

**PARTE II**  
**GUÍA TÉCNICA DE REHABILITACIÓN**

## **PARTE II**

# **GUÍA TÉCNICA DE REHABILITACIÓN**

## **CAPITULO 1**

### **ASPECTOS GENERALES**

#### **1.1. PRINCIPIOS Y OBJETIVOS BÁSICOS**

La presente guía técnica de rehabilitación, que se basa en la Norma para la Evaluación del Nivel de Daño, conjuntamente con el proceso de Evaluación Inmediata de Emergencia del Nivel de Riesgo y los resultados de la Evaluación de la Clasificación y Nivel de Daño, muestra las medidas de emergencia, así como los procedimientos para rehabilitación definitiva, de edificaciones que hayan sufrido daño durante un sismo.

Las medidas de emergencia tienen por objeto evitar daños secundarios por réplicas de eventos importantes en aquellas estructuras que hayan sufrido algún daño por el evento principal. Los procedimientos de rehabilitación definitiva, pretenden no únicamente la reparación o refuerzo individual y local de los elementos dañados, sino tiene como objetivo el restablecimiento de las características de comportamiento ante sismo de la estructura en su totalidad. Para alcanzar el objetivo antes mencionado, la presente guía está estructurada según los siguientes conceptos:

- (1) Evaluación del nivel de daño y diagrama de flujo de la rehabilitación.
- (2) Medidas de emergencia.
- (3) Proceso o métodos de rehabilitación definitiva.
  - (3.1) Investigación de los orígenes del daño.
  - (3.2) Determinación de los principios básicos de rehabilitación.
  - (3.3) Cálculo de la resistencia remanente en la estructura y del nivel de refuerzo requerido.
  - (3.4) Diseño de la rehabilitación y definición de los métodos de rehabilitación de cada elemento.

En cuanto a los aspectos insuficientemente tratados en la presente guía, se recomienda consultar los reglamentos para la Construcción, las publicaciones del Ministerio de la Construcción, publicaciones del Instituto de Arquitectos del Japón (Norma para Diseño de Estructuras de Madera con comentarios) y publicaciones de asociaciones relacionadas con la vivienda (Notas sobre Procedimientos Constructivos Sistematizados para Viviendas de Estructuras de Madera).

## **Comentarios**

*En edificios que hayan sufrido daños por sismo, se realizarán evaluaciones inmediatas para determinar el nivel de riesgo y para definir la clasificación y nivel de daño en la estructura, evaluaciones que se realizan con base en la Norma para la Evaluación de Daños en Estructuras. La evaluación inmediata del nivel de riesgo y peligro se realiza con la finalidad de determinar la posibilidad de volcamiento, caída de objetos y desplome de la estructura ante la incidencia de una réplica del evento principal. Así, para cada estructura se determinará una clasificación dentro de cualquiera de las siguientes: 1) Acceso permitido, 2) Acceso condicionado, 3) Prohibido el acceso. La presente guía muestra medidas y métodos de rehabilitación de emergencia que resulten necesarios con base a los resultados de los trabajos de evaluación.*

*También, dentro del proceso de evaluación de clasificación y nivel de daño, al realizar la evaluación del nivel de daño de un edificio afectado por sismo, igualmente se determinará la necesidad de refuerzo estructural con base en el nivel de daño y la fuerza (intensidad) del sismo que generó dicho daño. Esto se llevará a cabo considerando lo indicado en la Tabla comentario 1.1 El significado de la simbología empleada en dicha tabla,  $\oplus$ ,  $\nabla$  y  $X$  es como se indica:*

- $\oplus$  : posible la rehabilitación reparando únicamente los elementos dañados;
- $\nabla$  : es necesaria una inspección detallada para determinar si se requiere un trabajo de refuerzo estructural o basta con reparación de los elementos dañados;
- $X$  : necesario el trabajo de refuerzo.

