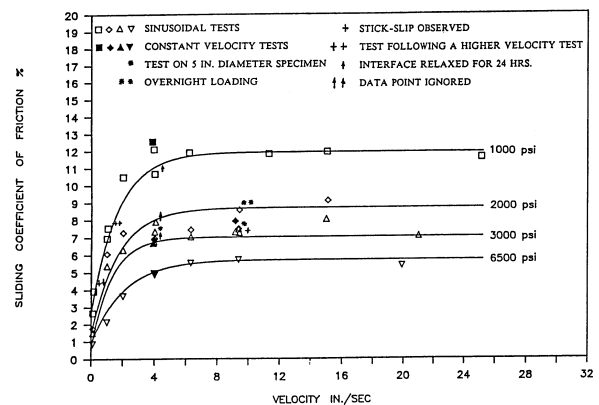


Figura C.13 - Variación del coeficiente de fricción dinámico μ_d con la velocidad y presión de contacto (ver Anexo A, [26])

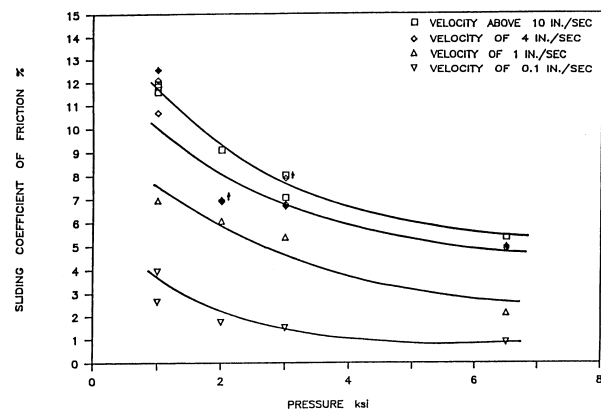


Figura C.14 - Variación observada de los coeficientes de roce $\mu_{\text{mín.}}$, $\mu_{\text{máx.}}$ y μ_s , como función de la presión de contacto (ver Anexo A, [26])

C7.2.f Sistemas híbridos de aislación

Los sistemas de aislación elastoméricos y friccionales se pueden utilizar en combinación con sistemas de disipación de energía. Un ejemplo, es la combinación entre aislación elastomérica y disipación viscosa utilizada recientemente en importantes proyectos como es el refuerzo estructural del edificio de la Municipalidad de la ciudad de Los Angeles en EE.UU. El propósito de esta combinación entre aislador de goma y disipador viscoso es utilizar la acción centrante del aislador elastomérico en conjunto con la gran capacidad disipativa del amortiguador viscoso. Otro sistema híbrido que se ha utilizado con éxito en Japón es el de aisladores elastoméricos y disipadores metálicos helicoidales.

7.3 Desplazamientos laterales mínimos

7.3.1 Desplazamientos de diseño

El sistema de aislación se debe diseñar y construir para soportar, como mínimo, desplazamientos sísmicos laterales que actúen en la dirección de los dos ejes principales de la estructura según la ecuación:

C7.3 Desplazamientos laterales mínimos

C7.3.1 Desplazamientos de diseño

El desplazamiento entregado por la ecuación (1) se supone que ocurre en el centro de masa (CM) del sistema estructural. El coeficiente de reducción por amortiguamiento utilizado B_D se ha determinado a partir de las razones entre los valores espectrales calculados para los registros

NCh2745	Comentarios
<p>$D_D = \frac{C_D}{B_D}$ (1)</p> <p>en que:</p> <p>$C_D = \begin{cases} 200 Z \text{ [mm]}, & \text{para Suelo I y } T_D > 2 s; \\ 300 Z \text{ [mm]}, & \text{para Suelo II y } T_D > 2 s; \\ 330 Z \text{ [mm]}, & \text{para Suelo III y } T_D > 2 s; \end{cases}$</p> <p>$B_D =$ se obtiene de Tabla 2 o de la ecuación (C.18).</p>	<p>compatibles chilenos que se describen en C8.4.2 y distintos niveles de la razón de amortiguamiento (ver Anexo A, [7]).</p> <p>La ecuación (1), que asume que la superestructura es rígida, provee una estimación conservadora del desplazamiento del sistema de aislación, debido a que la flexibilidad y deformación de la superestructura tienden a hacer decrecer el desplazamiento del sistema de aislación.</p> <p>Debido a que las estructuras aisladas se encuentran en general en la zona de amplificación de desplazamiento, se ha definido un valor constante para el coeficiente sísmico de desplazamiento C_D.</p> <p>La Tabla 2 presenta el factor de reducción B_D que fue obtenido de 9 registros chilenos compatibles con el SDI para los tres tipos de suelo. Este último factor reconoce la dependencia con el período de vibración y la calidad del suelo de fundación y aunque su obtención es un poco más laboriosa, conduce en general a valores mayores que el factor de modificación indicado por el UBC (ver Anexo A, [12]).</p> <p>El coeficiente de modificación de respuesta propuesto es:</p> $B_D(\beta_D, T_D) = \frac{1}{B_o - [B_o - 1] \exp[-a \beta_D - 0,05 T_D]} \quad (\text{C.18})$ <p>Para $\beta = 0,05$ se debe usar: $B_o = 1,54$; $a = 400, 300$ y 200 para suelos tipos I, II y III, respectivamente.</p> <p>Para razones de amortiguamiento β mayores que $0,05$ se debe usar:</p> $B_o = 2 \left(\frac{1 + \beta}{1 + 14,68 \beta^{0,865}} \right) \quad (\text{C.19})$

para los tres tipos de suelo (I, II, y III). Similarmente, el parámetro "a" se obtiene de la tabla siguiente:

Tabla C.1 - Valor del coeficiente "a"

β	Suelo I	Suelo II	Suelo III
0,10	396,9	293,1	224,5
0,15	180,7	124,6	98,0
0,20	117,9	76,1	57,1
0,25	94,0	54,3	39,6
0,30	68,5	42,0	30,4
0,50	36,9	22,2	16,1

La buena correlación entre el estimador indicado por las ecuaciones C.18 y C.19 y el valor de B_D obtenido a partir de los espectros de respuesta correspondientes a los 3 registros compatibles (6 historias) utilizados y los distintos amortiguamientos se muestra en Figura C.15.

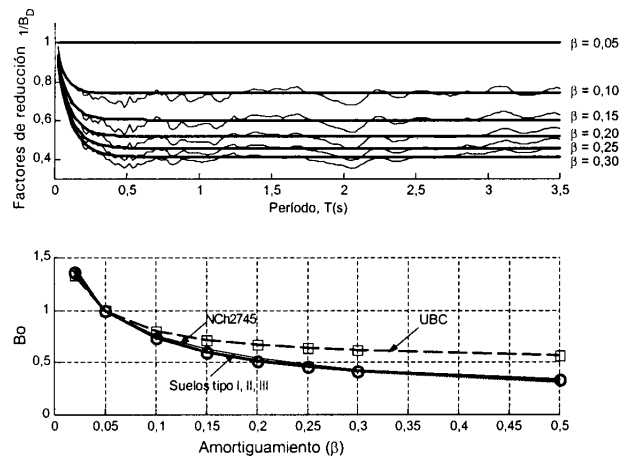


Figura C.15 - Factor de modificación de respuesta para suelo tipo II obtenido a partir de registros compatibles

Alternativamente, el factor de reducción de respuesta por amortiguamiento B_D se puede obtener en forma conservadora a partir de Tabla C.2 que es idéntica a la presentada en el código UBC (ver Anexo A, [12] y [17]).

NCh2745

Comentarios

Tabla C.2 - Factores de modificación de respuesta por amortiguamiento, B_D y B_M (UBC)

Amortiguamiento efectivo, β_D ó β_M (porcentaje del valor crítico) ^{1) 2)}	Factor B_D y B_M
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥ 50	2,0

1) El factor de modificación de respuesta por amortiguamiento se debe basar en el amortiguamiento efectivo del sistema de aislación determinado de acuerdo con los requisitos de 14.5.

2) El factor de modificación de respuesta por amortiguamiento se debe basar en la interpolación lineal para valores de amortiguamiento efectivo diferentes a los que aparecen en Tabla C.2.

7.3.2 Período efectivo correspondiente al desplazamiento de diseño

El período efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento de diseño, T_D , se debe determinar usando las características de fuerza-deformación del sistema de aislación de acuerdo con la fórmula:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{D\text{mín}} \cdot g}} \quad (2)$$

C7.3.2 Período efectivo correspondiente al desplazamiento de diseño

La ecuación (2) indica una estimación del período fundamental correspondiente al desplazamiento de diseño. Esta ecuación se basa en la rigidez secante del sistema de aislación correspondiente al desplazamiento de diseño D_D . Esta estimación se basa conservadoramente en el menor valor de la rigidez efectiva, entregando el máximo valor del período efectivo.

NCh2745	Comentarios
<p>7.3.3 Desplazamiento máximo</p> <p>El desplazamiento máximo del sistema de aislación, D_M, en la dirección horizontal más crítica se debe calcular de acuerdo con la fórmula:</p> $D_M = \frac{C_M}{B_M} \quad (3)$ <p>en que:</p> <p style="padding-left: 40px;">$200 M_M Z$ [mm], para Suelo I y $T_M > 2 s$;</p> <p>$C_M = \frac{300 M_M Z}{T_M > 2 s}$ [mm], para Suelo II y $T_M > 2 s$;</p> <p style="padding-left: 40px;">$330 M_M Z$ [mm], para Suelo III y $T_M > 2 s$;</p> <p>M_M se obtiene de Tabla 3.</p>	<p>C7.3.3 Desplazamiento máximo</p> <p>El desplazamiento proporcionado por la ecuación (3) se supone que ocurre en el centro de masa (CM) del sistema estructural. A igual que en C7.3.1, el coeficiente de amortiguamiento B_M utilizado se ha obtenido de las razones espectrales para registros chilenos compatibles con los espectros de diseño descritos en C8.4.1.</p> <p>La ecuación (3), que asume que la superestructura es rígida, provee una estimación conservadora del desplazamiento del sistema de aislación, debido a que la flexibilidad y deformación de la superestructura tienden a hacer decrecer el desplazamiento del sistema de aislación.</p>
<p>7.3.4 Período efectivo correspondiente al desplazamiento máximo</p> <p>El período efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento máximo, T_M, se debe determinar utilizando las características de fuerza-deformación del sistema de aislación de acuerdo con la ecuación:</p> $T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{M \text{ mín.}} g}} \quad (4)$	<p>C7.3.4 Período efectivo correspondiente al desplazamiento máximo</p> <p>La ecuación (4) indica una estimación del período fundamental correspondiente al desplazamiento máximo. Esta ecuación se basa en la rigidez secante del sistema de aislación correspondiente al desplazamiento máximo D_M. Esta estimación se basa conservadoramente en el menor valor de la rigidez efectiva, entregando el máximo valor del período efectivo.</p>

NCh2745	Comentarios
<p>7.3.5 Desplazamiento total</p> <p>7.3.5.1 El desplazamiento de diseño total, D_{TD}, y el desplazamiento máximo total, D_{TM}, de los elementos del sistema de aislación debe incluir desplazamientos adicionales debido a la torsión natural y accidental calculada considerando la distribución espacial de la rigidez lateral del sistema de aislación y la ubicación menos favorable de la excentricidad de la masa.</p> <p>7.3.5.2 El desplazamiento total de diseño, D_{TD}, y el desplazamiento total máximo, D_{TM}, de los elementos de un sistema de aislación con distribución espacial uniforme de rigidez lateral no se debe considerar menor que lo indicado por las ecuaciones siguientes:</p> $D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (5)$ $D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (6)$	<p>C7.3.5 Desplazamiento total</p> <p>Las ecuaciones (5) y (6) proveen una forma simple de estimar el desplazamiento en cualquier punto de la planta a lo largo de un eje perpendicular a la dirección considerada para el sismo. Estas ecuaciones poseen varias aproximaciones que es importante identificar:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Estas ecuaciones están derivadas a partir de un análisis estático de la torsión en planta y resultan ser una aproximación (sólo regular) de las amplificaciones dinámicas (ver Anexo A, [2]). 2. En la derivación de estas ecuaciones se asume que la razón Ω entre las frecuencias desacopladas torsional y lateral de la estructura es 1; Ω es en general cercana a uno para una estructura aislada siempre que exista una distribución uniforme en planta de aisladores con iguales propiedades. 3. Esta ecuación asume implícitamente que la máxima deformación en un punto de la planta ocurre cuando es máxima la

