

Tabla comentario 3.2 Coeficiente de degradación de las propiedades y características de comportamiento sísmico η (para primera evaluación)

Nivel de daño en columnas y muros ¹⁾	Columna (M) ²⁾	Columna (S) ³⁾	Muro ⁴⁾
I	1.0	1.0	1.0
II	1.0	0.8	0.9
III	0.6	0.4	0.6
IV	0.3	0	0.3
V	0	0	0

Nota:

- 1) Basado en el procedimiento de clasificación de la tabla comentario 3.1. En la Norma para Evaluación de Emergencia del Nivel de Riesgo, el nivel de daño en columnas o muros estructurales de entresijos inferiores, en caso de que el nivel de daño de los elementos del entresijo inmediato superior sea IV o V, se supone un nivel de daño igual a este valor. Sin embargo, en esta tabla se omite esa disposición y se trata independientemente los niveles de daño que presentan columnas y muros.
- 2) Columna (M): Claramente presenta una condición de falla por flexión; no se observan indicios de daño severo por cortante.
- 3) Columna (S): Aquellas columnas que presenten características de daño no contempladas en el inciso anterior.
- 4) Todas las estructuras con muros estructurales (incluyendo muros con columnas de borde en ambos extremos, columna de borde en solo un extremo y muros estructurales independientes de los sistemas de marcos resistentes a momento).

Tabla comentario 3.3 Coeficiente de degradación de las propiedades y características de comportamiento sísmico η (para segunda y tercera evaluación)

Nivel de daño de elemento estructural ¹⁾	Flexión en columna (viga) ²⁾	Cortante en columna (viga) ²⁾	Columna con muros aleros	Cortante en muros ²⁾	Flexión en muros ²⁾
I	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
II	1.0	0.8	0.8	0.9	1.0
III	$0.4(1+F/3.2)$	0.4	0.4	0.6	$0.4(1+F/2)$
IV	0.3	0	0	0.3	0.3
V	0	0	0	0	0

Nota:

- 1) Basado en el procedimiento de clasificación de la tabla comentario 3.1. En la Norma para Evaluación de Emergencia del Nivel de Riesgo, el nivel de daño en columnas o muros estructurales de entresijos inferiores, en caso de que el nivel de daño de los elementos del entresijo inmediato superior sea IV o V, se supone un nivel de daño igual a este valor. Sin embargo, en esta tabla se omite esa disposición y se trató independientemente los niveles de daño que presentan columnas y muros.
- 2) La clasificación de la configuración de daño correspondiente a la evaluación hecha después de la ocurrencia del sismo, por regla, general se realizará bajo iguales preceptos que las evaluaciones hechas antes de la ocurrencia del daño. Sin embargo, la configuración real de daño, difiere de la clasificación de daño producto de la evaluación hecha antes de la ocurrencia del sismo, por lo que generalmente se presupone la configuración del daño. También, el valor η de una columna con falla frágil, se considerará igual al valor η para una columna de cortante.
- 3) La variable F dentro de la tabla, indica el valor del índice de ductilidad considerado en la evaluación previa a la ocurrencia de daño.

3.4 Inspección e investigación

Antes de realizar los trabajos de diseño para rehabilitación de un edificio, para el que se considera necesario realizar un refuerzo estructural total, se deberá realizar una inspección e investigación a detalle.

Comentario

En cuanto a la investigación, se hará conforme a la Norma para Evaluación del Comportamiento ante Sismo de Estructuras de Concreto Reforzado Existentes, y la Guía para su Reparación, que publica el Instituto para Prevención de Desastres en Edificación del Japón, además se deberán realizar las investigaciones necesarias para los trabajos paralelos al de rehabilitación. Cuando se realice el trabajo de rehabilitación estando el edificio en uso y ocupado, será necesario realizar una investigación amplia y minuciosa sobre las condiciones y estado de uso del inmueble desde los puntos de vista de tiempo y espacio.

Los aspectos importantes a considerar en una inspección e investigación se mencionan abajo:

(1) Condición previa al daño

- *Clasificación y características mecánicas de los materiales, concreto y acero*
- *Estructuración*
- *Condición del acero de refuerzo*
- *Detalles de elementos secundarios*
- *Capacidad de carga en el momento del sismo*
- *Condición del diseño y del proceso de construcción*
- *Planos de diseño, bitácora de obra*

(2) Pérdida provocada por el daño

- *Investigación y clasificación del nivel de daño de todos los elementos estructurales, columnas, vigas y muros (tabla comentario 3.1), o bien estudio específico de la condición del daño (en caso de ser necesario, deberá removerse el material de acabados)*
- *Desplazamientos laterales permanentes, cuantía de asentamientos en el sistemas de piso*
- *Cimentación, pilotes, losa, daño en elementos secundarios*
- *Otros, investigar aquellos aspectos que se piense puedan tener relación con el origen del daño*

(3) Otros

- *Condiciones y estado de las vías de comunicación*
- *Equipo y maquinaria*
- *Limitantes en el uso de las líneas vitales*

- *Condiciones de suministro de electricidad y agua para la construcción*
- *Condiciones climatológicas*
- *Algunas otras condiciones y características importantes*

Si se considera que alguno de los conceptos arriba mencionados para llevar a cabo la investigación no es necesario se puede eliminar del programa de actividades.