*Los trabajos de rehabilitación definitiva tienen el propósito de restituir las características de comportamiento ante sismo de estructuras dañadas. Por lo tanto, independientemente del nivel de daño que presente la estructura a rehabilitar, los métodos de reparación y refuerzo a emplearse deberán revisarse paso por paso, de manera que alcancen las características de comportamiento ante sismo deseadas. Sin embargo, este tipo de inspección requiere una gran cantidad de tiempo y dinero, por lo que se plantea considerar los niveles de daño y las características del sismo que lo generó como se indica en la Tabla comentario 1.1 Así, para una estructura que haya presentado daño ligero para sismos comparativamente grandes (edificio evaluado con  $\oplus$ ), basta con restituir las características originales de comportamiento ante sismo por medio de un proceso de reparación. En cuanto a los casos evaluados con  $\nabla$  o  $X$ , por regla general, se realizará una investigación o inspección detallada con base en los subcapítulos 3.1 Inspección de los orígenes del daño y 3.3 Cálculo de la resistencia remanente en la estructura y del nivel de refuerzo necesario, llevando a cabo posteriormente los procesos de reparación y refuerzo necesarios. Habrá casos en que se requiera la reparación total de la estructura.*

*Para la evaluación de las características de comportamiento ante sismo de las estructuras de madera, incluyendo a las consideradas en los reglamentos aunque se desee determinar la resistencia del sistema estructural, únicamente aparecen las propuestas para estructuras a base de paneles (parcialmente incluye muros estructurales y elementos de acabados interiores y exteriores). Por lo tanto, las indicaciones sobre rehabilitación mencionadas son de aplicabilidad principal para estructuras de muros estructurales. Sin embargo, si se piensa en la manera en que se transmite la carga exterior que incide en la*

estructura, es obvio que la fuerza inercial en techos, muros, losas, etc., será transmitida a los muros estructurales por medio de la estructura de techo, la estructura de losas, columnas y trabes. Igualmente, estas fuerzas serán transmitidas a las trabes de liga, cimentación y, finalmente, suelo de cimentación. Así, todos los elementos deberán tener dimensiones adecuadas a los esfuerzos que aparecerán en ellos. También, las uniones deberán ser suficientemente fuertes y rígidas, y con suficiente capacidad de deformación, para asegurar así las características de comportamiento ante sismo de la estructura en su conjunto. Por lo tanto, para cualquier tipo de elemento estructural se consideran aspectos de rehabilitación similares a los contemplados para las estructuras con muros. Sin embargo, en lo que respecta a estos elementos no existe algún lineamiento para la determinación del nivel adecuado de resistencia, rigidez y capacidad a deformación. Para solventar esa ausencia de información, considerando los niveles de seguridad estructural deseada y las condiciones del elemento estructural, si no se aprecia ningún problema de importancia podrá procederse a realizar trabajos de reparación teniendo como objetivo la restitución de las características originales de comportamiento ante sismo. En caso de que pudiera detectarse algún tipo de problema, se procederá a reforzar la estructura incrementando tanto cuanto sea posible la rigidez y resistencia de la misma.

En la presente guía de técnicas de rehabilitación, se presenta información y técnicas de rehabilitación extraídas de trabajos e investigaciones previas cuyos resultados se reportan en publicaciones relacionadas con el Reglamento para la Construcción, publicaciones del Ministerio de la Construcción, publicaciones del Instituto de Arquitectos del Japón (Norma para Diseño de Estructuras de Madera, Comentarios), e instituciones para la vivienda (Manual para la Construcción de la Vivienda de Madera). Por lo tanto, debido a que aún existen aspectos insuficientemente tratados o con poca información en la presente guía, es menester el continuar con el desarrollo de más y nuevas tecnologías.

**Tabla comentario 1.1 Evaluación de la necesidad de refuerzo estructural**

Características o intensidad del sismo (intensidad según la AMJ)	Clasificación del Tipo de Daño			
	Ligero	Menor	Medio	Grave y Falla
Menor o igual a IV	⊕	▽	X	X
V	⊕	⊕	▽	X
Mayor o igual a VI	⊕	⊕	⊕	▽

**NOTA:**

- ⊕ : Rehabilitación por medio de reparación.
- ▽ : Rehabilitación por medio de reparación y/o refuerzo (es necesario realizar una inspección y evaluación detallada).
- X : Rehabilitación por medio de refuerzo, o demolición (se requiere una inspección e investigación detallada. Para el procedimiento de inspección e investigación detallada, consultar la Guía Técnica de Rehabilitación.
- AMJ : Agencia Meteorológica del Japón (escala de 0 a VI).

