

EVALUACION DE EDIFICIOS DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE MEXICO



Jesús Iglesias *

RESUMEN

En este trabajo se presenta la metodología para hacer la evaluación de la capacidad sísmica de los edificios de concreto de mediana altura, desarrollada por el autor, la cual ha sido utilizada por las autoridades de la ciudad de México para detectar los inmuebles que se encuentran en las peores condiciones de vulnerabilidad, a fin de tomar las acciones preventivas necesarias para garantizar la seguridad de los habitantes de la ciudad ante sismos futuros.

El método propuesto consiste en someter los edificios a un proceso de evaluación progresivo, con tres diferentes niveles de precisión por los cuales va pasando la estructura hasta tener la certeza de que el nivel de seguridad es adecuado, o bien, hasta demostrar la necesidad de proceder al refuerzo del inmueble.

INTRODUCCION

El sismo de 1985 en la ciudad de México dejó un saldo de más de 1,500 edificios de concreto dañados, lo que convirtió a la ciudad en un gigantesco laboratorio de ingeniería sísmica. El grupo de investigación en ingeniería estructural de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) concentró sus esfuerzos en el estudio de los edificios dañados con el objeto de elaborar un mapa de intensidades a partir de

* Jefe de Area de Estructuras, UAM Azcapotzalco.

la evaluación de la capacidad sísmica de dichos inmuebles. Para este fin se desarrolló un método simplificado de evaluación que pudo ser aplicado en varios centenares de estructuras, en su mayoría con daños graves. La nueva zonificación sísmica de la ciudad de México fue el resultado más importante de este trabajo (Refs. 1 y 2).

Una vez que la reparación de los edificios dañados dejó de ser el problema más urgente, las autoridades de la ciudad decidieron ocuparse de aquellos inmuebles que aunque no hubieran sufrido daños se encontrarán en condiciones inadecuadas de seguridad. Para este fin se decidió aprovechar la experiencia de la UAM en la evaluación simplificada de estructuras de concreto de manera que, con base en la evaluación generalizada de la capacidad sísmica de los edificios, éstos pudieran ser clasificados conforme a su vulnerabilidad. En esta forma sería posible dirigir las acciones preventivas y los recursos existentes hacia los inmuebles en peores condiciones.

Desde un principio se hizo evidente que la evaluación masiva de los edificios excedía los recursos disponibles por las autoridades, aun con un sistema simplificado como el desarrollado en la UAM. Por este motivo, fue necesario desarrollar un método de evaluación aún más simple, basado en una apreciación visual de las características básicas de estructuración, para realizar un primer "cribado" de los edificios que, de manera conservadora, permitiera detectar aquellos casos en que fuera más urgente poner atención. Por otra parte, se pensó también que la decisión final, sobre todo cuando las evaluaciones simplificadas apuntaban hacia el refuerzo del inmueble, debía ser tomada con base en un estudio detallado que considerará la normatividad vigente.

Considerados todos estos antecedentes se formuló una metodología de evaluación que utiliza tres niveles de "cribado" con distinta precisión cada uno: el primero se basa en una inspección visual de la estructura; el segundo es una evaluación aproximada de la capacidad sísmica del inmueble utilizando el método simplificado de la UAM y, finalmente, el tercero es una evaluación detallada de acuerdo con el Reglamento de Construcciones.

METODO

En el diagrama de actividades de la figura 1 se resume la metodología propuesta para la evaluación de la capacidad sísmica de los edificios de la ciudad de México (Ref. 3). El censo de las estructuras existentes permite efectuar una jerarquización inicial en función del uso y del número de pisos. Esta jerarquización va aumentando mediante el uso sucesivo de las evaluaciones de NIVEL No 1 y NIVEL No 2, hasta distinguir aquellos inmuebles con una capacidad sísmica insuficiente,

en los cuales será necesario que el propietario efectúe la evaluación detallada correspondiente al tercer nivel de evaluación (NIVEL No 3), a través de un especialista en estructuras que defina la necesidad de efectuar el refuerzo del edificio con base en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, RDF (Ref. 4).

CENSO DE INMUEBLES

Un paso previo a la evaluación generalizada de los edificios de concreto fue la elaboración de un censo actualizado de los inmuebles de la ciudad de México. La información recabada por este censo contiene, además de la dirección de cada inmueble, el número de pisos, el uso y el estado de daño que presenta la estructura.

El censo se inició en la Delegación Cuauhtemoc por ser ésta la más afectada. Con los resultados obtenidos fue posible elaborar estadísticas que relacionan la incidencia de daños con el número de pisos y el uso de las estructuras. En la tabla 1 se puede apreciar que los colapsos y daños graves ocasionados por los sismos de 1985 en la Delegación Cuauhtemoc se concentraron en los edificios con más de cinco pisos, alcanzando una densidad de más de 35% en aquellos inmuebles con más de nueve niveles.

En la tabla 2 se observa que desde el punto de vista del uso, los inmuebles con alta concentración de personas, como los hospitales, las oficinas y las escuelas, resultaron ser los más afectados.

Estos datos estadísticos permitieron aprovechar el censo para efectuar una primera jerarquización de los inmuebles con más de cuatro pisos, dividiéndolos en los cuatro grupos siguientes en orden decreciente de importancia: alta concentración de personas y más de cinco niveles; alta concentración y cinco niveles; baja concentración y más de cinco niveles y baja concentración y cinco niveles.

EVALUACION NIVEL No 1

Este nivel de evaluación se basa en la inspección visual del inmueble, durante la cual se recaba información general sobre su estructuración, el comportamiento de su cimentación, su ubicación y el deterioro que presenta. A partir de dichos datos se identifican las características que se asocian a un mal comportamiento sísmico y se califica la gravedad de cada una de ellas.