3.5 Diseño de la rehabilitación

3.5.1 Proyecto de rehabilitación

En lo que respecta al proyecto de rehabilitación, además de garantizar el buen comportamiento y las características de las estructuras ante una excitación lateral, se deberá observar y analizar la funcionalidad del edificio una vez terminados los trabajos de rehabilitación, así como la factibilidad del procedimiento constructivo, tiempos de ejecución y economía.

3.5.2 Índice de comportamiento sísmico

Cuando se realice una rehabilitación después de un proceso de refuerzo estructural, el índice de comportamiento sísmico de la estructura Reglamento de edificación, Procedimientos de construcción, edición 1981 se considerará como base para alcanzar el nivel estructural deseado.

3.5.3 Evaluación de las características de comportamiento ante sismo de las estructuras

Después de la rehabilitación, el cálculo del índice de comportamiento sísmico de una estructura I_a, se hará conforma la Norma de Evaluación de Estructuras de Concreto Reforzado, o la Guía para Diseño de Refuerzo de Estructuras de Concreto Reforzado.

Comentarios

(1) Para el caso donde es suficiente únicamente con un proceso de reparación, se recomienda consultar una parte de los conceptos sobre refuerzo que se mencionan después, siendo posible preparar y elaborar el proyecto de reparación e inmediatamente continuar con los trabajos de rehabilitación. En los textos siguientes se menciona sobre los métodos de refuerzo y conjuntamente de rehabilitación de estructuras.

En lo que respecta al proyecto de refuerzo, se considerarán algunos resultados de la inspección e investigación realizada, como la condición o estado de daño, la deformación o desplazamiento máximo supuesto durante el daño, la degradación con la edad; así como el valor de F determinado conforme 3.3. Será necesario que en el proyecto se consideren las causas que originaron el daño, para tratar de reducir fenómenos similares. También, el proyecto deberá contemplar el mecanismo de falla de la estructura, que la resistencia y

ductilidad (capacidad de deformación) de los elementos estructurales sea superior a las condiciones de la estructura original; además se verificará el efecto de los trabajos de reparación sobre los elementos secundarios y no estructurales. Específicamente, la investigación seguirá un proceso como el que se indica abajo; el método de refuerzo a emplear deberá contemplar puntos de vista muy generales de la estructura a reforzar, desde el proyecto arquitectónico, hasta la factibilidad del procedimiento de construcción.

1) Incremento de la resistencia ante fuerzas laterales

Adición de muros estructurales, encamisado de concreto reforzado, cerrar las aberturas en muros estructurales que los tengan.

Incremento de las secciones transversales de columnas y vigas, reconstrucción de parte de los marcos resistentes a momento; colocación de muros patín a las columnas, instalación de sistemas de rigidizantes de acero estructural, construcción de muros adicionales a los ya existentes.

Construcción y/o reconstrucción de pilotes en cimentación, incremento de la superficie de apoyo en cimentaciones superficiales.

2) Disminuir el peso propio

Eliminación de balcones y parapetos, de los acabados de concreto, empleo de materiales de acabados ligeros en muros y sistemas de piso, eliminación de niveles superiores, cambio en el uso del inmueble, eliminación de muros secundarios, cambio a elementos de materiales ligeros.

3) Incremento en la capacidad de deformación

Refuerzo por cortante de columnas y vigas (encamisado de concreto reforzado, encamisado con soleras de acero estructural), mejoramiento de elementos con concentraciones de esfuerzos (proporcionamiento de holguras adecuadas entre los elementos estructurales y los no estructurales o los muros secundarios).

4) Mejoramiento del índice de forma estructural

Eliminación de muros secundarios, organización y uniformación de la distribución estructural en planta y elevación (instalando muros estructurales nuevos y eliminando otros, con objeto de reducir los problemas de excentricidad), reconstrucción de nuevos marcos resistentes a momento, incremento de holguras en las juntas de construcción.

5) Mejoramiento del índice de edad o antigüedad

Inyección resina epóxica o refuerzo con encamisado de concreto reforzado de algunos elementos estructurales (tratando de incrementar la resistencia ante sollicitaciones laterales, así como la capacidad de deformación y ductilidad).

6) Mejoramiento de los elementos secundarios

Reinstalación de muros exteriores y muros divisorios, reinstalación de puertas e instalaciones contra fuego. En general las características de los elementos reinstalados se deben mejorar.

Básicamente, en la filosofía de un proyecto de refuerzo, con los conceptos mencionados anteriormente y como se menciona en la Norma para Evaluar Estructuras de Concreto Reforzado, inicialmente se considerará el mejoramiento de los índices de edad o antigüedad estructural T , y el índice de configuración estructural S_b ; enseguida, considerando las condiciones de la estructura de cimentación y de sus componentes, como son los pilotes, se contemplará la reducción del peso de la estructura; finalmente, se contemplará el incremento de la resistencia de la estructura ante cargas laterales, y de la capacidad de deformación de la misma.