NCh2745	Comentarios
<p>7.3.5.3 El desplazamiento total de diseño, D_{TD}, y el desplazamiento total máximo, D_{TM}, se pueden tomar menores que lo indicado en las ecuaciones (5) y (6), pero no menores que 1,1 veces D_D ni 1,1 veces D_M, respectivamente, siempre que se demuestre mediante cálculos que el sistema de aislación está debidamente configurado para resistir la torsión.</p> <p>7.4 Fuerzas laterales mínimas</p> <p>7.4.1 Sistemas de aislación y elementos estructurales en el nivel o bajo el sistema de aislación</p> <p>El sistema de aislación, la fundación y todos los elementos estructurales bajo el sistema de aislación se deben diseñar y construir para resistir una fuerza sísmica lateral mínima, V_b, usando todos los requisitos de capacidad, deformación y resistencia apropiados para estructuras no aisladas, en que:</p> $V_b = k_{D_{m\acute{a}x.}} D_D \quad (7)$	<p>traslación y la rotación de la planta simultáneamente, simultaneidad que es sabido no ocurre en la respuesta dinámica del sistema (ver Anexo A, [2]).</p> <p>En cualquier caso, las ecuaciones (5) y (6) tienden a sobrestimar la deformación real de la planta si Ω es menor a 1 y a subestimarla en caso contrario.</p> <p>Finalmente, es importante reconocer que la derivación de estas ecuaciones se basa en que existe una excentricidad de masa en la planta y que la coordenada y se mide con respecto al centro de rigidez de la planta; la excentricidad e en estas ecuaciones incluye la excentricidad estática (torsión natural) y la excentricidad accidental (torsión accidental).</p> <p>C7.3.5.3 Se puede interpretar que el sistema se considera debidamente configurado para resistir torsión en la medida que los aisladores más rígidos se encuentren a lo largo del perímetro de la estructura conduciendo a estructuras con una razón de frecuencias desacopladas mayor a 1.</p> <p>C7.4 Fuerzas laterales mínimas</p> <p>C7.4.1 Sistema de aislación y elementos estructurales en el nivel o bajo el sistema de aislación</p> <p>A diferencia de las estructuras convencionales en que los esfuerzos utilizados para el diseño de las fundaciones son también reducidos por el factor de reducción R, en el caso de estructuras aisladas no se permite tal reducción debido a lo importante que es garantizar la estabilidad de la subestructura para un desempeño adecuado del sistema de aislación.</p>

NCh2745	Comentarios
<p>7.4.2 Elementos estructurales sobre el sistema de aislación</p> <p>La estructura sobre el sistema de aislación se debe diseñar y construir para resistir como mínimo una fuerza de corte, V_s, usando todos los requisitos de capacidad, deformación y resistencia apropiados para estructuras no aisladas en que:</p> $V_s = \frac{k_{D\text{máx.}} D_D}{R_l} \quad (8)$ <p>El factor R_l, según Tabla 4, se debe basar en el tipo de sistema resistente para carga lateral usado en la superestructura.</p> <p>7.4.3 Límites para V_s</p> <p>El valor de V_s no debe ser menor que lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La fuerza lateral sísmica requerida por NCh433, para una estructura de base fija del mismo peso, W, y un período igual al de la estructura aislada, T_D. 2. El esfuerzo de corte basal correspondiente a la carga de diseño de viento. 	<p>C7.4.2 Elementos estructurales sobre el sistema de aislación</p> <p>El factor de reducción de respuesta R_l utilizado para estructuras con aislación sísmica no supera el valor 2, para asegurar que la estructura permanezca elástica durante el sismo de diseño. Factores mayores de reducción no son deseables en este caso debido a que el movimiento de la estructura está controlado por pulsos de duración entre 2 s y 3 s, los que de ocurrir, podrían inducir grandes deformaciones inelásticas en la superestructura.</p> <p>C7.4.3 Límites para V_s</p> <p>C7.4.3, 1 Se garantiza entonces que la estructura aislada no se puede diseñar con un corte menor al de una estructura de base fija con el mismo período. Esto incluye el corte mínimo definido por NCh433.Of96 en 6.2.3.1.1. Aunque en principio, el corte mínimo es una restricción innecesaria para el sistema de aislación, la verdad es que el corte de diseño V_b [ecuación (7)], en un edificio aislado superará típicamente el corte mínimo.</p>

NCh2745

3. La fuerza lateral sísmica requerida para activar completamente el sistema de aislación mayorada por 1,5 (es decir, una vez y media el nivel de fluencia del sistema, la capacidad última de un sistema de sacrificio ante cargas de viento o el nivel de fricción estática de un sistema deslizando).

7.5 Distribución de fuerzas en vertical

7.5.1 Las fuerzas horizontales se deben obtener distribuyendo uniformemente en la altura el esfuerzo de corte basal sobre la interfaz de la aislación.

Comentarios

C7.4.3, 3 En el caso de un sistema de aislación con corazón de plomo, el corte mínimo resulta igual a 1,5 veces la suma de las capacidades de los corazones de plomo.

C7.5 Distribución de fuerzas en vertical

Se debe notar que para deformaciones menores que las necesarias para la activación del sistema de aislación, la deformada de una estructura aislada es similar a la de una estructura convencional. Sin embargo, si la superestructura es suficientemente rígida, una vez activado el sistema de aislación, aún bajo deformaciones pequeñas de dicho sistema como las indicadas en Figura C.16, la distribución de fuerzas laterales equivalentes quedará controlada por las primeras formas modales del sistema aislado. Debido a que las deformaciones del sistema se concentran en la interfaz de aislación, estos modos aislados conducen a una distribución prácticamente uniforme de fuerzas laterales equivalentes.

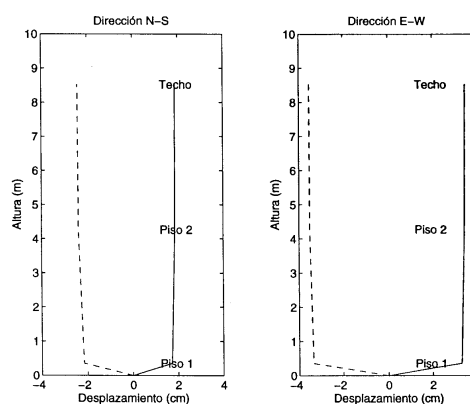


Figura C.16 - Deformada instantánea del edificio aislado FCC (Fire Command & Control Building) durante el sismo de Northridge, 1994

NCh2745	Comentarios
<p>7.5.2 En cada nivel designado con x, la fuerza F_x se debe aplicar sobre el centro de masa (CM) de ese nivel. Los esfuerzos en cada elemento estructural se deben calcular como el efecto de las fuerzas F_x, aplicadas en el nivel correspondiente.</p> <p>7.6 Límite de desplazamiento de entrepiso</p> <p>Para los pisos de la superestructura, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en el centro de masas en cada una de las direcciones de análisis, no debe ser mayor que la altura de entrepiso multiplicada por 0,002.</p>	<p>C7.6 Análisis estático no-lineal</p> <p>Aunque no se incluye en esta norma, es posible realizar análisis estático no-lineal de una estructura aislada. El análisis estático no-lineal debe ser de tipo <i>pushover</i>, y debe considerar como desplazamiento objetivo el proporcionado por las ecuaciones (1) y (3) en el CM del nivel por sobre la aislación.</p>
<p>8 Procedimiento de análisis dinámico</p> <p>8.1 Generalidades</p> <p>De acuerdo a lo requerido en cláusula 6, cada estructura aislada sísmicamente, o parte de ella, se puede diseñar y construir para resistir los desplazamientos y fuerzas sísmicas especificadas en esta cláusula. Las disposiciones de NCh433 también son obligatorias, en lo que no contradigan las disposiciones de la presente norma.</p> <p>8.2 Sistema de aislación y elementos de la subestructura</p> <p>8.2.1 El desplazamiento total de diseño del</p>	<p>C8 Procedimiento de análisis dinámico</p> <p>C8.2 Sistema de aislación y elementos de la subestructura</p>

NCh2745	Comentarios
<p>sistema de aislación no se debe considerar menor que el 90% de D_{TD}, según se especifica en 7.3.3.</p> <p>8.2.2 El desplazamiento total máximo del sistema de aislación no se debe considerar menor que el 80% de D_{TM} calculado con la ecuación (6).</p> <p>8.2.3 La fuerza de corte de diseño en el sistema de aislación y en los elementos estructurales bajo el sistema de aislación no debe ser menor que 90% de V_b calculado con la ecuación (7).</p> <p>8.2.4 Los límites especificados en 8.2.1 y 8.2.2 se deben evaluar usando los valores de D_{TD} y D_{TM} determinados de acuerdo a lo especificado en 7.3, excepto que D_D' se puede usar en lugar de D_D y D_M' se puede usar en lugar de D_M, donde D_D' y D_M' se calculan con las ecuaciones siguientes:</p> $D_D' = \frac{D_D}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^2}} \quad (9)$ $D_M' = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_M}\right)^2}} \quad (10)$ <p>y T es el período de la superestructura con base fija y comportamiento elástico.</p>	<p>Las ecuaciones (9) y (10) corresponden a modificaciones de las ecuaciones (1) y (3) con el propósito de incluir la influencia de la flexibilidad de la superestructura. Como se observa de estas ecuaciones, la flexibilidad de la superestructura produce una disminución de la demanda de deformación sobre la aislación. Para una razón entre el período fundamental aislado y de base fija (convencional) de 3, la corrección en D es de un 5%, aproximadamente.</p> <p>El valor del período de vibración T de la superestructura con base fija en cada una de las direcciones de acción sísmica consideradas en el análisis, se debe calcular mediante un análisis modal o bien mediante la fórmula implícita en NCh433.</p>

NCh2745	Comentarios
<p>8.3 Elementos estructurales de la superestructura</p> <p>8.3.1 El corte de diseño en la superestructura, en caso de ser ésta de configuración regular, no debe ser menor que 80% de V_s calculado con la ecuación (8) ni menor que los límites especificados en 7.4.3.</p> <p>EXCEPCION: Si la superestructura es de configuración regular, el corte de diseño en la superestructura se puede considerar menor que 80%, pero no menor que 60%, de V_s siempre que se realice análisis de respuesta en el tiempo para diseñar la estructura.</p> <p>8.3.2 Si la superestructura es de configuración irregular, el corte de diseño en ella no debe ser menor que V_s calculada con la ecuación (8) ni menor que los límites especificados en 7.4.3.</p> <p>EXCEPCION: Si la superestructura es de configuración irregular, el corte de diseño en ella se puede considerar menor que 100%, pero no menor que 80%, de V_s siempre que se realice análisis de respuesta en el tiempo para diseñar la estructura.</p> <p>8.4 Movimiento del suelo</p> <p>8.4.1 Espectros de diseño</p> <p>8.4.1.1 Para el diseño de todas las estructuras con un período aislado, T_M, mayor que 3,0 s, o ubicadas en suelos tipo IV, o ubicadas a menos de 10 km de una falla activa, se requiere de espectros específicos del sitio debidamente fundamentados. Las estructuras que no requieran de este tipo de espectro y para las cuales no se ha calculado un espectro específico, se deben diseñar usando el espectro indicado en Figura 1 debidamente escalado por el factor Z de Tabla 5, y conjuntamente con los valores indicados en Tabla 6.</p>	<p>C8.4 Movimiento del suelo</p> <p>C8.4.1 Espectros de diseño</p> <p>El espectro de diseño propuesto es un espectro de Newmark & Hall (ver Anexo A, [17]) cuya definición genérica se presenta en Figura C.17 (ver Tabla 6 y Figura 1).</p> <p>El espectro base para el diseño de estructuras aisladas fue desarrollado para aceleraciones máximas del terreno de 0,4 g, 0,41 g, y 0,45 g para los suelos I, II, y III, respectivamente; velocidades máximas de 22 cm/s, 41 cm/s, y 57 cm/s, respectivamente; y desplazamientos máximos de 10 cm, 15 cm, y 17 cm, respectivamente. Estos desplazamientos de terreno fueron derivados asumiendo un factor</p>

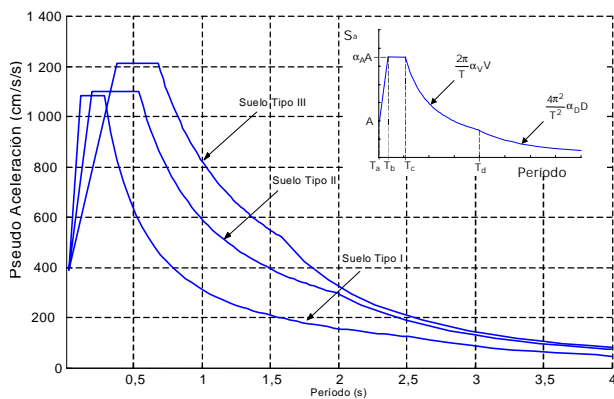


Figura 1 - Espectro base de diseño para zona 2 y los tres tipos de suelos ($\beta = 0,05$)

8.4.1.2 El espectro de diseño se debe construir para el sismo de diseño. Este no se debe considerar menor que el espectro entregado por esta norma.