## 1.2 Definición de la terminología y simbología

En el cuerpo de la presente norma, se emplea terminología cuya definición se indica:

- Reparación: Proceso con el cual las características estructurales de un edificio o elemento estructural dañado por los efectos de un sismo, se restituyen a la condición original que tenían antes de la incidencia del sismo de daño.
- Refuerzo: Proceso con el cual las características estructurales de un edificio o elemento estructural dañado por los efectos de un sismo, se mejoran respecto a la condición original que tenían antes de la incidencia del sismo de daño.
- Refuerzo de emergencia: Medidas con las que se pretende evitar el avance del daño y el colapso de estructuras o partes estructurales dañadas por sismo.
- Rehabilitación: Proceso de reparación y/o refuerzo por medio del cual una estructura dañada por un sismo recupera sus características de funcionalidad y puede volver a ser usada.
- Sistema estructural: Conjunto de sistemas estructurales con los que se conforma el edificio, como pueden ser cimentación, pilotes de cimentación, muros estructurales, diagonales, columnas, traveses, estructura del sistema de techo, traveses de liga, placas para losas, placas para techos, etc.
- Materiales de acabados: Materiales o elementos que componen a la estructura y que no forman parte del sistema estructural.
- Estructura de los muros: Sistema definido en el Capítulo 46, subcapítulo 3 del Reglamento de Construcción, o en la publicación No. 1101 del Ministerio de la Construcción, en donde se define este sistema estructural, como aquél donde a base de marcos, diagonales de arriostramiento y paneles exteriores, se conforma lo que se considera como un muro estructural.

### **Comentarios**

*El proceso de rehabilitación, que contempla los procesos de reparación total del inmueble, consiste en reparar tanto visual como estructuralmente estructuras con problemas ante la incidencia de sismos. Existen diferentes y variados procedimientos de rehabilitación, desde aquellos que tratan de restituir las condiciones y características de comportamiento ante sismo que tenía la estructura antes de la aparición del daño, hasta aquellos procedimientos en los que se busca hacer mas resistentes o mejorar las condiciones y características de comportamiento ante sismo que tenía la estructura antes del daño.*

*En este texto, no se hace mención sobre los procedimientos de rehabilitación arquitectónica o visual del inmueble, sino de los procedimientos que tienen relación con las características de comportamiento ante sismo de la estructura, que es a lo que se refieren las definiciones antes mostradas.*

*Por lo tanto, de una manera muy general, se menciona que en el proceso para reparación de las características de comportamiento estructural, no requerirá de una revisión o proceso minucioso de análisis para su elaboración; por el contrario, en el caso del refuerzo estructural será necesaria la revisión y la verificación minuciosa durante la ejecución de las medidas indicadas para la realización del refuerzo.*

*En lo que respecta a la parte superior de los elementos de cimentación, se considera que no guardan relación directa con las características de comportamiento estructural; sin embargo, se contemplarán como elementos de importancia para lograr la funcionalidad del*

*edificio, por lo que en la presente guía se consideran dentro del grupo de procesos de reparación.*

### **1.3 ALCANCES DE LA APLICACIÓN**

La presente guía es aplicable a edificios de madera, que hayan sufrido algún daño por la incidencia de un sismo.

#### ***Comentarios***

*La presente guía considera todas las estructuras de madera que hayan sufrido algún daño por sismo. Tiene como objetivo mostrar los procedimientos y la ejecución de métodos de refuerzo y reparación adecuados para rehabilitar edificios y restituirles las características de comportamiento necesarias ante sismo.*

*Por lo tanto, el alcance de la aplicación de la presente guía abarca las características de comportamiento ante sismo de todas aquellas estructuras de madera que hayan sufrido cualquier tipo de daño.*

*Sin embargo, la elaboración de este cuerpo se basa en la investigación realizada en los siguientes tipos de edificaciones:*

- (1) Estructuras a base de marcos resistentes a momento.*
- (2) Edificios de madera destinados principalmente a uso habitacional, habitacional con misceláneas anexas, tiendas, departamentos, clínicas médicas, etc.*
- (3) Edificios con estructura de madera de dos o menos niveles.*



## CAPÍTULO 3

### MEDIDAS DE EMERGENCIA

En caso de edificios con riesgo de caída y volcamiento de objetos, para evitar el aumento de daños secundarios por réplicas del sismo principal, deberán tomarse las medidas de emergencia que resulten de la evaluación del nivel de riesgo.