Al considerar una reparación con base en el índice de edad o antigüedad estructural, y al mejorar las características de la parte que sufría de degradación, inevitablemente se pueden incrementar los valores de otros índices. Por tal motivo, se contemplará como primer paso el mejoramiento del índice de configuración estructural. En caso que uno de los factores en la ocurrencia de daño por sismo sea el índice de configuración estructural, la relación entre excentricidad y resistencia será un aspecto a tratar de reducir. Se piensa que el procedimiento para tratar este problema es comparativamente de menor dificultad. Sin embargo, en este caso al reforzar el entrepiso que presentó las características de daño que originaron el trabajo de refuerzo estructural, no se estará logrando un incremento del índice de configuración estructural, por lo que se requerirá de cuidado en estos casos para evitar reforzamientos locales. En segundo término, se considera el incremento del índice básico de capacidad lateral E_0 ; sin embargo, existe una relación intrínseca entre la capacidad a resistir fuerzas laterales de un sistema estructural, y su capacidad de deformación. Generalmente al incrementar la capacidad ante fuerzas laterales, existe la tendencia a disminuir la capacidad de deformación del mismo sistema. Por lo tanto, se requerirá de una investigación detallada de la relación resistencia-deformación del sistema estructural, por ejemplo considerando los índices de capacidad de deformación F , y de resistencia C , que se presentan en la Norma para Evaluación de Estructuras de Concreto Reforzado. Considerando las características del sistema estructural en sí, se plantearán las preguntas sobre si se eleva la capacidad de deformación, si se eleva la capacidad a resistir fuerzas laterales, o bien se considera conjuntamente incrementos parciales de la capacidad de deformación y de la capacidad a soportar fuerzas laterales. También, en caso de incrementar la capacidad de deformación, en la revisión de elementos secundarios existe la necesidad de considerar los niveles de desplazamiento esperados durante un sismo. Igualmente, cuando se emplea la Norma de Evaluación de Estructuras de Concreto Reforzado, las variables por conocer para la evaluación son la existencia de planos de diseño, resultados de la inspección e investigación de campo y el proyecto de refuerzo, entre otras, las que deberán tomarse en cuenta para concluir el trabajo de evaluación. Sin embargo, generalmente es deseable que se realice el trabajo de evaluación en tres fases e iterativamente.

(2) En la presente guía, la evaluación de las características estructurales ante sismo del edificio que se desea rehabilitar deberá considerar el valor del índice de comportamiento

antisísmico de las estructura I, como una premisa para la aplicación de la Norma de Evaluación de Estructuras de Concreto Reforzado. Es decir, cuando basado en un trabajo de investigación especial se define el valor de la capacidad o comportamiento sísmico objeto o requerido, el valor del índice será de comportamiento estructural sísmico después del trabajo de rehabilitación $\alpha I_s'$ y será deseable que resulte mayor o igual a los valores abajo mostrados:

<i>Cuando se define con base en una evaluación primaria,</i>	$\alpha I_s' > 0.8ZGU$
<i>Cuando se define con base en una evaluación secundaria,</i>	$\alpha I_s' > 0.6ZGU$
<i>Cuando se define con base en una evaluación terciaria,</i>	$\alpha I_s' > 0.6ZGU$

Sin embargo, en el caso de procesos de evaluación secundaria y terciaria, el índice de resistencia acumulada C_r , se considerará que adquiere un valor igual o mayor a 0.3, donde, Z, G, U y C_r , se definen en la Norma de Evaluación de Estructuras de Concreto Reforzado.

También, los valores supuestos de respuesta en desplazamientos durante la incidencia de un sismo en una estructura reforzada, será necesario se consideren en la revisión de elementos secundarios.

(3) Después de un proceso de reparación o refuerzo, el índice de comportamiento estructural ante sismo I, se calculará considerando la Norma de Evaluación de Estructuras de Concreto Reforzado y la Guía para Diseño de Reparación de Estructuras de Concreto Reforzado. Además, se deberá considerar las indicaciones abajo mostradas. Información más detallada se presenta en el inciso 3.6 sobre aspectos importantes en la rehabilitación de elementos estructurales.

1) El cálculo de la rigidez y resistencia de un elemento reforzado, por regla general se realizará considerando las expresiones presentadas en la Guía de Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado.

2) Para la rigidez y resistencia de un elemento reparado, por regla general, se acepta un valor igual al que tenían antes del daño.

Con objeto de cumplir las hipótesis de 1) y 2), será necesario tener especial atención en los lineamientos expuestos en el inciso 3.6 sobre aspectos importantes en la rehabilitación de elementos estructurales. Esto es, cuando los detalles difieran con lo expresado en el inciso 3.6, no se podrán aceptar las hipótesis arriba expuestas. Sin embargo, considerando un trabajo de investigación especial, que analizando las condiciones del problema proporcione hipótesis similares a 1) y 2), estos valores se podrán emplear.

3.6 Aspectos importantes en la rehabilitación de elementos estructurales

3.6.1 Aspectos importantes en la rehabilitación de columnas

(1) Cuando se realiza un trabajo de reparación de columna

a) Objetivo y procedimiento

El proceso de reparación, tiene como objetivo garantizar que las características estructurales de resistencia, capacidad de deformación y rigidez sean iguales antes y después de haber sufrido el daño.

Para cumplir con este objetivo, existe el siguiente procedimiento:

- Proceso de inyección de resina epóxica en las grietas
- Proceso de repellado de concreto

b) Evaluación de las características de comportamiento estructural ante sismo después de la reparación

Al reparar una columna con los procedimientos mencionados antes, se puede considerar iguales las propiedades de resistencia, ductilidad y rigidez de la estructura reparada a como eran antes de sufrir el daño. Cuando se emplee un método diferente de los mencionados, se deberán inferir las características estructurales ante sismo después del proceso de reparación mediante resultados experimentales y/o resultados analíticos fundamentados.