EXCEPCION: Si se calcula un espectro de diseño específico para el sismo de diseño, el espectro de diseño se puede considerar menor que el 100%, pero no menor del 80%, del espectro de diseño definido por Figura 1.

8.4.1.3 Se debe construir un espectro de diseño para el sismo máximo posible. Este espectro no se debe considerar menor que el espectro de diseño definido en esta norma amplificado por el factor M_M . Este espectro se debe usar para determinar el desplazamiento total máximo y las fuerzas provenientes de los momentos volcantes para diseñar y ensayar el sistema de aislación.

EXCEPCION: Si se calcula un espectro de diseño específico para el sismo máximo posible, el espectro de

de amplificación de desplazamiento igual a 2 que es consistente con el valor obtenido de los factores de amplificación promedio para los registros chilenos (ver Anexo A, [20]). Este espectro debe ser modificado para el diseño de acuerdo con el factor Z introducido en 7.3.1 y establecido en Tabla 5.

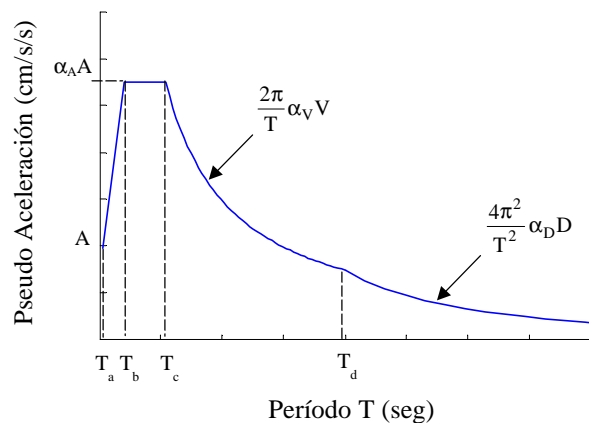


Figura C.17 - Definición del espectro de diseño de pseudo-aceleración

NCh2745

diseño se puede considerar menor que el 100%, pero no menor del 80%, del espectro de diseño dado en Figura 1 amplificado por el factor M_M .

8.4.2 Registros

8.4.2.1 Se deben seleccionar pares de componentes horizontales de registros de aceleración del suelo de al menos tres eventos sísmicos. Los pares de componentes de registros deben tener magnitudes, distancias a la falla, fuentes del mecanismo del sismo y tipos de suelo que sean consistentes con aquellos que controlan el sismo de diseño (o sismo máximo posible). Cuando no se disponga de pares de componentes de registros reales, se pueden agregar registros artificiales.

Comentarios

C8.4.2 Registros

C8.4.2.1 Con el único propósito y alcance de diseñar estructuras aisladas, se han generado tres registros artificiales para cada tipo de suelo, con dos componentes horizontales cada uno, compatibles con los espectros de diseño entregados en Figura 1. Estos registros se han generado utilizando las dos componentes horizontales de aceleración medidas durante el sismo del 3 de Marzo de 1985, en estaciones con suelos tipos I, II y III.

Sólo a modo de ejemplo, en Figura C.18 se muestran registros compatibles típicos. Por conveniencia para la comparación, todos estos registros se han normalizado a una aceleración máxima del suelo de 0,4 g.

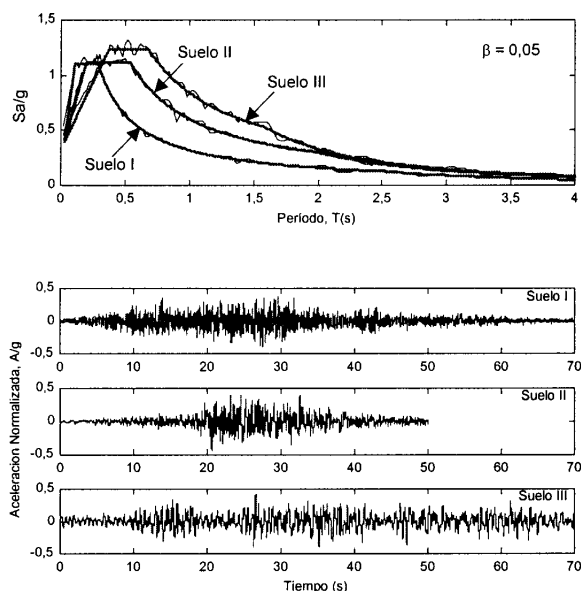


Figura C.18 - Registros sintéticos compatibles con los espectros de diseño para $\beta = 0,05$. Ellos fueron obtenidos a partir de una componente de registros reales en suelos I, II y III

NCh2745

8.4.2.2 Para cada par de registros se deben construir los espectros de pseudo-aceleración para $\beta = 0,05$ y se deben combinar según la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS). Los registros se deben modificar de manera que el promedio de los espectros de respuesta combinados con SRSS para las tres parejas de registros, no resulte menor que 1,17 ($1,3 - 0,10 \times 1,3$) veces el espectro del sismo de diseño para $\beta = 0,05$ (ó 1,17 veces el sismo máximo posible cuando corresponda) en el rango de períodos entre $0,5T_D$ y $1,25T_M$.

8.5 Modelo matemático

8.5.1 Generalidades

El modelo matemático de la estructura aislada, incluyendo el sistema de aislación, el sistema resistente de cargas laterales y cualquier otro elemento estructural, debe estar de acuerdo con lo dispuesto en NCh433 y con los requisitos de 8.5.2 y 8.5.3 que se describen a continuación.

8.5.2 Sistemas de aislación

8.5.2.1 El sistema de aislación se debe modelar de acuerdo con las características de deformación desarrolladas y verificadas por ensayos de acuerdo a los requisitos de 7.2.

Comentarios

C8.4.2.2 Este ítem busca conseguir una cierta uniformidad en la intensidad de las componentes en ambas direcciones.

NOTA - Utilizando registros compatibles esta condición se satisface automáticamente. Sin embargo, como se aprecia en Figura C.19 al imponer esta condición a las componentes de un registro real como el de Melipilla (1985) en todo el rango de frecuencias, el resultado es un registro con un espectro de respuesta poco realista.

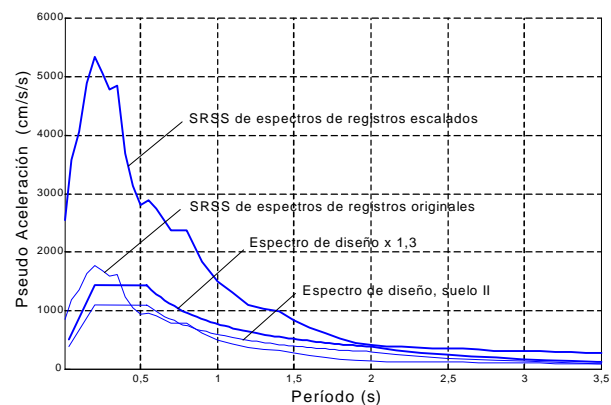


Figura C.19 - Amplificación de registros y combinación de componentes

C8.5 Modelo matemático

C8.5.2 Sistemas de aislación

Los programas de análisis estructural más utilizados actualmente para el análisis y diseño de estructuras aisladas son:

- i) SAP 2000; y
- ii) 3D-BASIS (ver Anexo A, [19]).

NCh2745	Comentarios
<p>8.5.2.2 El sistema de aislación se debe modelar con suficientes detalles como para:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Considerar la distribución espacial de los aisladores. 2. Calcular las traslaciones en ambas direcciones horizontales y la torsión de la superestructura, considerando la posición menos favorable de la excentricidad de la masa. 3. Poder determinar las fuerzas volcantes o que provoquen levantamiento sobre cada aislador. 4. Considerar los efectos de la carga vertical, acciones bidireccionales, y la velocidad de carga en caso que las propiedades de fuerza-deformación del aislador sean dependientes de una o más de estas variables. <p>8.5.3 Estructura aislada</p> <p>8.5.3.1 Desplazamiento</p> <p>a) El máximo desplazamiento de cada piso, el desplazamiento total de diseño y el desplazamiento total máximo en el sistema de aislación se deben calcular utilizando un modelo de la estructura aislada que incluya las características fuerza-deformación de los elementos no-lineales del sistema de aislación y del sistema resistente a fuerzas laterales.</p>	<p>Ambos programas permiten modelar en forma sencilla las constitutivas no-lineales de los aisladores. Sin embargo, SAP 2000 permite analizar casos más complejos en que existe estructura bajo el nivel de aislación.</p> <p>C8.5.3 Estructura aislada</p> <p>C8.5.3.1 Desplazamiento</p> <p>En caso de que se realice un análisis espectral, las características no-lineales del ciclo fuerza-deformación de los aisladores se deberán considerar a través de propiedades lineales equivalentes calibradas para obtener igual disipación cíclica de energía para una carga sinusoidal que la obtenida de la constitutiva verdadera del aislador.</p> <p>El análisis espectral con propiedades lineal equivalentes para los aisladores es intrínsecamente iterativo debido a la dependencia con la deformación angular γ de las</p>

NCh2745	Comentarios										
<p>b) Los sistemas resistentes a fuerzas laterales con elementos no-lineales incluyen, sin estar limitados a ello, sistemas estructurales irregulares diseñados para una fuerza lateral menor que V_s según lo indica la ecuación (8) y los límites especificados en 7.4.3 y los sistemas estructurales regulares diseñados para una fuerza lateral menor que el 80% de V_s.</p>	<p>propiedades secantes.</p> <p>Las irregularidades de una estructura constituyen discontinuidades físicas importantes en su configuración en altura (ver Tabla C.3) y planta (ver Tabla C.4) y en su sistema resistente a fuerzas laterales. Entre las irregularidades de la superestructura destacan:</p> <p style="text-align: center;">Tabla C.3 - Irregularidades verticales estructurales</p> <table border="1" data-bbox="805 739 1364 1803"> <tbody> <tr> <td data-bbox="805 739 885 929">1</td> <td data-bbox="885 739 1364 929"> <p>Irregularidad de rigidez - piso blando Un piso blando es aquel cuya rigidez lateral es menor del 70% de la rigidez del piso superior o menor del 80% de la rigidez promedio de los 3 pisos superiores al piso blando.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="805 929 885 1108">2</td> <td data-bbox="885 929 1364 1108"> <p>Irregularidad de peso (masa) Se debe considerar que existe irregularidad de masa cuando la masa efectiva de cualquier piso es mayor del 150% de la masa efectiva de un piso colindante. No es necesario considerar el nivel de techo.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="805 1108 885 1332">3</td> <td data-bbox="885 1108 1364 1332"> <p>Irregularidad vertical geométrica Se considerará que existe irregularidad vertical geométrica cuando la dimensión horizontal del sistema de resistencia a las fuerzas laterales en cualquier piso es mayor del 130% de la de un piso colindante. No es necesario considerar los pisos de azotea de un solo nivel.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="805 1332 885 1512">4</td> <td data-bbox="885 1332 1364 1512"> <p>Discontinuidad en el plano de los elementos verticales resistentes a las fuerzas laterales Una excentricidad en el plano de los elementos resistentes a cargas laterales mayor que la longitud de esos elementos.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="805 1512 885 1803">5</td> <td data-bbox="885 1512 1364 1803"> <p>Discontinuidad en capacidad - piso blando Un piso débil es aquel en que la resistencia del piso es menor del 80% de la resistencia del piso superior. La resistencia del piso es la resistencia total de todos los elementos resistentes a las fuerzas sísmicas que comparten el esfuerzo cortante del piso en la dirección bajo consideración.</p> </td> </tr> </tbody> </table>	1	<p>Irregularidad de rigidez - piso blando Un piso blando es aquel cuya rigidez lateral es menor del 70% de la rigidez del piso superior o menor del 80% de la rigidez promedio de los 3 pisos superiores al piso blando.</p>	2	<p>Irregularidad de peso (masa) Se debe considerar que existe irregularidad de masa cuando la masa efectiva de cualquier piso es mayor del 150% de la masa efectiva de un piso colindante. No es necesario considerar el nivel de techo.</p>	3	<p>Irregularidad vertical geométrica Se considerará que existe irregularidad vertical geométrica cuando la dimensión horizontal del sistema de resistencia a las fuerzas laterales en cualquier piso es mayor del 130% de la de un piso colindante. No es necesario considerar los pisos de azotea de un solo nivel.</p>	4	<p>Discontinuidad en el plano de los elementos verticales resistentes a las fuerzas laterales Una excentricidad en el plano de los elementos resistentes a cargas laterales mayor que la longitud de esos elementos.</p>	5	<p>Discontinuidad en capacidad - piso blando Un piso débil es aquel en que la resistencia del piso es menor del 80% de la resistencia del piso superior. La resistencia del piso es la resistencia total de todos los elementos resistentes a las fuerzas sísmicas que comparten el esfuerzo cortante del piso en la dirección bajo consideración.</p>
1	<p>Irregularidad de rigidez - piso blando Un piso blando es aquel cuya rigidez lateral es menor del 70% de la rigidez del piso superior o menor del 80% de la rigidez promedio de los 3 pisos superiores al piso blando.</p>										
2	<p>Irregularidad de peso (masa) Se debe considerar que existe irregularidad de masa cuando la masa efectiva de cualquier piso es mayor del 150% de la masa efectiva de un piso colindante. No es necesario considerar el nivel de techo.</p>										
3	<p>Irregularidad vertical geométrica Se considerará que existe irregularidad vertical geométrica cuando la dimensión horizontal del sistema de resistencia a las fuerzas laterales en cualquier piso es mayor del 130% de la de un piso colindante. No es necesario considerar los pisos de azotea de un solo nivel.</p>										
4	<p>Discontinuidad en el plano de los elementos verticales resistentes a las fuerzas laterales Una excentricidad en el plano de los elementos resistentes a cargas laterales mayor que la longitud de esos elementos.</p>										
5	<p>Discontinuidad en capacidad - piso blando Un piso débil es aquel en que la resistencia del piso es menor del 80% de la resistencia del piso superior. La resistencia del piso es la resistencia total de todos los elementos resistentes a las fuerzas sísmicas que comparten el esfuerzo cortante del piso en la dirección bajo consideración.</p>										