#### *Comentarios*

##### *1) Descripción.*

*Evitar el incremento de daños secundarios es básicamente con el propósito de preservar las vidas humanas, para lo que se deberán adoptar inmediatamente las medidas de emergencia propias para resolver problemas de volcamiento y caída de objetos en los edificios, y resolver problemas de suelo y/o cimentación en aquellos casos que se haya clasificado con riesgo. Para esto se revisarán las condiciones del suelo y estructuras vecinas, de manera que en el transcurso de unos cuantos días se hayan realizado las evaluaciones de emergencia del nivel de riesgo.*

##### *2) Método de aplicación de las medidas de emergencia*

*Como se indicó, las medidas de emergencia deberán aplicarse a la brevedad posible. Inicialmente colocando en cada predio, con ayuda de dueños y/o moradores, la indicación correspondiente sobre el uso del inmueble; así como indicar y participar en la demolición de elementos con riesgo. Consultar Tabla comentario 3.1.*

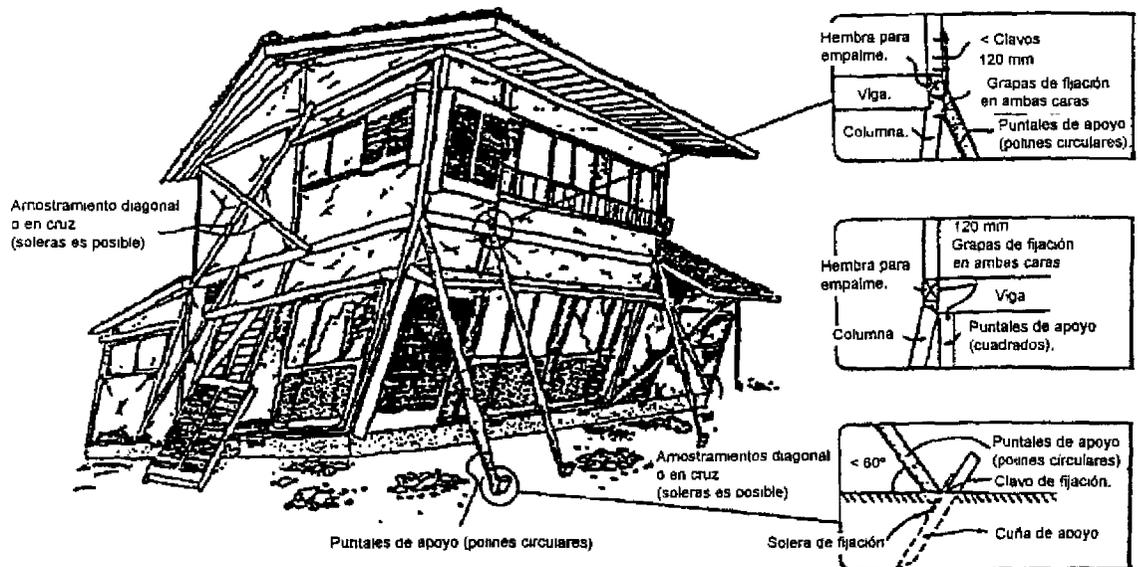
*Como una medida de emergencia para evitar el volcamiento de un edificio, se puede colocar un refuerzo. Se pretende que con este refuerzo, junto con la resistencia remanente del inmueble, se evite el volcamiento. Para lograr este tipo de refuerzos se pueden usar puntales de madera, arriostramientos en cruz y en diagonal, así como la implementación de paneles de triplay en los huecos de la estructura. En cuanto a las diferentes posibilidades de refuerzo lateral de emergencia, se puede consultar la figura comentario 3.1.*

*Después de la aplicación del refuerzo de emergencia, se podrá realizar una evaluación a detalle sobre el nivel de seguridad estructural; si resulta satisfactorio podrá eliminarse el refuerzo y permitir el acceso a personas.*

*Deberán reforzarse o fijarse adecuadamente todos aquellos elementos y materiales no estructurales o de fachada que representen un riesgo. Consultar el ejemplo V-1 de aplicación de medidas de emergencia en una zona dañada por sismo (Parte III de este documento).*

**Tabla comentario 3.1 Medidas de emergencia**

Condición de daño		Nivel de daño	
Concepto de inspección	Contenido de daño	Ligero, menor	Severo, de riesgo
Desplome del edificio	Asentamiento diferencial Inclinación del edificio Daño en interiores y exteriores	Refuerzo de emergencia con puntales	Anuncio indicador del nivel de riesgo y del tipo de acceso (acordonar zonas de restricción), reconstrucción, refuerzo con puntales para evitar caída y volcamiento.
Riesgo de caída de objetos	Tejas Acabados interiores Elementos secundarios	Procedimientos para reducir el incremento de daño	Anuncio indicador del nivel de riesgo y del tipo de acceso. Demolición y eliminación de objetos con riesgo de caída.