Además, las características de los materiales, acero y concreto, empleados en la reparación, deberán ser iguales o superiores a las características de los materiales empleados en la estructura original.

c) Trabajos de reparación

En cuanto al procedimiento de inyección de resina epóxica en grietas, se deberá verificar que la resina entre adecuada y suficientemente en la grieta. Sin embargo, deberá tener precaución en no dañar al concreto al aplicar presiones de inyección de resina muy altas. También, cuando se empleen métodos de encamisado o adición de concreto, el acero de refuerzo que sufrió deformación debido al daño, se deberá corregir adecuadamente, o bien se deberá sustituir. En este caso, con objeto de soportar las cargas verticales que actúan en la columna, se deberán colocar columnas de soporte o apoyo; también se deberá tener cuidado suficiente en cuanto a la seguridad durante los trabajos de construcción.

(2) En caso de reforzarse la columna

a) Objetivo y procedimiento

En cuanto al refuerzo, el objetivo es proporcionar valores de resistencia y ductilidad en columnas rehabilitadas superiores a aquéllas que tenían antes de la incidencia del daño. Para lograr este objetivo, existe la siguiente metodología

- Procedimiento que permita elevar la resistencia a cortante de columnas, e incrementar la ductilidad o capacidad de deformación

- Procedimiento que permita construir muros patín en las columnas, e incrementar la resistencia de las mismas

b) Evaluación de las características de comportamiento antisísmico después del proceso de refuerzo

Las características de comportamiento antisísmico de una columna después de un proceso de refuerzo, se evaluarán siguiendo un procedimiento adecuado que considere las características mecánicas de los materiales empleados en el refuerzo, así como las condiciones reales y los detalle del refuerzo.

c) Detalles estructurales del refuerzo

Los detalles estructurales del refuerzo en columnas, por regla general, se hacen en conformidad con los detalles estructurales que se muestran en la Guía de Diseño de Reparación sísmica para Edificios de Concreto Reforzado Existentes (Asociación para la Prevención de Desastres en Edificios del Japón), así como en la Norma para Cálculo de Estructuras de Concreto Reforzado (Instituto de Arquitectos del Japón). Otro tipo de detalles estructurales que se deseen emplear, se deberán definir y mostrar su idoneidad con base en resultados experimentales y analíticos.

d) Trabajo de refuerzo

El acero de refuerzo que haya presentado deformaciones debido al daño se deberá corregir con un procedimiento adecuado durante los trabajos de rehabilitación o bien proceder a su remoción y reinstalación.

También, con el propósito de no ejercer un efecto nocivo en la estructura existente, será necesario considerar algunas medidas adecuadas en cuanto a la higiene, así como cuidados suficiente en cuanto a la seguridad durante los trabajos de construcción.

Comentarios

En cuanto a los procedimientos de rehabilitación de columnas, haciendo una gran división de los mismos, se pueden clasificar en métodos empleando inyección de resina epóxica en grietas, y colado de concreto nuevo en las partes dañadas.

Observando los ejemplos de rehabilitación de edificios dañados por sismo en el pasado, para columnas con nivel de daño menor o igual a III, se ha aceptado con generalidad el método de rellenar grietas por medio de inyección de resina epóxica, así

como cubrir con mortero epóxico algunas partes desprendidas del concreto original. Con respecto a procedimientos de rehabilitación como éstos, si para la reparación se considera la presente guía, y al realizar el trabajo de inyección de resina epóxica en el agrietamiento se tiene el cuidado suficiente, las características de comportamiento sísmico después del proceso de rehabilitación, se piensa que aproximadamente alcanzarán la condición que tenían hasta antes del daño.

Para la rehabilitación de columnas con nivel de daño igual o superior a IV, generalmente se emplea el método de colado de concreto nuevo o encamisado de concreto reforzado. En cuanto a la rehabilitación de columnas por medio de encamisado de concreto reforzado, generalmente en la mayoría de los casos se refuerzan las columnas incrementando la cuantía de acero de refuerzo lateral, e igualmente incrementando la sección transversal de concreto. Sin embargo, cuando se rehabilita o restablece a su forma original, aunque se emplee un procedimiento de colado de concreto nuevo, se considera que se está empleando un método de reparación y no de refuerzo. Indistintamente a si se trata de un procedimiento de reparación o a un procedimiento de refuerzo, en el caso del método de colado de concreto nuevo, si se tiene el cuidado suficiente al realizar los trabajos de colado, se puede pensar que las características de comportamiento sísmico después del trabajo de rehabilitación, aproximadamente serán iguales a las características de una columna nueva.

Por lo tanto, la evaluación de las características de comportamiento sísmico después de la rehabilitación para columnas que se rehabilitaron empleando los métodos de reparación y refuerzo antes mencionados, se podrá hacer conforme a la Norma de Evaluación de Estructuras de Concreto Reforzado.

En cuanto a otros métodos de refuerzo de columnas dañadas por sismo, allende al método de inyección de resina epóxica en grietas, existe también el encamisado con concreto reforzado mediante el cual se incrementa la sección transversal de la columna y se confina ésta con ángulos y soleras de acero soldadas, constituyéndose en un procedimiento que mejora la resistencia a cortante del elemento. Existen otros procedimientos que emplean elementos de acero estructural para confinar la sección de concreto reforzado. También, después de reparar una columna dañada empleando inyección de resina epóxica, es común la adición de muros patín con el propósito de incrementar la resistencia y rigidez del sistema.