NCh2745

Comentarios

Tabla C.4 - Irregularidades estructurales en planta

1	<p>Irregularidad torsional a considerar cuando los diafragmas son rígidos en su plano</p> <p>Se debe considerar que existe irregularidad torsional cuando el máximo desplazamiento relativo del piso calculado incluyendo la torsión accidental, en un extremo de la estructura transversal a un eje es más de 1,2 veces el promedio de los desplazamientos relativos del piso de los dos extremos de la estructura.</p>
2	<p>Esquinas reentrantes</p> <p>Se debe considerar que existe irregularidad en planta cuando el sistema resistente a las fuerzas laterales posee planos con esquinas reentrantes tales que los retrocesos o avances ocasionados son mayores que el 15% de la dimensión del plano resistente en su dirección principal.</p>
3	<p>Discontinuidad de diafragma</p> <p>Los diafragmas con discontinuidades abruptas o variaciones de rigidez, incluyendo los que tienen áreas recortadas o abiertas mayores del 50% del área bruta encerrada del diafragma o cambios en la rigidez efectiva del diafragma mayores del 50% de un piso al siguiente.</p>
4	<p>Desviaciones fuera del plano</p> <p>Discontinuidades en una trayectoria de fuerza lateral como desviaciones fuera del plano de los elementos verticales.</p>
5	<p>Sistemas no paralelos</p> <p>Los elementos verticales resistentes a las cargas laterales no son paralelos ni simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales del sistema que resiste las fuerzas laterales.</p>

8.5.3.2 Fuerzas y desplazamientos en los elementos claves

Las fuerzas y desplazamientos de diseño en los elementos claves del sistema resistente a las fuerzas laterales se pueden calcular utilizando un modelo elástico lineal de la estructura aislada, siempre que:

1. Las propiedades elásticas equivalentes

NCh2745	Comentarios
<p>asumidas para los componentes no-lineales de los sistemas de aislación se basen en la rigidez efectiva máxima del sistema de aislación.</p> <p>2. Todos los elementos claves del sistema resistente a las fuerzas laterales de la superestructura y subestructura sean lineales.</p> <p>8.6 Descripción de los procedimientos de análisis</p> <p>8.6.1 Generalidades</p> <p>El análisis espectral y el análisis de respuesta en el tiempo se deben realizar de acuerdo con los requisitos de esta cláusula.</p> <p>8.6.2 Solicitación sísmica</p> <p>El sismo de diseño se debe utilizar para calcular el desplazamiento total de diseño del sistema de aislación y las fuerzas y desplazamientos laterales de la estructura aislada. El sismo máximo posible se debe utilizar para calcular el desplazamiento total máximo del sistema de aislación.</p> <p>8.6.3 Análisis de respuesta espectral</p> <p>8.6.3.1 El análisis de respuesta espectral reconoce que la razón de amortiguamiento modal en los modos fundamentales de la estructura aislada, es decir, aquellos que corresponden al movimiento traslacional o rotacional predominante de la interfaz de aislación y que quedan determinados por las características de ésta, es mayor que la razón de amortiguamiento de los modos que involucran deformación de la superestructura. Para las frecuencias de vibración asociadas a esos modos fundamentales, el espectro de diseño de 8.4.1 se debe dividir por el factor B_D indicado en Tabla 2. Para los modos restantes se deben usar valores de B_D coherentes con la</p>	<p>C8.6.3 Análisis de respuesta espectral</p> <p>Para el análisis de respuesta espectral de una estructura aislada en que los primeros modos poseen razones de amortiguamiento β mayores que el resto de los modos, el espectro de diseño especificado en 8.4.1 debe ser dividido, para las frecuencias de vibración asociadas a esos modos, por el factor B_D de Tabla 2. Este procedimiento supone que el amortiguamiento interno de la estructura es clásico.</p> <p>Lamentablemente, el uso de amortiguamiento modal clásico puede conducir en algunos casos a errores importantes en la respuesta de la estructura. Es aconsejable entonces usar una matriz de amortiguamiento C que no sea clásica</p>

NCh2745	Comentarios
<p>razón de amortiguamiento de la superestructura supuesta fija al suelo. Por lo tanto, se deben utilizar dos valores de amortiguamiento modal en el análisis. Este procedimiento supone que el amortiguamiento interno de la estructura es clásico.</p> <p>8.6.3.2 El factor de reducción por amortiguamiento B_D para los modos fundamentales de la estructura aislada debe ser el menor valor entre el valor correspondiente al amortiguamiento efectivo del sistema de aislación y el valor asociado a $\beta = 0,30$.</p>	<p>debido a la concentración de amortiguamiento en los aisladores.</p> <p>Una posibilidad para construir la matriz de amortiguamiento del sistema completo es separar las contribuciones a la matriz de amortiguamiento de los 3 modos fundamentales aislados de la contribución de los modos flexibles de la superestructura. Se puede demostrar que es posible construir la matriz de amortiguamiento del sistema aislado a través de la expresión siguiente:</p> $C = \left[\begin{array}{c c} \Psi^T C_s \Psi & -\Psi^T C_s \\ \hline -C_s^T \Psi & C_s \end{array} \right] \quad (C.20)$ <p>en que la matriz ψ representa la transformación cinemática lineal entre las deformaciones q de la superestructura y los movimientos impuestos de la base, x, esto es:</p> $q = \psi x \quad (C.21)$ <p>y la matriz C_s corresponde a la matriz de amortiguamiento clásica modal de la superestructura.</p> <p>Lamentablemente debido a que la mayoría de los programas de análisis para estructuras aisladas disponibles comercialmente utilizan el concepto de amortiguamiento modal clásico, las expresiones (C.20) y (C.21) no han sido ampliamente difundidas. La norma acepta, por lo tanto, el análisis modal clásico con la precaución mencionada.</p>

NCh2745	Comentarios
<p>8.6.3.3 El análisis espectral utilizado para determinar el desplazamiento total de diseño y el desplazamiento total máximo debe incluir la acción simultánea sobre el modelo del 100% de la excitación según la dirección crítica del movimiento más el 30% de la excitación según un eje ortogonal a la dirección anterior. El desplazamiento máximo del sistema de aislación se debe calcular como la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales.</p> <p>8.6.4 Análisis de respuesta en el tiempo</p> <p>8.6.4.1 El análisis de respuesta en el tiempo se debe realizar con al menos tres pares apropiados de componentes horizontales de registros, como se define en 8.4.2.</p> <p>8.6.4.2 Cada par de registros se debe aplicar simultáneamente al modelo, considerando la ubicación menos ventajosa del centro de masa. El desplazamiento máximo del sistema de aislación se debe calcular de la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales para cada instante.</p> <p>8.6.4.3 Para cada análisis de respuesta en el tiempo se deberá calcular el parámetro de interés. Cuando se realicen tres análisis de respuesta en el tiempo, se deberá utilizar en el diseño la respuesta máxima del parámetro de interés. Cuando se realicen siete o más análisis de respuesta en el tiempo, se podrá utilizar para el diseño el valor promedio de respuesta del parámetro de interés.</p>	<p>C8.6.4 Análisis de respuesta en el tiempo</p> <p>Este procedimiento corresponde a un análisis de historia de respuesta en el tiempo para registros sintéticos o reales característicos de la sismicidad de la zona de emplazamiento de la estructura. En todo caso, los resultados de este análisis se deben escalar hacia arriba si resultan menores que un factor del obtenido por análisis estático (ver 8.7.3).</p> <p>El corrimiento del centro de masas será de acuerdo con NCh433.Of96, acápite 6.3.4 a). Esta subcláusula establece por concepto de torsión accidental un corrimiento de un 5% de la dimensión de la planta en la dirección perpendicular a la acción sísmica considerada.</p> <p>El análisis sísmico de respuesta en el tiempo se puede realizar utilizando un modelo lineal equivalente del sistema de aislación o bien un modelo no-lineal que represente en forma más precisa su constitutiva.</p> <p>Sin embargo, es importante mencionar que existen casos en los que un modelo lineal equivalente del sistema de aislación puede conducir a errores significativos en la estimación de la demanda de deformaciones y fuerzas en el sistema de aislación y la superestructura. Un ejemplo característico es el caso de los aisladores friccionales en que ocurre levantamiento de los apoyos durante un sismo. Otro ejemplo es el uso de sistemas de</p>

NCh2745	Comentarios
<p>8.7 Fuerza lateral de diseño</p> <p>8.7.1 Sistema de aislación y elementos estructurales en el sistema de aislación o en la subestructura</p> <p>El sistema de aislación, la fundación y todos los sistemas estructurales de la subestructura se deben diseñar utilizando todos los requisitos de capacidad, deformación y resistencia apropiados para estructuras no aisladas y las fuerzas obtenidas del análisis dinámico.</p> <p>8.7.2 Elementos estructurales por sobre el sistema de aislación</p> <p>Los elementos estructurales por sobre el sistema de aislación se deben diseñar utilizando todos los requisitos de capacidad, deformación y resistencia apropiados para estructuras no aisladas y las fuerzas obtenidas del análisis dinámico reducidas por el factor R_1. El factor R_1 se debe basar en el tipo de esquema resistente a fuerzas laterales utilizado en la superestructura y que se detalla en Tabla 4.</p> <p>8.7.3 Escalamiento de los resultados</p> <p>Cuando el esfuerzo de corte lateral en los elementos estructurales, determinado utilizando ya sea el espectro de respuesta o el análisis de respuesta en el tiempo, es menor que el valor mínimo que se indica en 8.1 y 8.2, todos los parámetros de respuesta, incluyendo las fuerzas y momentos de los elementos se deben aumentar proporcionalmente.</p>	<p>aislación con restricciones cinemáticas no-lineales, como es el péndulo friccional (FPS). En tales casos es necesario modelar en forma precisa la constitutiva no-lineal del apoyo y el acomplamiento entre los movimientos laterales y verticales.</p>