**Figura comentario 3.1. Métodos de aplicación de las medidas de emergencia (aplicación de arrostramiento diagonal o en cruz y puntales de apoyo)**

## CAPÍTULO 4

# MÉTODOS PARA LA REHABILITACIÓN DEFINITIVA O PERMANENTE

### 4.1 INSPECCIÓN E INVESTIGACIÓN DE LAS CAUSAS DEL DAÑO

Con objeto de practicar un proceso de rehabilitación en una estructura dañada por sismo, será determinante realizar una inspección para definir las causas que originaron el daño. El diagrama de flujo del procedimiento de inspección se representa en la figura comentario 4.1, siguiendo el cual se pueden determinar las características de los problemas que originaron el daño en el sistema estructural y en los elementos aislados. En la determinación de las posibles causas, no se deberá hacer énfasis únicamente en aquéllas relacionadas con la resistencia a cargas laterales del sistemas estructural, sino también será necesario investigar la existencia de problemas de durabilidad de los materiales.

Los formatos para inspección de las causas y orígenes de daño se presentan en el capítulo 5.

#### *Comentarios*

*En el caso de estructuras de madera que han sido dañadas por sismo, es importante considerar que con el tiempo han presentado problemas desde intemperismo, hasta daños ligeros producto de sismos anteriores. En la mayoría de los casos, estas estructuras no han sido sujetas a procesos de refuerzo o rehabilitación. Cuando una estructura de estas características se sujeta a un proceso de rehabilitación, deberá tomarse en cuenta que las causas de daño no se encuentran únicamente en los elementos estructurales aislados, sino que es necesario también contemplar problemas de origen, producto del método de construcción y de las características y resistencia de los materiales.*

*Las causas u orígenes de daño pueden dividirse en tres grandes conceptos, como se indicó en el diagrama de flujo sobre el proceso de evaluación del nivel de daño y la rehabilitación, presentado en el capítulo 2:*

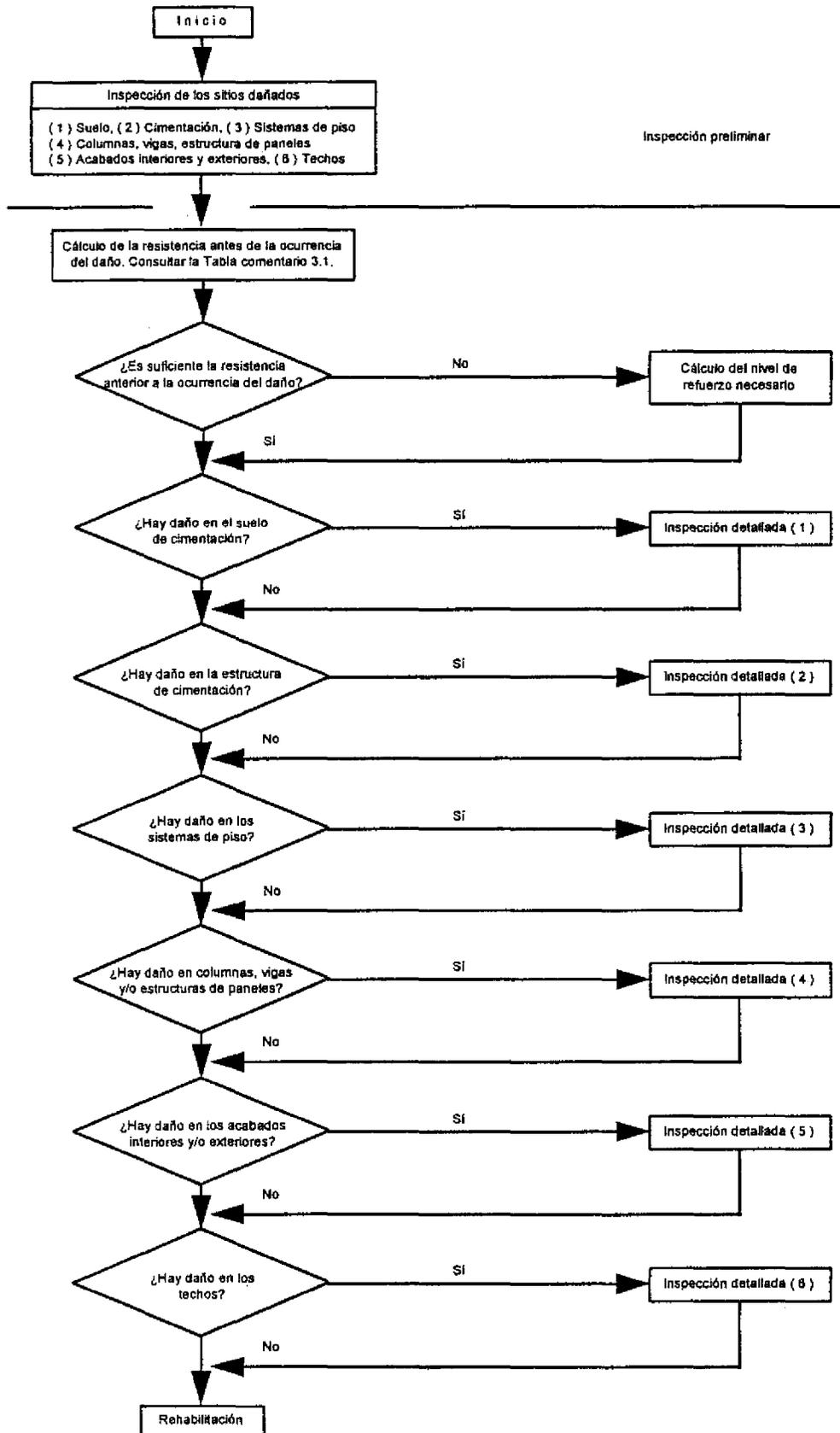
- (1) La fuerza sísmica incidente fue superior a las expectativas reglamentarias.*
- (2) La resistencia del edificio fue insuficiente.*
- (3) Falla o colapso del subsuelo de cimentación.*