Cuando se emplean este tipo de procedimientos de rehabilitación, no es suficientemente clara la solución al problema de comportamiento conjunto y monolítico de la parte original de la estructura y la nueva; sin embargo, la evaluación de las características de comportamiento sísmico después de la rehabilitación, se piensa que pueden hacerse conforma la Guía de Diseño para Reparación Sísmica de Estructuras de Concreto Reforzado. Además, en cuanto al detallado estructural, necesario para asegurar las características de comportamiento estructural sísmico esperadas, es recomendable emplear las reglas presentadas en la misma Guía de Diseño de Reparación Sísmica.

Igualmente, resultados de trabajo experimental realizados en modelos de columnas dañadas por sismo y rehabilitadas, se presentan en la Referencia 1, cuya consulta se recomienda.

En el caso de que el acero de refuerzo de la columna dañada presente pandeo o deformación permanente, se deberá corregir durante el proceso de rehabilitación, sin importar se trate de reparación o refuerzo empleando un procedimiento adecuado. En caso de rehabilitar el elemento sin corregir el pandeo en el acero de refuerzo, la eficiencia del mismo ante solicitaciones de compresión y tensión presentará degradación notable, imposibilitando considerar al elemento como rehabilitado. Por lo tanto, es necesario tomar las precauciones suficientes para eliminar esta clase de problemas.

También, en cuanto al concreto colado durante el proceso de rehabilitación, para que el efecto de la rehabilitación sea confiable, será necesario realizar los trabajos de construcción con suficiente cuidado para lograr el comportamiento monolítico entre el concreto nuevo y el viejo. Con objeto de elevar el comportamiento monolítico entre los concretos nuevo y viejo, también es usual proporcionar, con un método adecuado, un acabado rugoso a la superficie del concreto existente. También, cuando se desea colar concreto nuevo en la parte inferior de concreto ya existente, se propone dejar un espacio entre la superficie de concreto viejo y el nuevo a colar. Después del fraguado y endurecimiento del concreto nuevo, se inyecta a presión mortero con contracción nula, en el espacio dejado lográndose efectos positivos en el comportamiento monolítico entre concretos nuevo y viejo.

Nuevamente, durante la ejecución del trabajo de rehabilitación, se deberá tener cuidado suficiente para garantizar la seguridad durante los trabajos de construcción, así como evitar efectos nocivos y degradantes a la parte existente de la estructura.

En cuanto al detallado estructural de la rehabilitación de columnas, es deseable cumplir con los lineamientos que se mencionan abajo:

1) Al realizar la rehabilitación, se adicionará o reparará el acero de refuerzo lateral, uniéndolo los extremos con soldadura, por medio de traslapes mecánicos, o bien doblando los ganchos a 135 grados reglamentarios, logrando así la unión o el anclaje deseados.

2) Cuando en una rehabilitación se adicione malla electrosoldada, la longitud de traslape será de un hueco más 5 cm, o 15 cm, lo que resulte mayor.

3) En caso de que el acero de refuerzo longitudinal haya presentado deformación por daño, se deberá corregir o bien reparar.

4) Cuando se incrementa la sección transversal de la columna para mejorar la resistencia a cortante como único objetivo, se recomienda mantener con las dimensiones originales en una longitud de 30 cm en ambos extremos de la columna, la sección transversal de la misma

5) Al realizar un trabajo de refuerzo encamisando con soleras de acero estructural al elemento original, se emplearán elementos verticales de gran rigidez soldados a las

soleras en forma adecuada para proporcionar confinamiento suficiente ante las sollicitaciones de deformación de la sección transversal.

6) La cuantía de acero horizontal en muros patín de columnas será mayor a 0.3%, y su distribución y configuración deberá mantener un patrón similar al refuerzo lateral en columnas. El concreto del extremo del muro lateral deberá estar confinado para considerar que tiene un comportamiento adecuado.

7) Cuando en una columna reparada empleando inyección de resina epóxica se instalan muros patín adicionales, se recomienda extender el acero de refuerzo horizontal del muro, o bien colocar una cuantía mayor a 0.4% (quedando instalado para funcionar como anclas post-construcción) en la zona de unión vertical entre columna y muro. Este acero de anclaje, deberá tener una longitud de desarrollo dentro del muro mayor a $25d$ (donde d es el diámetro del acero de anclaje).

8) La cuantía de acero de anclaje en las partes superior e inferior del muro patín deberá ser mayor o igual a 0.4% (anclas post-construcción). Este acero de anclaje deberá tener una longitud de desarrollo dentro del muro mayor a $15d$.

9) El espesor del muro patín, deberá ser mayor a 20 cm, pero menor que el ancho de viga. También, la longitud horizontal del muro lateral deberá ser menor o igual a dos veces el peralte de la columna; en caso de muro patín únicamente en uno de los lados de la columna, esta longitud horizontal deberá ser menor a 0.5 veces el peralte de columna, pero mayor a 50 cm.

10) Los aspectos no contemplados en el presente cuerpo, se deberán realizar conforme a la Guía de Diseño de Reparaciones ante Sismo para Estructuras de Concreto Reforzado.

3.6.2 Aspectos importantes en la rehabilitación de muros estructurales

(1) Cuando se realiza un trabajo de reparación en muros estructurales

a) Objetivo y método

En lo que respecta a la reparación, el objetivo es garantizar que las características de resistencia y rigidez proporcionados por el proceso de rehabilitación sean iguales a las que tenía la estructura hasta antes de la ocurrencia del daño.