NCh2745	Comentarios
<p>8.8 Límites de desplazamiento de entrepiso</p> <p>El desplazamiento máximo de entrepiso correspondiente a la fuerza lateral de diseño, incluyendo el desplazamiento horizontal debido a la deformación vertical del sistema de aislación, no debe exceder los límites siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El cociente máximo entre el desplazamiento de entrepiso de la estructura y la altura del piso por sobre el sistema de aislación, calculado mediante análisis de respuesta espectral, no debe exceder 0,002 5. 2. El cociente máximo entre el desplazamiento de entrepiso de la estructura y la altura de piso por sobre el sistema de aislación, calculado por análisis de respuesta en el tiempo considerando las características de fuerza-deformación de los elementos no-lineales del sistema resistente a las fuerzas laterales, no debe exceder de 0,003. <p>Los efectos de segundo orden correspondientes al desplazamiento lateral del sismo máximo posible, Δ, de la estructura por sobre el sistema de aislación combinado con las fuerzas de gravedad se deben investigar cuando la razón entre el desplazamiento de entrepiso y la altura del piso exceda 0,004.</p>	<p>C8.8 Límites de desplazamiento de entrepiso</p> <p>La deformación de entrepiso para la superestructura es función del nivel de ductilidad provisto por su detallamiento sísmico. El valor escogido de deformación de entrepiso es consistente con el valor 0,002 de NCh433 y $R_1 = 2$, ya que $0,002 \cdot R_1 / 1,4 / (\phi = 0,9) \approx 0,002 5$, lo que implica que la superestructura permanecerá esencialmente elástica y con deformaciones de entrepiso considerablemente inferiores a las de su contraparte de base fija.</p> <p>El mayor valor utilizado reconoce el beneficio de realizar una mejor estimación de la demanda a través de un análisis de respuesta en el tiempo.</p> <p>El límite 0,003 para la deformación de entrepiso corresponde a aplicar a la deformación admisible de 0,002 5 el factor de magnificación M_M de 1,2 para el sismo máximo posible.</p>

NCh2745	Comentarios
<p>9 Carga lateral en elementos de estructuras y en los componentes no estructurales soportados por estructuras</p> <p>9.1 Generalidades</p> <p>Las partes o secciones de una estructura aislada, los componentes permanentes no estructurales y sus fijaciones, y las fijaciones de equipos permanentes soportados por una estructura se deben diseñar para resistir fuerzas y desplazamientos sísmicos como lo indica esta cláusula y los requisitos correspondientes de 8.3 de NCh433.Of96.</p> <p>9.2 Fuerzas y desplazamientos</p> <p>9.2.1 Componentes en la interfaz de aislación o por sobre ella</p> <p>Los elementos de estructuras aisladas y sus componentes no estructurales, o partes de ambos, que están en la interfaz de aislación o sobre la misma, se deben diseñar para resistir una fuerza sísmica lateral total igual a la respuesta dinámica máxima del elemento considerado.</p> <p>ALTERNATIVA: Los elementos de estructuras aisladas y sus componentes no estructurales, o partes de ambos, se pueden diseñar para resistir la fuerza sísmica lateral total como lo indican las ecuaciones (8-1) a (8-4) de 8.3 de NCh433.Of96.</p> <p>9.2.2 Componentes que cruzan la interfaz de aislación</p> <p>Los elementos de estructuras aisladas y los componentes no estructurales, o partes de ambos que cruzan la interfaz de aislación, se deben diseñar para acomodar el desplazamiento total máximo.</p>	<p>C9 Carga lateral en elementos de estructuras y en los componentes no estructurales soportados por estructuras</p> <p>C9.2.2 Componentes que cruzan la interfaz de aislación</p> <p>Para acomodar los movimientos diferenciales entre la superestructura aislada y la subestructura o el suelo circundante es necesario proveer conexiones flexibles capaces de acomodar el desplazamiento impuesto por el sismo máximo posible. Otras estructuras rígidas que cruzan la interfaz de aislación, tales como escaleras, ascensores, shafts, entre otros, se</p>

NCh2745	Comentarios
<p>9.2.3 Componentes por debajo de la interfaz de aislación</p> <p>Los elementos de estructuras aisladas y los componentes no estructurales o partes de ambos que están por debajo de la interfaz de aislación se deben diseñar y construir de acuerdo con los requisitos de 8.3 de NCh433.Of96.</p>	<p>deben detallar de manera de permitir el movimiento diferencial entre las subestructura y la superestructura.</p>
<p>10 Requisitos detallados de los sistemas</p> <p>10.1 Generalidades</p> <p>El sistema de aislación y el sistema estructural deben cumplir con los requisitos de esta cláusula y con los requisitos de materiales descritos en NCh427, NCh430, NCh1928 y NCh2123 vigentes.</p> <p>10.2 Sistema de aislación</p> <p>10.2.1 Condiciones medioambientales</p> <p>Además de los requisitos para cargas verticales y laterales producidas por el viento y los movimientos sísmicos, el sistema de aislación se debe diseñar teniendo en consideración otras condiciones medioambientales que incluyen los efectos de envejecimiento, deformación plástica, fatiga, temperatura de operación y exposición a la humedad o a sustancias dañinas.</p>	<p>C10 Requisitos detallados de los sistemas</p> <p>C10.2.1 Condiciones medioambientales</p> <p>Los aisladores elastoméricos de goma natural son sensibles a la radiación ultravioleta y el ozono, y es recomendable que no se encuentren expuestos directamente a la luz solar. Por esta razón estos aisladores deben estar protegidos por una lámina de sacrificio que retarde el proceso de envejecimiento. Similares precauciones con el polvo y la humedad se deben tener con los aisladores friccionales de modo de evitar agripamiento de las superficies como consecuencia del envejecimiento.</p>

NCh2745	Comentarios
<p>10.2.2 Fuerzas de viento</p> <p>Las estructuras aisladas deben resistir las cargas de diseño para viento en todos los niveles por encima de la interfaz de aislación de acuerdo con las disposiciones generales del diseño para viento según NCh432. En la interfaz de aislación, se debe contar con un sistema que limite en condiciones habituales de operación el desplazamiento lateral en el sistema de aislación a un valor igual al que se permite entre los pisos de la superestructura.</p> <p>10.2.3 Resistencia al fuego</p> <p>10.2.3.1 La resistencia al fuego del sistema de aislación debe cumplir con lo que se requiere para las columnas, muros u otros elementos estructurales de la edificación en el cual se encuentra instalado.</p> <p>10.2.3.2 Los sistemas de aislación que requieren una calificación de resistencia al fuego se deben proteger con materiales o con sistemas de construcción apropiados, diseñados para proporcionar el mismo grado de resistencia al fuego especificado para el elemento en el cual se encuentran instalados cuando se prueben de acuerdo con UBC 7-1, Sección 703.2.</p> <p>La protección del sistema de aislación debe tener la capacidad de retardar la transferencia de calor al aislador de manera que la capacidad requerida de transmisión de cargas por gravedad del aislador no sea impedida después de la exposición del sistema de protección a la curva de tiempo-temperatura correspondiente indicada por UBC 7-1, para una duración no menor que la requerida por la calificación de resistencia al fuego del elemento estructural en el cual esté instalado.</p> <p>La protección del sistema de aislación aplicada a los aisladores se debe diseñar apropiadamente e instalarse firmemente de</p>	

NCh2745	Comentarios
<p>manera que no se afloje o se suelte, reciba daños o se afecte de alguna otra manera su capacidad de acomodar los movimientos sísmicos para el cual está diseñado el aislador y mantenga su integridad con el propósito de proporcionar la protección requerida de resistencia al fuego.</p> <p>10.2.4 Fuerza de restitución lateral</p> <p>El sistema de aislación se debe configurar para producir una fuerza de restitución tal que la fuerza lateral para el desplazamiento total de diseño sea por lo menos 0,025 W mayor que la fuerza lateral para el 50% del desplazamiento total de diseño.</p> <p>EXCEPCION: El sistema de aislación no necesita estar configurado para producir una fuerza de restitución, como se indica anteriormente, siempre que él tenga la capacidad de permanecer estable bajo la carga vertical completa y admita un desplazamiento máximo total igual a 3,0 veces el desplazamiento total de diseño.</p>	<p>C10.2.4 Fuerza de restitución lateral</p> <p>Se entiende por carga vertical completa a la obtenida de las combinaciones siguientes:</p> <p>i) $1,2D+1,0L+ E _{\text{máx.}}$ (C.22)</p> <p>ii) $0,8D- E _{\text{mín.}}$</p> <p>en que:</p> <p>E = corresponde a la carga vertical máxima sobre los aisladores proveniente del volcamiento de la superestructura.</p> <p>En estas expresiones la carga viva se puede reducir por el concepto de área tributaria de acuerdo a lo estipulado en NCh1537.</p>
<p>10.2.5 Restricción de desplazamiento</p> <p>El sistema de aislación se puede configurar incluyendo un dispositivo de restricción de desplazamiento que limite el desplazamiento lateral debido al sismo máximo posible a un máximo de 1,5 veces el desplazamiento total de diseño, siempre que la estructura aislada se diseñe de acuerdo con los criterios siguientes:</p> <p>1. La respuesta al sismo máximo posible se calcula de acuerdo con los requisitos</p>	<p>C10.2.5 Restricción de desplazamiento</p> <p>Se entiende que para el análisis espectral de la estructura aislada las características no-lineales</p>

NCh2745	Comentarios
<p>del análisis dinámico de 6.3 de NCh433.Of96, considerando explícitamente las características no-lineales del sistema de aislación y de la superestructura.</p> <p>2. La capacidad final del sistema de aislación y de los elementos estructurales bajo él exceda las demandas de resistencia y desplazamiento correspondientes al sismo máximo posible.</p> <p>3. La superestructura se ha verificado de acuerdo a las demandas de estabilidad y ductilidad correspondientes al sismo máximo posible.</p> <p>4. El dispositivo de restricción de desplazamiento no se llegue a activar para un desplazamiento menor a 0,75 veces el desplazamiento total de diseño a menos que se demuestre mediante un análisis que su activación a desplazamientos menores no se traduce en un diseño insatisfactorio.</p> <p>10.2.6 Estabilidad para cargas verticales</p> <p>Cada elemento del sistema de aislación se debe diseñar para permanecer estable bajo la carga vertical máxima, $1,2D + 1,0L + E _{\text{máx.}}$ y la vertical mínima, $0,8D - E _{\text{mín.}}$ a un desplazamiento horizontal igual al desplazamiento máximo total. La carga sísmica vertical en un aislador debido al volcamiento, $E _{\text{máx.}}$ y $E _{\text{mín.}}$, se debe basar en la respuesta extrema debida al movimiento sísmico máximo posible.</p> <p>10.2.7 Volcamiento global</p> <p>El factor de seguridad contra el volcamiento global de la estructura en la interfaz de aislación no debe ser menor que 1,0 para las combinaciones de carga requeridas. Se deben investigar todas las condiciones de</p>	<p>del sistema de aislación se pueden representar a través de las propiedades lineales equivalentes de los dispositivos.</p> <p>C10.2.7 Volcamiento global</p>

NCh2745	Comentarios
<p>carga de gravedad y sismo. Las fuerzas sísmicas para el cálculo del volcamiento se deben basar en el movimiento sísmico máximo posible y se debe utilizar W para la fuerza vertical de restitución.</p> <p>Se permite el levantamiento local de los aisladores siempre que las deformaciones resultantes no causen un esfuerzo excesivo o inestabilidad en los aisladores u otros elementos de la edificación.</p> <p>10.2.8 Inspección y reemplazo</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se debe contar con acceso para inspección y reemplazo de todos los componentes del sistema de aislación. 2. El ingeniero civil responsable del proyecto o el profesional designado por él debe realizar una serie final de inspecciones u observaciones de las áreas de separación de la edificación y de los componentes que cruzan el sistema de aislación y dejar constancia de la aprobación en el Libro de Obra antes de emitir el certificado de uso para la edificación con aislación sísmica. Dichas inspecciones y observaciones deben mostrar que las condiciones reales de construcción permiten un desplazamiento libre y sin interferencias de la estructura hasta los niveles máximos de sollicitación y que todos los componentes que cruzan el sistema de aislación de acuerdo a su instalación definitiva puedan acomodar los desplazamientos estipulados. 	<p>El levantamiento de aisladores puede ocurrir en ciertas situaciones extremas especialmente en los dispositivos friccionales. La existencia de episodios de levantamiento en la respuesta de una estructura aislada requiere que el sistema de aislación sea modelado incorporando este efecto no-lineal. Del mismo modo se debe incluir con especial cuidado el impacto entre la estructura y la superficie de deslizamiento, el que puede ocasionar fuertes incrementos instantáneos de la fuerza de deslizamiento y el consecuente bloqueo horizontal de la estructura en algunos aisladores.</p> <p>C10.2.8 Inspección y reemplazo</p>