*Con base en la evaluación de la clasificación y nivel de daño y según experiencias anteriores, es claro que la conclusión sobre el origen de los daños se plantea como el concepto (1). En el caso de estructuras de madera, se realizará una inspección detallada, suponiendo la resistencia anterior a la ocurrencia del daño, y conjuntamente revisando el origen de daño para cada parte del sistema estructural para obtener una conclusión menos simplista.*

*El diagrama de flujo del procedimiento de inspección se ejemplifica en la figura comentario 4.1.*

*Lo indicado dentro del diagrama de flujo, referente a las resistencias de los elementos y del sistema estructurales anteriores a la ocurrencia del daño, así como las características de la estructura de cimentación, deberá revisarse considerando los planos de diseño, o en su defecto, después de una rigurosa inspección de campo, como se indica en el Formato de Inspección para Determinar el Origen del Daño del capítulo 5.*

*En dicho formato para inspección, habrá conceptos de inspección que no estén debidamente contemplados dentro del orden del procedimiento. En esos casos se deberá recordar que en la parte inicial del formato se requiere realizar la inspección y comentar sobre los daños y su nivel en los diferentes elementos y sistemas estructurales; por otra parte, al final del formato, para los casos en los que sea posible determinarlo, se indicarán las causas que originaron los daños.*



**Figura comentario 4.1. Diagrama de flujo del procedimiento de inspección para determinar la causa y origen de los daños**

## **4.2 DEFINICIÓN Y DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPIOS Y OBJETIVOS DE LA REHABILITACIÓN**

Conforme a los resultados del procedimiento de inspección, los principios y objetivos de la rehabilitación serán como se indica (ver sección 4.1):

- Si se considera que el origen del daño es determinado por (1), se realizará una inspección visual de la condición para refuerzo y rehabilitación. Podrá aceptarse que dentro del proceso de rehabilitación únicamente se haga la reparación estructural.
- Si se considera que el origen de daño es determinado por (2), se calculará la resistencia remanente de la estructura, con base en lo que se determinará el nivel de refuerzo necesario. Se realizarán trabajos de construcción propios para satisfacer las necesidades de refuerzo.
- Si se considera que el origen de daño es determinado por (3), antes de realizar trabajos de rehabilitación en el edificio, se reparará el subsuelo de cimentación, o bien se deberá reforzar la estructura de cimentación.