Los siguientes métodos satisfacen los objetivos de rehabilitación antes mencionados.

- Método de inyección de resina epóxica en grietas
- Método de colado de concreto nuevo

b) Evaluación de las características estructurales ante sismo después de los trabajos de rehabilitación

Se puede considerar que las características de resistencia y rigidez después de la rehabilitación de muros estructurales reparados empleando inyección de resina epóxica en agrietamientos, así como aquellos que fueron reparados colando concreto nuevo en la zona dañada, alcanzan los valores que tenían hasta antes de la ocurrencia del daño.

Sin embargo, en lo que respecta al método de reparación empleando inyección de resina epóxica en grietas, generalmente es difícil garantizar que la rigidez alcanzará el valor que tenía hasta antes del daño, por lo que en el caso de estructuras donde la degradación de rigidez constituya un efecto problemático, se deberá considerar adecuadamente dicho efecto.

c) Trabajo de rehabilitación

Para lograr que el material entre en la grieta de manera suficiente y adecuada, se deberá mantener el permeado de material por medio de una presión constante de inyección. Sin embargo, será necesario tener cuidado de tal modo que no provoque falla en el concreto por alta presión de inyección.

(2) Cuando se realiza el refuerzo de un muro estructural

a) Objetivo y procedimiento

El refuerzo tiene el objetivo de lograr características de resistencia y ductilidad en el muro estructural rehabilitado superiores a las que tenía hasta antes de la falla.

Como métodos de rehabilitación capaces de satisfacer los objetivos anteriores, existen los siguientes.

- Como procedimiento de rehabilitación en una estructura de marcos resistentes a momento, la instalación de muros estructurales de concreto reforzado precolados, o sistemas de contraviento de acero, se constituye como métodos que mejoran tanto la resistencia a cortante, como la capacidad a deformación del sistema.

- En un muro estructural dañado y reparado con inyección de resina epóxica, se pueden colocar muros de concreto reforzado precolados, método con el cual también se obtiene mejor comportamiento en resistencia a cortante y capacidad de deformación.

b) Características de comportamiento estructural antisísmico después de un trabajo de rehabilitación

La resistencia y capacidad a deformación de un muro estructural que ha sido rehabilitado, se evaluará con un método adecuado que considere las características físicas y mecánicas de los materiales empleados, así como las condiciones reales de los detalles del refuerzo.

c) Detalles de refuerzo

Al realizar los trabajos de rehabilitación por regla general se harán , los detalles cuando se emplean los procedimientos mencionados en el inciso a), conforme a lo indicado

en la Guía para Diseño de Reparación Sísmica de Estructuras de Concreto Reforzado Existentes (Asociación de prevención de Desastres en Edificaciones del Japón), así como en la Norma para Cálculo y Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado (Instituto de Arquitectos de Japón). En caso de emplear un detalle estructural especial o característico, se deberá definir finalmente con base en una investigación experimental y/o analítica.

Comentarios

Dentro de los procedimientos de reparación comparativamente más solicitados en el caso de muros estructurales dañados por sismo, se encuentran la inyección de resina epóxica en grietas, y el colado de concreto nuevo en las zonas dañadas.

Para muros estructurales con nivel de daño menor o igual a III, se inyecta resina epóxica en las grietas, y las partes donde se presentó desprendimiento y caída de concreto se rellenan de resina epóxica. En el caso de un muro estructural con daño severo, se propone la rehabilitación a la forma original colando nuevamente concreto en las zonas dañadas. Estos procedimientos de rehabilitación son los que se presentan como relevantes en la presente guía.

También, con respecto a rehabilitación, existen métodos relativamente de amplio uso como es el instalar muros precolados post-construcción en el interior de algunas crujeas de marcos resistentes a momento existentes, esperando contribuyan como muros estructurales en el comportamiento de la estructura; igualmente, en muros estructurales existentes se adiciona concreto con la finalidad de incrementar el ancho del mismo. Según estos métodos, después del proceso de rehabilitación, las características de comportamiento sísmico de las partes dañadas generalmente son superiores a las originales, por lo que en la presente guía se presentan como procedimientos de refuerzo relevantes.

El cálculo de rigidez y resistencia de muros estructurales reparados, así como de muros estructurales reforzados, de una manera similar al caso de las columnas rehabilitadas, se pueden realizar por regla general empleando la Norma de Evaluación de Estructuras de Concreto Reforzado, o la Guía de Diseño de Reparación de Estructuras de Concreto Reforzado. Sin embargo, en estos casos será necesario tratar de respetar los detalles estructurales que se identifican abajo.

1) La superficie de unión de la junta de un muro colado post-construcción con las vigas y columnas existentes, deberá ser rugosa.

2) La unión entre los elementos estructurales existentes y los muros adicionados post-construcción, deberá contener barras de anclaje post-construcción instaladas en las vigas y columnas que correspondan.

Respecto a los métodos de instalación de estas barras de anclaje, se presenta una explicación detallada en la Guía de Diseño de Reparación de Estructuras de Concreto Reforzado.