NCh2745	Comentarios
<p>3. Las edificaciones con aislación sísmica deben tener un programa de control, inspección y mantenimiento periódico para el sistema de aislación establecido por el profesional responsable del diseño del sistema. El objetivo de dicho programa debe ser asegurar que todos los elementos del sistema de aislación están en condiciones de cumplir con los niveles mínimos de diseño en todo momento.</p> <p>4. La modificación, reparación o reconstrucción en la zona de influencia del sistema de aislación, incluyendo la de los componentes que cruzan el sistema de aislación, se debe realizar bajo la dirección de un profesional con experiencia en el diseño y construcción de estructuras con aislación sísmica.</p> <p>5. Se recomienda instrumentar el edificio al menos al nivel del sistema de aislación con el propósito de registrar los desplazamientos relativos entre la base y la superestructura.</p>	<p>Es recomendable que dos aisladores de cada tipo y tamaño distinto, sometidos a una carga axial representativa de las cargas sobre los aisladores de ese tipo y tamaño instalados en el edificio, permanezcan en la estructura una vez finalizada la construcción para servir el propósito de monitoreo de las propiedades mecánicas a lo largo del tiempo.</p>
<p>10.2.9 Control de calidad</p> <p>El ingeniero responsable del diseño estructural debe establecer un programa de ensayos de control de calidad para los aisladores.</p>	<p>C10.2.9 Control de calidad</p> <p>Se requiere un programa de ensayo e inspección tanto para la fabricación de los aisladores como para su instalación en obra. Debido a lo nuevo de esta tecnología es difícil referenciar estándares para el ensayo e inspección. Los procedimientos de inspección y control de calidad de los aisladores se deben desarrollar para cada proyecto. Estos procedimientos dependen del sistema de aislación utilizado.</p> <p>En el control de calidad de los aisladores, el fabricante debe, como mínimo, velar por aspectos tales como calidad de los materiales utilizados, ensayos de los elastómeros, ensayos del nivel de fricción, adhesivos goma-acero, pinturas, pernos y anclajes utilizados, procedimientos de instalación, entre otros.</p>

NCh2745	Comentarios
	<p>En ausencia de normas chilenas y siempre que no contradigan otras disposiciones de la presente norma, se pueden considerar los documentos siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. American Society for Testing and Materials (ASTM): <i>ASTM A 36 Standard Specification for Structural Steel.</i> 2. <i>ASTM A 108 Standard Specification for Steel Bars, Carbon, Cold-Finished Standard Quality.</i> 3. <i>ASTM A 325 Standard Specification for High-Strength Bolts.</i> 4. <i>ASTM A 570 Standard Specification for Structural Sheet Metal.</i> 5. <i>ASTM A 572 Standard Specification for High Strength Low Alloy Columbian-Vanadium Steels of Structural Quality.</i> 6. <i>ASTM B 29 Standard Specification for Lead.</i> 7. <i>ASTM D 395 Standard Test Methods for Rubber Property-Compression.</i> 8. <i>ASTM D 412 Standard Test Methods for Rubber Properties in Tension.</i> 9. <i>ASTM D 429 Standard Test Methods for Rubber Property-Adhesion to Rigid Substrate.</i> 10. <i>ASTM D 518 Standard Test Method for Rubber Deterioration-Surface Cracking.</i> 11. <i>ASTM D 573 Test for Rubber Deterioration-in Air Oven.</i> 12. <i>ASTM D 624 Test Method for Rubber Property-Tear Resistance.</i> 13. <i>ASTM D 1149 Standard Test Method for Rubber Deterioration-Surface Ozone</i>

NCh2745	Comentarios
<p>10.3 Sistema estructural</p> <p>10.3.1 Distribución horizontal de fuerzas</p> <p>Un diafragma horizontal u otros elementos estructurales deben proveer continuidad por encima del sistema de aislación y deben tener suficiente resistencia y ductilidad para transmitir las fuerzas (debidas a los movimientos no uniformes del suelo) entre distintas partes de la edificación.</p>	<p><i>Cracking in a Chamber (Flat Specimens).</i></p> <p>14. ASTM D 1229 <i>Test Method for Rubber Property-Compression Set at Low Temperatures.</i></p> <p>15. ASTM D 1457 <i>Specification for PTFE Molding and Extrusion Materials.</i></p> <p>16. ASTM D 2137 <i>Test Method for Rubber Property-Brittleness Point.</i></p> <p>17. ASTM D 2240 <i>Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness.</i></p> <p>18. ASTM D 3183 <i>Standard Practice for Rubber-Preparation of Pieces for Test Purposes from Products.</i></p> <p>19. ASTM D 4014 <i>Standard Specification for Plain and Steel Laminated Elastomeric Bearings for Bridges.</i></p> <p>20. ASTM E 4 <i>Standard Practices for Load Verification of Testing Machine.</i></p> <p>21. ASTM E 37 <i>Standard Chemical Methods for the Analysis of Lead.</i></p> <p>22. <i>Steel Structures Painting Council (SSPC)SP6-Comercial Blast Cleaning.</i></p> <p>23. <i>American Welding Society (AWS) D1.1-Structural Welding Code-Steel.</i></p> <p>C10.3 Sistema estructural</p>

NCh2745	Comentarios
<p>10.3.2 Separaciones entre edificaciones</p> <p>Las separaciones mínimas entre las edificaciones aisladas y los muros de contención u otras obstrucciones fijas circundantes no deben ser menores que el desplazamiento total máximo.</p>	<p>C10.3.2 Separaciones entre edificaciones</p> <p>En el caso de una estructura aislada contigua a una convencional la separación entre ambas debe ser como mínimo la suma de las deformaciones totales máximas de ambas.</p> <p>En el caso de existir dos estructuras contiguas que estén aisladas sísmicamente se pueden presentar dos situaciones dependiendo si la aislación es o no común a ambas estructuras. Si es común, la separación entre ellas se puede tomar igual que la separación entre estructuras convencionales. Si la aislación no es común, la separación debe ser como mínimo la suma de las deformaciones totales máximas de ambas estructuras.</p>
<p>11 Estructuras que no forman parte de edificaciones</p> <p>Las estructuras que no forman parte de edificaciones se deben diseñar utilizando los desplazamientos y las fuerzas de diseño calculados de acuerdo con cláusulas 7 u 8.</p>	<p>C11 Estructuras que no forman parte de edificaciones</p> <p>Se entiende por estructuras que no forman parte de edificaciones a todas aquellas que son autosoportantes, aparte de los edificios, que resisten cargas gravitacionales y que resisten los efectos de los movimientos sísmicos; un ejemplo característico son los estanques de agua. Para el diseño de estos elementos se recomienda utilizar un espectro de piso generado a partir del modelo estructural descrito en cláusula 8.</p>
<p>12 Fundaciones</p> <p>Las fundaciones se deben diseñar y construir de acuerdo con los requisitos de NCh433, utilizando las fuerzas de diseño calculadas de acuerdo con cláusulas 7 u 8.</p>	<p>C12 Fundaciones</p> <p>De acuerdo con la ecuación (7), las fuerzas de diseño para el sistema de fundaciones no se deben reducir por el factor R_1.</p>

NCh2745	Comentarios
<p>13 Revisión de diseño y construcción</p> <p>13.1 Generalidades</p> <p>Se debe realizar una revisión del diseño del sistema de aislación y de los programas de ensayos relacionados por un grupo de ingeniería independiente que incluye personas autorizadas en las disciplinas apropiadas, con experiencia en los métodos de análisis sísmico y en la teoría y aplicación de la aislación sísmica.</p> <p>13.2 Sistema de aislación</p> <p>13.2.1 La revisión del diseño del sistema de aislación debe incluir, sin estar limitado a, lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Revisión de los criterios sísmicos específicos del lugar, incluyendo el desarrollo de espectros y registros de movimientos del suelo específicos del lugar y todos los otros criterios de diseño desarrollados específicamente para el proyecto. 2. Revisión del diseño preliminar, incluyendo la determinación del desplazamiento total 	<p>C13 Revisión de diseño y construcción</p> <p>C13.1 Generalidades</p> <p>Esta norma exige la revisión del diseño y análisis del sistema de aislación, y la revisión del programa de ensayos de los aisladores. La razón de esto es que la tecnología de aislación sísmica está evolucionando rápidamente y se basa en ideas y conceptos que son poco familiares para muchos profesionales.</p> <p>El equipo de revisión debe incluir individuos con especial conocimiento en uno o más aspectos del diseño, análisis, e implementación de sistemas de aislación. El equipo revisor debe ser independiente del equipo de diseño y construcción del proyecto. El equipo revisor debe tener acceso completo a la información pertinente y la cooperación del equipo de diseño y gerencia del proyecto.</p> <p>Otros aspectos a considerar en la revisión estructural son:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) la interacción entre el proyecto estructural, instalaciones, y arquitectura; b) las especificaciones técnicas.

NCh2745	Comentarios
<p>de diseño del sistema de aislación, desplazamiento de diseño y nivel de las fuerzas laterales de diseño.</p> <p>3. Supervisión y observación de los ensayos de los prototipos (ver cláusula 14).</p> <p>4. Revisión del diseño final del sistema estructural completo y de todos los análisis de apoyo.</p> <p>5. Revisión del programa de ensayo de control de calidad del sistema de aislación (ver 10.2.9).</p> <p>13.2.2 El ingeniero calculista debe presentar con los planos y los cálculos un informe de los alcances y resultados del proceso de revisión.</p> <p>14 Ensayos requeridos para el sistema de aislación</p> <p>14.1 Generalidades</p> <p>14.1.1 Las características de la relación constitutiva de fuerza-deformación y los valores de amortiguamiento del sistema de aislación utilizados en el diseño y análisis de estructuras con aislación sísmica se deben basar en los ensayos siguientes de una muestra seleccionada de los componentes, previo a su uso en la construcción.</p> <p>14.1.2 Los componentes del sistema de aislación a ensayar deben incluir al sistema de restricción de los efectos del viento cuando dichos sistemas se utilizan en el diseño.</p> <p>14.1.3 Los ensayos especificados en esta cláusula son para establecer y validar las propiedades mecánicas para el diseño del sistema de aislación y no se deben considerar como reemplazo de los ensayos de control de</p>	<p>C14 Ensayos requeridos para el sistema de aislación</p>

NCh2745	Comentarios
<p>calidad de manufactura de 10.2.9.</p> <p>14.2 Ensayos de los prototipos</p> <p>14.2.1 Generalidades</p> <p>Los ensayos de prototipos se deben realizar separadamente en dos probetas o juegos de probetas de tamaño real, según sea apropiado, de cada tipo y tamaño distinto de aislador. Las probetas de ensayo deben incluir los aisladores individuales y el sistema de restricción de los efectos del viento cuando dichos sistemas se utilizan en el diseño. Las probetas ensayadas no se pueden utilizar en la construcción.</p> <p>14.2.2 Registro</p> <p>Para cada ciclo de ensayos se debe registrar el comportamiento fuerza-deformación de la probeta ensayada.</p> <p>14.2.3 Secuencias y ciclos</p> <p>Las secuencias siguientes de ensayos se deben realizar para el número de ciclos que se indican y bajo una carga vertical igual al promedio $D + 0,5L$ en todos los aisladores de un mismo tipo y tamaño:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Veinte ciclos completos con inversión de carga para una fuerza lateral correspondiente a la fuerza lateral de diseño para viento. 2. Tres ciclos completos con inversión de carga en cada uno de los desplazamientos siguientes: $0,2 D_D$, $0,5 D_D$ y $1,0 D_D$, $1,0 D_M$. 3. Tres ciclos completos con inversión de carga al desplazamiento máximo total, $1,0 D_{TM}$. 	<p>C14.2 Ensayos de los prototipos</p> <p>C14.2.1 Generalidades</p> <p>Los requisitos de ensayo que se presentan en esta norma son mínimos y es probable que se modifiquen en el futuro en la medida que la capacidad de los equipos de ensayo y el conocimiento en el tema evolucione.</p> <p>En general, los ensayos de aisladores se realizan en parejas de modo de evitar excentricidades y momentos flectores indeseables en el marco de carga.</p>

NCh2745	Comentarios
<p>4. No menos de diez ciclos completos con inversión de carga a 1,0 vez el desplazamiento total de diseño, $1,0 D_{TD}$.</p> <p>Si el aislador forma parte del sistema de transmisión de cargas verticales de la estructura, el ítem 2 de la secuencia de ensayos cíclicos especificado anteriormente se debe realizar para dos casos adicionales de carga vertical:</p> <p>1) $1,2 D + 0,5 L + E$</p> <p>2) $0,8 D - E$</p> <p>en que los valores de D y L a considerar se definen en NCh433. La carga de ensayo vertical en un aislador debe incluir el incremento de carga axial debido al momento volcante inducido por el sismo E y debe ser mayor o igual a la fuerza vertical máxima correspondiente al desplazamiento de ensayo que se está evaluando. En estos ensayos las cargas verticales combinadas se deben considerar como la fuerza de compresión más representativa en todos los aisladores de un mismo tipo y tamaño.</p> <p>14.2.4 Aisladores dependientes de la velocidad de carga</p> <p>Si las propiedades fuerza-deformación de los aisladores dependen de la velocidad de carga, cada uno de los conjuntos de ensayos especificados en 14.2.3 se deberá realizar dinámicamente a una frecuencia igual al inverso del período efectivo (rigidez secante), T_D, de la estructura aislada.</p> <p>Si se utilizan probetas a escala reducida para cuantificar las propiedades de los aisladores que dependen de la velocidad de carga, éstas deben ser del mismo tipo y material y se deben fabricar con los mismos procesos y calidad que los prototipos de tamaño natural</p>	<p>Esto implica que si el aislador está sujeto a cargas verticales importantes se debe someter a ocho ensayos adicionales de tres ciclos completos cada uno.</p> <p>C14.2.4 Aisladores dependientes de la velocidad de carga</p> <p>Los prototipos a escala deben ser tales que la relación constitutiva sea la misma que la del prototipo a escala natural.</p>

NCh2745

y se deben probar a una frecuencia que represente aquella que correspondería al ensayo a escala natural del prototipo.