### **Comentarios**

*Cuando el origen de daño es determinado por (1) (la fuerza sísmica incidente fue superior a las expectativas reglamentarias), la reparación se realizará conforme lo indicado en el subcapítulo 4.4 "Diseño de rehabilitación y procedimientos de rehabilitación de cada elemento".*

*Cuando el origen de daño es determinado por (2) (la resistencia del edificio es insuficiente), el cálculo de la resistencia estructural se hará conforme lo indicado en la sección 4.3 "Determinación de la resistencia remanente y cálculo del nivel de refuerzo requerido". Se realizará el refuerzo necesario y después se calculará la resistencia estructural, comparándola, finalmente, con la resistencia remanente que tenía el sistema antes del proceso de refuerzo.*

*Cuando el origen de daño es determinado por (3) (falla o colapso del subsuelo de la cimentación), debido a ser un problema de suelo y cimentación, se deberá reforzar la estructura suelo-cimentación reforzando el suelo de cimentación, hincado de pilotes, refuerzo de la estructura de cimentación, etc.*

## **4.3 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA REMANENTE Y DEL NIVEL DE REFUERZO NECESARIO**

### **4.3.1 Cálculo de la Resistencia Remanente**

El cálculo de la resistencia remanente, se realizará considerando los resultados de la investigación sobre el estado de deformaciones permanentes en el edificio, así como la resistencia que tenía el edificio antes de la ocurrencia del daño. La resistencia remanente se determina con base en el índice de resistencia remanente  $\alpha_r$ , cuya definición se indica:

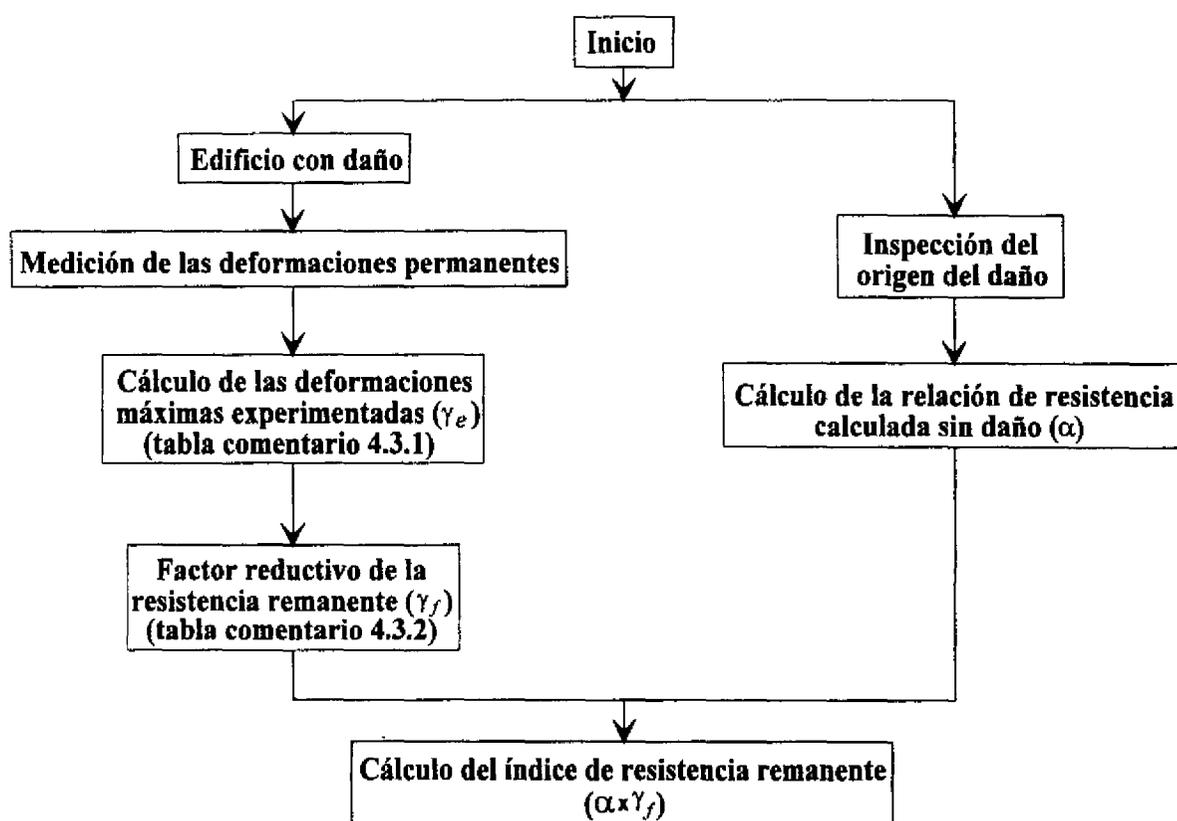
$$(a_r) = (a) \cdot (\gamma_f)$$

4.3.1

Es decir, el índice de resistencia remanente es igual a la relación de resistencias calculadas multiplicadas por un factor reductor, donde la relación de resistencia inferida  $\alpha$ , se calcula conforme a lo especificado en el subcapítulo 4.1 “Inspección e Investigación de las Causas del Daño”, y se define como la relación entre la resistencia y el porcentaje de muros determinado conforme el artículo 46 del Reglamento de Construcción del Japón. El factor reductor  $\gamma_f$  se determinará en función de la deformación máxima experimentada en función de la deformación permanente (como se define en la tabla comentario 4.3.1), extrayéndose este factor reductor de lo especificado en la tabla comentario 4.3.2.

### Comentarios

La determinación de la resistencia remanente de un edificio dañado por sismo, es un aspecto de importancia desde el punto de vista del proceso de reparación y refuerzo. Esto porque contribuirá a definir el objetivo a satisfacer en los procesos de rehabilitación para alcanzar la resistencia sísmica deseada. La determinación de la resistencia sísmica remanente se hará conforme se indica en el diagrama de flujo siguiente:



El valor calculado de la resistencia remanente, no es un valor absoluto, es la relación con el porcentaje de muros calculada conforme al artículo 46 del Reglamento de Construcción del Japón. La resistencia remanente se calcula con base en el cálculo de la resistencia del edificio sin daño (definido como la relación  $\alpha$  de la resistencia calculada según el subcapítulo 4.1 "Inspección e investigación de las causas del daño") y la deformación permanente del mismo. El procedimiento es como sigue:

1) Se calcula la deformación máxima que probablemente experimentó la edificación durante el sismo ( $\gamma_e$ ) conforme a la Tabla comentario 4.3.1, considerando como base la deformación permanente observada. Los valores recomendados en esta tabla se basan en resultados de pruebas de especímenes a escala natural

2) Con base en el cálculo de la deformación máxima experimentada, conforme a la Tabla comentario 4.3.2, se determina el factor reductivo de resistencia ( $\gamma_r$ ), que supone que el nivel de deformación observado es proporcional al nivel de daño en el edificio. Los valores recomendados en esta tabla se basan en resultados de pruebas de especímenes a escala natural.

3) Sustituyendo los valores de  $\alpha$  y  $\gamma_r$  en la expresión 4.3.1, se puede determinar el índice de resistencia remanente de la estructura  $\alpha_r$ .

Así, si el valor de  $\alpha$  resultara igual a la unidad, la resistencia del edificio después de la ocurrencia del daño, resultaría igual a la determinada conforme al artículo 46 del Reglamento de Construcción de Japón.

**Tabla comentario 4.3.1 Cálculo de la Deformación Máxima Experimentada**

Procedimiento constructivo	Deformación permanente $\gamma_r$	Deformación máxima experimentada $\gamma_e$ (valor supuesto)
Tradicional	$\gamma_r \leq 1 / 120 \text{ rad}$	$\gamma_e = 2.5 \times \gamma_r$
	$\gamma_r > 1 / 120 \text{ rad}$	$\gamma_e = 2.0 \times \gamma_r$
No tradicional	Cualquiera	$\gamma_e = 2.5 \times \gamma_r$

**Tabla comentario 4.3.2 Índice Reductivo de Resistencia Remanente**

Deformación máxima experimentada $\gamma_e$	Índice reductivo $\gamma_r$
$\gamma_e < 1 / 120 \text{ rad}$	1.0
$1 / 120 \text{ rad} \leq \gamma_e < 1 / 160 \text{ rad}$	0.8
$1 / 60 \text{ rad} \leq \gamma_e < 1 / 40 \text{ rad}$	0.6
$1 / 40 \text{ rad} \leq \gamma_e < 1 / 20 \text{ rad}$	0.4
$1 / 20 \text{ rad} \leq \gamma_e$	0.2