3) El diámetro de las barras de anclaje, la separación y el procedimiento de colocación de las mismas, se hará conforme se indica:

diámetro de la barra de anclaje, ϕ :	$13 \text{ mm} \leq \phi \leq 19 \text{ mm}$
separación de anclado, s :	$7.5d \leq s \leq 30 \text{ cm}$
recubrimiento efectivo:	mayor o igual a $5d$
anclaje en el núcleo:	mayor o igual a 5 cm, penetrando suficientemente en el refuerzo longitudinal (núcleo de concreto)
medida de malla:	mayor o igual a $5d$

4) El espesor del muro será mayor o igual a 15 cm

5) El porcentaje de acero de "dovela" será mayor o igual a 0.5%

6) En el caso de refuerzo de muros estructurales con abertura, se permite la demolición de los elementos originales y construir unos nuevos en su lugar. También, después de reforzar la parte de la abertura hasta obtener eficiencia en el comportamiento del muro, se permite reforzar los muros adicionando concreto nuevo parcialmente.

7) El acero de refuerzo del muro serán barras lisas de diámetro mayor o igual a 9 mm, o barras corrugadas de diámetro mayor o igual a 10 mm; el porcentaje de acero de refuerzo en el muro será mayor o igual a 0.4%. El refuerzo del muro será colocado en dos capas, la longitud de traslape entre el acero de refuerzo del muro y el acero de ancla post-construcción será igual o mayor a $25d$ (d , diámetro del acero de refuerzo del muro).

8) La resistencia del concreto empleado en los muros adicionados, deberá ser mayor a 210 kg/cm^2 , o la resistencia del concreto en los elementos existentes de origen, cualquiera de los valores que sea más alto.

9) Con objeto de fomentar la adherencia entre el concreto y el acero del ancla post-construcción, se habilitará el acero cumpliendo los requisitos para adherencia.

10) La longitud de anclaje del acero del ancla post-construcción dentro del muro, será mayor o igual a $30d$ (d : del diámetro del acero de ancla post-construcción).

11) Con respecto a la rehabilitación de un muro estructural, el método de refuerzo para las columnas de borde será conforme se indica en la sección 3.6.1. El método de refuerzo para las vigas será conforme se indica en la sección 3.6.3. Para el colado del concreto nuevo en el muro, se deberán preparar las superficies de unión en vigas, columnas y muros existentes, eliminando el material de acabado y proporcionándole a la superficie características rugosas.

12) *No es necesario emplear dispositivos mecánicos específicos en la unión entre el muro estructural original y el concreto nuevo del muro. Sin embargo, cuando se presente una diferencia notable entre los ejes de muro y columna al colar el concreto nuevo, será deseable colocar adecuadamente anclas entre el muro colado post-construcción y el muro original.*

13) *El espesor del muro colado adicional será mayor o igual a 12 cm. La resistencia del concreto empleado en el mismo, así como el diámetro del acero de refuerzo y el porcentaje de acero, en el caso de refuerzo empleando muros adicionales, serán los valores mínimos especificados en el reglamento. Al realizar la rehabilitación, se considerarán las medidas y procedimientos adecuados para eliminar la existencia de espacio ente el concreto colado para refuerzo y el elemento estructural inmediato superior, tratando de lograr un comportamiento monolítico adecuado. En este caso, en la parte superior del muro de refuerzo, se dejara una holgura al colar el concreto nuevo en la cual, después del fraguado del concreto se inyecte a presión un mortero de alta resistencia y nula contracción, logrando con este procedimiento incrementar de manera efectiva el comportamiento monolítico del elemento de refuerzo con los elementos originales de la estructura.*

14) *En caso de presencia de barras de acero deformadas por el daño, estas deberán repararse o sustituirse.*

15) *En caso de emplear armaduras de acero, los detalles en las mismas deberán satisfacer las indicaciones que sobre detallado estructural se presentan en la Guía para Diseño de Reparación y Refuerzo de Estructuras de Concreto Reforzado.*

3.6.3 Aspectos importantes a considerar en la rehabilitación de trabes y vigas

Los elementos estructurales de un edificio de concreto reforzado son además de las columnas y los muros, las vigas, las losas y las uniones viga-columna. La rehabilitación de vigas, losas y uniones viga-columna se deberá llevar a cabo con métodos de demostrada eficiencia.

Específicamente, respecto a los métodos de rehabilitación, se deberán emplear aquéllos que correspondan con lo indicado como aspectos importantes de rehabilitación para columnas y muros estructurales en las secciones 3.6.1 y 3.6.2, respectivamente.

En cuanto al procedimiento de rehabilitación de las losas en estructuras a base de muros estructurales, se deberá realizar aplicando un procedimiento que corresponda a lo indicado en la sección 3.6.2 sobre aspectos de mayor importancia en la rehabilitación de muros estructurales.

3.6.4 Aspectos importantes a considerar en la rehabilitación de elementos secundarios

Al realizar la rehabilitación de elementos secundarios o elementos anexos a los elementos estructurales, se deberá analizar e investigar que no representen un efecto nocivo a la capacidad y comportamiento sísmico de las elementos estructurales columna y viga por

ejemplo. Además, se deberá verificar su seguridad ante la posibilidad de caída o volcamiento del elemento secundario.

3.6.5 Aspectos importantes a considerar en la rehabilitación de la estructura de cimentación

En cuanto a la rehabilitación de la estructura de cimentación, se realizará una inspección e investigación suficiente y adecuada de las condiciones del suelo, configuración del terreno y de las condiciones de carga que transmite la superestructura, para seleccionar la tecnología y procedimiento constructivo adecuado para los trabajos de rehabilitación.