Las propiedades de fuerza-deformación de un aislador se deben considerar dependientes de la velocidad de carga cuando la rigidez efectiva correspondiente al desplazamiento de diseño y a una frecuencia igual al inverso de su período, T_D , muestra una variación mayor a un 10% al compararla con la obtenida para cualquier frecuencia en el rango de 0,1 a 2 veces el inverso del período efectivo, T_D .

14.2.5 Aisladores que dependen de cargas bidireccionales

Si las propiedades de fuerza-deformación de los aisladores dependen de cargas bidireccionales, los ensayos especificados en 14.2.3 y 14.2.4 se deben incrementar para incluir simultáneamente las siguientes combinaciones bidireccionales del desplazamiento total de diseño: (0,25 y 1,0) D_{TD} , (0,5 y 1,0) D_{TD} , (0,75 y 1,0) D_{TD} , y (1,0 y 1,0) D_{TD} .

NOTA - Cuando las probetas a escala del prototipo se utilizan para cuantificar propiedades dependientes de cargas bidireccionales, dichas probetas deben ser del mismo tipo y material y fabricarse con el mismo proceso y calidad que los prototipos de tamaño natural.

Las propiedades de la relación constitutiva fuerza-deformación de un aislador se deben considerar dependientes de cargas bidireccionales cuando la rigidez efectiva

Comentarios

Es decir, el aislador tiene propiedades mecánicas que no dependen de la velocidad de carga cuando la rigidez efectiva medida para el rango de frecuencias $0,1/T_D$ a $2/T_D$ cae dentro del rango siguiente:

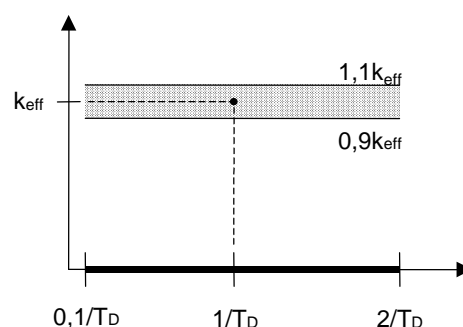


Figura C.20 - Definición de la zona de independencia de velocidad de carga para un aislador

C14.2.5 Aisladores que dependen de cargas bidireccionales

Cualquier aislador con propiedades isotrópicas, como lo son el aislador circular elastomérico y el péndulo friccional, no caen dentro de esta categoría.

NCh2745	Comentarios
<p>correspondiente al desplazamientos de diseño para el caso bidireccional y unidireccional muestran una diferencia mayor al 10%.</p> <p>14.2.6 Cargas verticales máximas y mínimas</p> <p>Los aisladores que forman parte del sistema de transmisión de cargas verticales se deben ensayar estáticamente para la carga vertical máxima y mínima y para el desplazamiento máximo total. En estos ensayos la carga vertical combinada $1,2D + 1,0L + E _{\text{máx.}}$ se debe considerar como la carga vertical máxima y la carga vertical combinada $0,80 D + E _{\text{mín.}}$ como la mínima fuerza vertical en cualquier aislador de un mismo tipo y tamaño. La carga vertical de un aislador individual debe incluir los incrementos de carga debido al volcane sismico, $E _{\text{máx.}}$ y $E _{\text{mín.}}$, y se debe basar en la respuesta máxima debida al sismo máximo posible.</p> <p>14.2.7 Sistema de sacrificio de protección contral el viento</p> <p>En caso que se utilice un sistema de sacrificio de protección contra el viento, su resistencia final se debe establecer por medio de ensayos.</p> <p>14.2.8 Ensayo de unidades similares</p> <p>El comité revisor puede decidir que no se requieren ensayos de prototipos cuando un aislador tiene dimensiones similares y es del mismo tipo y material que el aislador prototipo, el cual se ha probado previamente utilizando la secuencia especificada de ensayos.</p>	<p>C14.2.8 Ensayo de unidades similares</p> <p>Todos los ensayos de prototipo se deben observar e informar por un laboratorio calificado. Tanto el ingeniero responsable del diseño como los miembros del equipo de revisión deben revisar la información no procesada de los ensayos. En caso de que ensayos idénticos se hayan realizado a dispositivos de dimensiones y materiales iguales, y los dispositivos hayan sido fabricados usando el mismo proceso, el equipo revisor puede determinar que los ensayos anteriores son aceptables. Sin embargo, se</p>

NCh2745	Comentarios
<p>14.3 Determinación de las características fuerza-deformación</p> <p>Las características fuerza-deformación del sistema de aislación se deben basar en los ensayos de carga cíclica de los prototipos especificados en 14.2.3.</p> <p>La rigidez efectiva de un aislador se debe calcular para cada ciclo de carga mediante la ecuación:</p> $k_{ef} = \frac{ F^+ + F^- }{ \Delta^+ + \Delta^- } \quad (11)$ <p>en que F^+ y F^- son las fuerzas positiva y negativa correspondientes a Δ^+ y Δ^-, respectivamente.</p> <p>El amortiguamiento efectivo (β_{ef}) de un aislador se debe calcular para un ciclo de carga mediante la ecuación:</p> $\beta_{ef} = \frac{1}{\pi} \left[\frac{E_{ciclo}}{k_{ef} \left(\Delta^+ ^2 + \Delta^- ^2 \right)} \right] \quad (12)$ <p>en que la energía disipada por ciclo de carga, E_{ciclo}, y la rigidez efectiva, k_{ef}, se deben calcular para los desplazamientos Δ^+ y Δ^- del ensayo.</p>	<p>excluye de esto a cualquier dispositivo que presente un cambio de propiedad del material o factor que altere su relación.</p> <p>C14.3 Determinación de las características fuerza-deformación</p> <p>El uso de esta expresión de la rigidez secante permite corregir los sesgos introducidos en la definición del punto de carga nula. Es importante reconocer que esta expresión de rigidez secante difiere conceptualmente de la rigidez equivalente del sistema.</p> <p>La expresión de β_{ef} proviene directamente de la conocida relación de equivalencia entre el trabajo disipado por el sistema y aquel disipado en resonancia por un sistema viscoso equivalente:</p> $\beta_{ef} = \frac{E_{ciclo}}{\pi k_{ef} \left(\Delta^+ ^2 + \Delta^- ^2 \right)} \quad (C.23)$

NCh2745	Comentarios
<p>14.4 Aprobación del sistema</p> <p>El desempeño de las probetas ensayadas se considerará adecuado si se satisfacen las condiciones siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Los gráficos de fuerza-deformación en todos los ensayos especificados en 14.2 tienen un incremento positivo de su capacidad de carga. 2. Para cada incremento del desplazamiento de ensayo especificado en 14.2.3, ítem 2, y para cada caso de carga vertical especificado en 14.2.3: <ol style="list-style-type: none"> 2.1 No existe una diferencia mayor al 10% entre la rigidez efectiva en cada uno de los tres ciclos de ensayo y el valor promedio de la rigidez efectiva para cada pareja de ensayo. 2.2 No existe más de un 10% de diferencia en el valor promedio de la rigidez efectiva de la pareja ensayada de un mismo tipo y tamaño durante los tres ciclos de ensayos requeridos. 3. Para cada pareja no hay un cambio en la rigidez inicial efectiva mayor al 20% para un número de ciclos no menor a 10 (según 14.2.3, ítem 4). 4. Para cada pareja no hay una reducción en el amortiguamiento inicial efectivo mayor al 20% para un número de ciclos no menor a 10 (según 14.2.3, ítem 4). 5. Todas las probetas de elementos sujetas a cargas verticales del sistema de aislación permanecen estables para el desplazamiento máximo total y la carga estática, como se indica en 14.2.6. 	<p>C14.4 Aprobación del sistema</p> <p>El ensayo de aisladores sísmicos se realiza comúnmente en parejas para evitar la generación de excentricidades en el corte aplicado que implicarían un diseño muy robusto del marco de carga.</p>

NCh2745

14.5 Propiedades para el diseño del sistema de aislación

14.5.1 Rigidez efectiva máxima y mínima

Para el desplazamiento de diseño D_D , la rigidez efectiva máxima y mínima del sistema de aislación, $k_{D_{máx.}}$ y $k_{D_{mín.}}$, se deberá basar en los ensayos cíclicos de 14.2.3 y calcular mediante las ecuaciones siguientes:

$$k_{D_{máx.}} = \frac{\sum |F_D^+|_{máx.} + \sum |F_D^-|_{máx.}}{2D_D} \quad (13)$$

$$k_{D_{mín.}} = \frac{\sum |F_D^+|_{mín.} + \sum |F_D^-|_{mín.}}{2D_D} \quad (14)$$

Para el desplazamiento máximo D_M , la rigidez efectiva máxima y mínima del sistema de aislación, $k_{M_{máx.}}$ y $k_{M_{mín.}}$, se debe basar en los ensayos cíclicos de 14.2.3 y calcular mediante las ecuaciones siguientes:

Comentarios

C14.5 Propiedades para el diseño del sistema de aislación

C14.5.1 Rigidez efectiva máxima y mínima

La Figura C.21 incluye un ejemplo para la determinación de la rigidez efectiva máxima y mínima para una pareja de aisladores elastoméricos.

En estas ecuaciones las sumatorias se deben efectuar sobre el número total de aisladores.

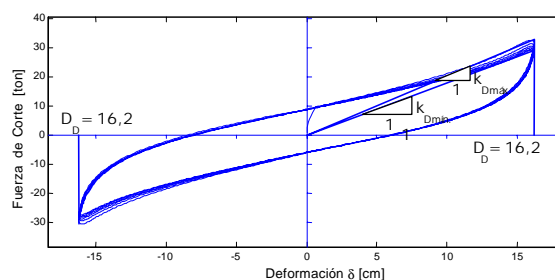


Figura C.21 - Cálculo de la rigidez efectiva (secante) máxima y mínima para una pareja de aisladores elastoméricos

Tabla C.5 - Resumen de propiedades mecánicas de la pareja de aisladores de Figura C.21 para $\gamma = 100\%$ (columnas 3 a 6)

Ciclo	$2F_D^{(+)}$ ton	$D^{(+)}$ cm	$2F_D^{(-)}$ ton	$D^{(-)}$ cm	k_p t/cm	G kg/cm ²	W_D t-cm	β_{sec}
1	32,8	16,2	-30,6	-16,2	0,98	5,4	241,0	0,149
2	31,5	16,2	-29,6	-16,2	0,94	5,2	234,0	0,151
3	30,7	16,2	-28,8	-16,2	0,92	5,1	229,8	0,152
4	30,1	16,2	-28,3	-16,2	0,90	5,0	226,4	0,153
5	29,7	16,2	-27,9	-16,2	0,89	4,9	224,0	0,153
6	29,3	16,2	-27,4	-16,2	0,88	4,9	224,5	0,156

NCh2745

$$k_{M\text{máx.}} = \frac{\sum |F_M^+|_{\text{máx.}} + \sum |F_M^-|_{\text{máx.}}}{2D_M} \quad (15)$$

$$k_{M\text{mín.}} = \frac{\sum |F_M^+|_{\text{mín.}} + \sum |F_M^-|_{\text{mín.}}}{2D_M} \quad (16)$$

Para los aisladores en que los ensayos de 14.2.3, 14.2.4 y 14.2.5, hayan indicado que tienen características fuerza-deformación que varíen con la carga vertical, la velocidad de carga o con la carga bidireccional, respectivamente, los valores de $k_{D\text{máx.}}$ y $k_{M\text{máx.}}$ se deberán incrementar y los valores de $k_{D\text{mín.}}$ y $k_{M\text{mín.}}$ se deben reducir, según sea necesario, para acotar los efectos de variaciones en la rigidez efectiva.

14.5.2 Amortiguamiento efectivo

Para el desplazamiento de diseño, el amortiguamiento efectivo del sistema de aislación β_D , se debe basar en los ensayos cíclicos de 14.2.3 y calcular mediante la ecuación:

Comentarios

Las sumatorias se deben calcular nuevamente sobre el número total de aisladores.

El efecto de la carga axial sobre la relación constitutiva fuerza-deformación de un aislador friccional es muy significativo. La Figura C.22 muestra la constitutiva medida de un aislador FPS sometido a un movimiento sísmico en donde se observa el aumento y disminución de la carga máxima como resultado del momento volcane. Los valores de $k_{D\text{máx.}}$, $k_{D\text{mín.}}$, $k_{M\text{máx.}}$, $k_{M\text{mín.}}$ se deben calcular para los valores extremos del ciclo fuerza-deformación indicado.

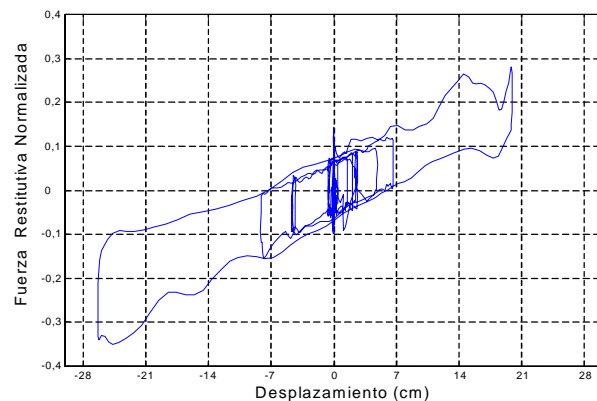


Figura C.22 - Efecto de la carga axial sobre la curva fuerza-deformación medida en un aislador FPS

C14.5.2 Amortiguamiento efectivo

NCh2745	Comentarios
$\beta_D = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\sum E_D}{k_{D\text{máx.}} D_D^2} \right] \quad (17)$ <p>En la ecuación (17) la energía total disipada en el sistema de aislación por ciclo de respuesta para el desplazamiento de diseño, $\sum E_D$, se debe considerar como la suma de la energía disipada por ciclo en todos los aisladores, determinada de los ensayos para el desplazamiento, Δ^+ y Δ^-, iguales en magnitud al desplazamiento de diseño, D_D.</p> <p>Para el desplazamiento máximo, el amortiguamiento efectivo del sistema de aislación, β_M, se debe basar en los ensayos cíclicos de 14.2.3 y calcular mediante la ecuación siguiente:</p> $\beta_M = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\sum E_M}{k_{M\text{máx.}} D_M^2} \right] \quad (18)$ <p>En la ecuación (18) la energía total disipada en el sistema de aislación por ciclo de respuesta para el desplazamiento máximo, $\sum E_M$, se debe considerar como la suma de la energía disipada por ciclo en todos los aisladores, determinada de los ensayos para el desplazamiento, Δ^+ y Δ^-, iguales en magnitud al desplazamiento máximo, D_M.</p>	<p>La sumatoria se debe efectuar sobre el número total de elementos de aislación.</p> <p>Para el ejemplo de Figura C.21, la razón de amortiguamiento efectivo resulta de la expresión</p> $\beta_{ef} = \frac{W_D}{4\pi W_S} = \frac{230,0}{4\pi \cdot 120,7} = 0,152 \quad (C.24)$ <p>en que el trabajo disipado promedio es $W_D = 230,0$ t-cm y el trabajo elástico promedio es $W_S = 0,92 \cdot 16,2^2 / 2 = 120,7$ t-cm (ver Tabla C.4).</p>

Tabla 1 - Coeficiente de destino de la estructura

Categoría del edificio	Destino o funciones de la estructura	Valor del coeficiente I ¹⁾
A	Edificios gubernamentales, municipales, de servicios públicos o de utilidad pública (como cuarteles de policía, centrales eléctricas y telefónicas, correos y telégrafos, radioemisoras, canales de televisión, plantas de agua potable y de bombeo, entre otros), y aquellos cuyo uso es de especial importancia en caso de catástrofe (como hospitales, postas de primeros auxilios, cuarteles de bomberos, garages para vehículos de emergencia, estaciones terminales, entre otros).	1,0
B	Edificios cuyo contenido es de gran valor (como bibliotecas, museos, entre otros), y aquellos donde existe frecuentemente aglomeración de personas. Entre estos últimos se incluyen los edificios siguientes: <ul style="list-style-type: none"> - salas destinadas a asambleas para 100 o más personas; - estadios y graderías al aire libre para 2 000 o más personas; - escuelas, parvularios y recintos universitarios; - cárceles y lugares de detención; - locales comerciales con una superficie mayor o igual que 500 m² por piso, o de altura superior a 12 m; - centros comerciales con pasillos cubiertos, con un área total superior a 3 000 m² sin considerar la superficie de estacionamientos. 	1,0
C	Edificios destinados a la habitación privada o al uso público que no pertenecen a ninguna de las categorías A o B, y construcciones de cualquier tipo cuya falla puede poner en peligro otras construcciones de las categorías A, B o C.	1,0
D	Construcciones no destinadas a habitación ni clasificables en ninguna de las categorías anteriores.	1,0

1) Dado que las fuerzas de diseño corresponden a los valores reales observados de demanda elástica sobre la estructura, es consecuente utilizar un factor de importancia idéntico para todas las categorías.

Tabla 2 - Factores de modificación de respuesta por amortiguamiento, B_D y B_M

Amortiguamiento efectivo, β_D o β_M (porcentaje del valor crítico)	Factor B_D o B_M ($T_D > 2s$) Suelos I, II y III
≤ 2	0,65
5	1,00
10	1,37
15	1,67
20	1,94
25	2,17
30	2,38
≥ 50	3,02

Tabla 3 - Factor de amplificación para el sismo máximo posible (Probabilidad de excedencia del PGA igual a 10% en 100 años)

Zona sísmica	M_M
1	1,2
2	1,2
3	1,2

Tabla 4 - Factor de reducción para el diseño de la superestructura

Sistemas estructural básico	Descripción de los sistemas resistentes a las fuerzas laterales	R_l	$h_{\text{máx.}}$ m ¹⁾
Pórticos	Acero estructural	2,0	35
	Hormigón armado	2,0	35
Muros de corte	Acero estructural	2,0	50
	Hormigón armado	2,0	50
	Albañilería confinada	2,0	15
	Albañilería armada	1,6	12
Sistemas arriostrados	Concéntricos	1,6	35
	Excéntricos	2,0	50
Estructuras en voladizo		1,4	10

1) Estos límites de altura son recomendados; sin embargo, si existen estructuras de mayor altura que no satisfacen este requerimiento de altura, pero cumplen con el código propuesto, ellas se pueden diseñar utilizando aislación sísmica siempre que se realice un análisis dinámico de la estructura y se demuestre que el uso de aislación sísmica no es perjudicial para el comportamiento sísmico de la estructura.

Tabla 5 - Factor que depende de la zonificación sísmica definida en NCh433

Zona sísmica	Z
1	$3/4$
2	1
3	$5/4$

Tabla 6 - Definición del espectro de diseño, SDI

Suelo	T_a , s	T_b , s	T_c , s	T_d , s	T_e , s	T_f , s	$\alpha_A A$, cm/s ²	$\alpha_V V$, cm/s	$\alpha_D D$, cm
I	0,03	0,11	0,29	2,51	10	33	1 085	50	20
II	0,03	0,20	0,54	2,00	10	33	1 100	94	30
III	0,03	0,375	0,68	1,58	10	33	1 212	131	33

Anexo A (Informativo)

Bibliografía

- [1] Almazán, J. L., De la Llera, J. C., and Inaudi, J. A., 1998, *Modeling Aspects of Structures Isolated with the Frictional Pendulum System*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27, pp. 845-867.
- [2] De la Llera, J. C., and Chopra, A. K., 1994, *Using accidental eccentricity in code-specified static and dynamic analysis of buildings*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 120, p.p. 947-967.
- [3] De la Llera, J. C., Lüders, C. y Leigh, P., 2002, *Design, Testing and Implementation of Seismic Isolation in Chile*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Enviado para publicación Diciembre 2002.
- [4] De la Llera, J. C., and Inaudi, J. A., 1995, *Evaluating the Earthquake Performance of Base Isolated Buildings Using Recorded Motions*, Proceedings of the International Post-Smirt Conference, p.p. 79-105, Santiago, Chile.
- [5] FEMA-273, 1997, NEHRP *Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C.
- [6] Fresard, M. y G. R. Saragoni, *Análisis de los Acelerogramas y de los Daños de los Sismos de 1981 en la Zona Central de Chile*. Capítulo IV. pp. F93 - F111, 4tas. Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Abril 1986, Viña del Mar, Chile.
- [7] Garrido J., 2001, *Proposición de Norma para el Diseño Sísmico de Edificios Aislados en la Base*, Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- [8] Holmes, W., and Somers, P., 1996, *Northridge Earthquake of January 17, 1994 Reconnaissance Report*, Earthquake Spectra, Earthquake Engineering and Research Institute, Supplement C to Volume 11, Vol. 1.
- [9] ICBO, 1991, *Division III - Earthquake Regulations for Seismic-Isolated Structures*, Chapter 23, *Uniform Building Code*, 1991 Edition, International Conference of Building Officials, Whittier, California.
- [10] ICBO, 1994, *Division III - Earthquake Regulations for Seismic-Isolated Structures*, Chapter 16, *Uniform Building Code*, 1991 Edition, International Conference of Building Officials, Whittier, California.

- [11] ICBO, 1995, SEAOC *Seismology Committee Code Change Proposal* for Chapter 16, Division III (Isolation Provisions) of the 1997 *UBC*, International Conference of Building Officials Whittier, California.
- [12] ICBO, 1997, *Division IV - Earthquake Regulations for Seismic-Isolated Structures*, Chapter 16, *Uniform Building Code*, 1997 Edition, International Conference of Building Officials, Whittier, California.
- [13] Kelly, J. M., 1993, *Earthquake Resistant Design with Rubber*, Springer-Verlag, London, United Kingdom.
- [14] Martín, A., *Hacia una Nueva Regionalización y Cálculo del Peligro Sísmico en Chile*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1990.
- [15] Moroni, Sarrazín, Boroschek, 1998, *Experiments on a base-isolated building in Santiago, Chile*, *Engineering Structures*, Vol. 20, No. 8, p.p. 720-725.
- [16] Naeim, F., and Kelly, J., 1999, *Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [17] Newmark, N. M. and Hall, W. J., 1982, *Earthquake Spectra and Design*, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California.
- [18] Pan, T., and Kelly, J. M., 1983, *Seismic Response of Torsionally Coupled Base Isolated Structures*, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. II, p.p. 749-770.
- [19] Reinhorn, A. M., Nagarajaiah, S., Constantinou, M. C., Tsopelas, P., and Li, R., 1994, *3D-BASIS-TABS (Version 2.0): Computer Program for Nonlinear Dynamic Analysis of Three-Dimensional Base Isolated Structures*, Report No. NCEER-94-0018, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, New York.
- [20] Riddell, R., 1995, *Inelastic Design Spectra Accounting for Soil Conditions*, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 24, p.p. 1491-1510.
- [21] SEAOC, 1986, *Tentative Seismic Isolation Design Requirements*, Structural Engineers Association of California, San Francisco, California.
- [22] SEAOC, 1990, *Recommended Lateral Force Requirements and Commentary*, Fifth Edition, Seismology Committee, Structural Engineers Association of California, Sacramento, California.
- [23] SEAOC, 1996, *Recommended Lateral Force Requirements and Commentary*, Sixth Edition, Seismology Committee, Structural Engineers Association of California, Sacramento, California.

- [24] Schaad, C. y G. R. Saragoni, *Formulas de Atenuación Considerando el Terremoto de Chile de 1985*, Vol. I. pp. 379-388, 5tas. Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Agosto 1989, Santiago, Chile.
- [25] Stagno, P., Frerk, J., Stagno, D., Rendic, P., Iturriaga, W., De la Llera, J.C., Lüders, C., Sady, H., Guendelman, T., Guendelman, M., Lindenberg, J., Astudillo, M. y Boroschek, R., 2002, *Análisis y Diseño del Hospital Militar*, 8vas. Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Valparaíso, Chile, Abril 2002.
- [26] Soong, T. T., and Constantinou, M. C., 1994, *Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering*, Springer-Verlag, Wien-New York.
- [27] Zayas, V. A., Low, S. S., and Mahin, S. A., 1987, *The FPS Earthquake Resisting System: Experimental Report*, Report No. UCB/EERC-87/01, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.