Comentarios

1) Cuando se han dañado elementos estructurales sísmicos, como columnas y trabes, por la existencia de parapetos o muros no-estructurales parcialmente ligados a la estructura, se necesita tomar medidas adecuadas para reducir el daño en los elementos principales como columnas y trabes en sismos posteriores, proporcionando una holgura adecuada y suficiente entre ellos.

Pero, al separar los elementos no-estructurales, es necesario revisar su seguridad ante caída y volcamiento, sobre lo cual se puede consultar la Referencia 2.

2) Se podrán reconstruir los elementos no-estructurales en donde se observen daños independientes a los daños asociados con los elementos estructurales como columnas y trabes. Sin embargo, hay ejemplos de que la falla de un muro no-estructural impide abrir alguna puerta. Así, a veces el daño en elementos no-estructurales, afectan también la funcionalidad de otros elementos no-estructurales. Por lo tanto, al reforzar los elementos no-estructurales, se debe considerar la influencia sobre la funcionalidad de otros elementos, previniendo la falla de elementos no-estructurales que son importantes para la prevención de desastres.

También, al restaurar el vidrio dañado de las ventanas, hay que prevenir la ocurrencia del daño ante un nuevo evento, revisando el diseño del marco de ventana y los materiales.

3) Al restaurar los elementos secundarios dañados que sean rígidos y frágiles, (por ejemplo, muros de bloque de concreto, muros de concreto precolado, muros aleros, parapetos, etc.), hay que tomar medidas contra su caída y volcamiento. Si no existe un método adecuado de refuerzo, es recomendable demolerlos y sustituir por otros elementos.

4) Al restaurar las estructuras secundarias como apéndices y escaleras exteriores, se requiere la revisión ante fenómenos de vibración local, y deberá proporcionar el refuerzo necesario.

5) Hay muchos ejemplos de daño en la superestructura por la falla de la estructura de cimentación o del suelo. En el sismo de Niigata (1964) se desplomó la superestructura

por el deterioro de la resistencia del suelo arenoso húmedo, y la ocurrencia del fenómeno de licuación debido a la vibración que generó el sismo. Durante el sismo de la costa de Miyagi (1978), algunos edificios se desplomaron debido a la falla de los pilotes de apoyo de la superestructura; en el sismo de Alaska (1963), ocurrió el deslizamiento lateral de tierra en una zona extensa y las superestructuras sufrieron daño por vibración y grandes desplazamientos relativos del suelo. Sin embargo, el daño en la estructura de cimentación es difícil de observar y tiende a no ser considerado en los trabajos de refuerzo y rehabilitación. No pocos daños en estructuras de cimentación se descubrieron después de varios años de la ocurrencia del sismo de daño.

Existen, en gran escala, dos métodos conocidos de restauración y refuerzo ante el daño de la estructura de cimentación, la reconstrucción del edificio con desplomo importante, y el refuerzo y rehabilitación de los elementos dañados en la cimentación. El primer método se empleó en el caso del sismo de Niigata, y el segundo en el caso del sismo de la costa de Miyagi.

También hay ejemplos de demolición de edificios dañados y construcción de uno nuevo sin hacer ninguna consideración de rehabilitación de la estructura de cimentación aunque fuera posible su refuerzo. Esto debido a que los trabajos de rehabilitación de estructuras de cimentación, generalmente representan un alto costo comparativamente con los procedimientos de rehabilitación de la superestructura. En la norma para la evaluación de la necesidad de refuerzo de estructura de cimentación, que se ha mostrado en la tabla 3.1, se propone la necesidad de refuerzo consultando el ejemplo del sismo de Niigata, y tomando en cuenta los aspectos económicos.

Además, aun en la actualidad no es clara la continuidad y efectividad de los trabajos de rehabilitación de cimentaciones, como puede ser la extensión de la losa de cimentación, o el aumento de pilotes, ni las técnicas de reparación y refuerzo se han aclarado suficientemente como los procedimientos empleados en las superestructuras.

De cualquier modo, cuando se ha dañado la estructura de cimentación, habrá que emplear un método adecuado, haciendo énfasis en la recuperación y mejoramiento de la resistencia a soportar las solicitaciones que la superestructura ejerce sobre la cimentación. En caso de reconstrucción de un edificio con problema de desplomo, si se encuentra un espacio adecuado en el terreno de la vecindad, es más eficaz construir una nueva cimentación y sobre ella construir el nuevo edificio. En caso de que se han dañado los pilotes, se recomienda que antes de la construcción e hincado de los nuevos pilotes, primero se proceda al trabajo de reparación y refuerzo de los pilotes dañados, y posteriormente fabricar e hincar los nuevos elementos.

También se necesita considerar la resistencia lateral de la estructura de cimentación. Cuando se refuerzan los pilotes, es recomendable determinar el detalle de unión entre las secciones de los mismos, considerando tanto la resistencia ante solicitación axial, como la demanda de capacidad ante momentos flexionantes y fuerzas cortantes producto de la excitación lateral. También, en caso de cimentaciones superficiales, se requerirá la revisión de la capacidad del suelo inmediato inferior ante las solicitaciones de esfuerzos a los que se verá sujeto. Igualmente deberán revisarse las condiciones de

equilibrio, así como las condiciones y configuración del terreno a fin de evitar fenómenos de asentamientos diferenciales y desplomo.

Para la ejecución de un proyecto de rehabilitación de una estructura de cimentación, es recomendable considerar y consultar ejemplos de daños en el pasado. Las Referencias 3 y 4 ofrecen algunos ejemplos adecuados.