El procedimiento de evaluación consiste en asignar una calificación a cada uno de cinco índices que representan los aspectos más relevantes que afectan la seguridad sísmica de una construcción. Los índices propuestos son los siguientes:

- I. Estructuración en planta. Considera la distribución y rigidez de los elementos estructurales, así como las características de la forma en planta del edificio.
- II. Estructuración en elevación. Considera las características en elevación del sistema estructural, incluyendo la relación de esbeltez.
- III. Cimentación. Identifica los distintos problemas de las deformaciones de la cimentación que inciden en la estabilidad de la estructura.
- IV. Ubicación. Toma en cuenta la situación geográfica del inmueble dentro de la ciudad, así como su interacción con los edificios colindantes.
- V. Deterioro. Refleja el grado en que la capacidad sísmica ha sido afectada por sismos previos, por la edad o por un mantenimiento deficiente.

Cada índice se califica en tres niveles que se asocian a los términos bajo, intermedio y alto, según la importancia del problema. A la calificación de cada índice se le asigna un valor numérico. La suma de las calificaciones correspondientes a los cinco índices define el nivel de seguridad sísmica "S", del cual depende la necesidad de proceder a un nivel superior de evaluación.

Estructuración en planta

El aspecto principal por identificar es la asimetría en la disposición y rigidez de los elementos estructurales y de los supuestamente no estructurales que puedan contribuir a la rigidez, lo que da lugar a efectos de torsión significativos. Además, la forma irregular de la planta, así como la proporción excesiva de largo a corto y la presencia de huecos de grandes dimensiones y en posición asimétrica, también resultan perjudiciales.

La torsión puede calificarse alto cuando da lugar a una excentricidad de más de 20% de la dimensión de la planta en la dirección de la excentricidad. Pueden considerarse en este caso los edificios en esquina, con una o dos colindancias con marcos rellenos por muros de mampostería, sin que existan elementos que compensen su rigidez.

También los que tengan un cubo rígido de elevadores y escaleras en posición en exceso asimétrica.

La presencia de entrantes y salientes, especialmente en posición asimétrica, puede calificarse alto si excede del 30% del área total en planta.

En cuanto a la relación de lado largo a corto, ésta se considerará intermedia cuando sea mayor que 3.

La existencia simultánea de más de uno de los problemas descritos anteriormente deberá tenerse en cuenta de manera aditiva en la calificación, sin que ésta exceda la de: alto.

Estructuración en elevación

En este índice se incluyen factores de distinta naturaleza asociados a las características del edificio en elevación.

La relación de la altura a la dimensión menor de la base es un índice de la esbeltez de la estructura que se califica intermedio cuando es mayor que 2.5.

Adicionalmente, la discontinuidad en geometría, rigidez y resistencia, puede calificarse alto cuando se presente una variación de estas características mayor a 30% en entrepisos consecutivos.

Otros factores dignos de tenerse en cuenta en la evaluación son: la doble altura de planta baja y la presencia de columnas cortas, que deben penalizarse, así como la abundancia de muros divisorios en todos los pisos, distribuidos en forma simétrica, que deberá mejorar la calificación de este índice.

Cimentación

Existen tres tipos de mal comportamiento que inciden en la seguridad ante sismo: el desplome; los asentamientos diferenciales y la emersión o el hundimiento uniformes.

El desplome se calificará alto cuando exceda de 2% de la altura total del edificio.

Con respecto a los hundimientos diferenciales, se calificará alto una diferencia de nivel entre las bases de columnas contiguas igual o mayor que 0.8% de la distancia entre las mismas.

Para el hundimiento o emersión se sugiere considerar alto un valor de 40 cm o mayor.

Ubicación

Uno de los factores a evaluar en este punto es la ubicación dentro de una zona de alta sismicidad. En el caso de la ciudad de México las zonas de alta sismicidad están definidas por el mapa de la zonificación sísmica del reglamento de construcciones (Ref. 5). El otro factor es la colindancia con edificios con los cuales pueda haber golpeteo durante el sismo. Se considera peligroso que existan edificios colindantes a una separación menor que 0.006, 0.007 y 0.008 de la altura del más bajo, en las zonas de suelo duro (lomas), intermedio (transición) y comprensible (lago) de la ciudad de México, respectivamente, en especial si las alturas de los inmuebles son diferentes y no hay coincidencia en los niveles de las losas.

Se sugiere que cuando se presente una de las dos situaciones mencionadas el índice se califique como intermedio y cuando se presenten las dos se defina como alto.

Deterioro

El punto dominante en este índice es la detección de daños por sismos previos. Se excluyen aquellos casos en que se observen daños estructurales que obliguen a una reparación inmediata.

Si existe evidencia de que el edificio ha sufrido daños en elementos no estructurales únicamente, se asignará una calificación de intermedio.

Si no ha habido daños estructurales causados por sismos anteriores, se calificará como alto si sólo se ha efectuado una reparación local, o intermedio si la reparación fue mayor.

También interviene la degradación general de la construcción por efectos ajenos al sismos. La Calificación se aumentará en un nivel si el inmueble tiene más de 30 años de edad, o bien se observan evidencias de mantenimiento deficiente que afecte los elementos estructurales, como humedades o desprendimiento y deterioro de los materiales.

Evaluación del nivel de seguridad

A la calificación de cada uno de los índices que intervienen en la evaluación se le asigna una equivalencia numérica "C" de acuerdo con la siguiente convención:

Alto : C = 2
Intermedio : C = 1
Bajo : C = 0

El nivel de seguridad será la suma de las calificaciones correspondientes a los cinco índices:

$$S = \sum C_i$$

Para clasificar a los edificios según su nivel de seguridad sísmica, se distinguen las construcciones del grupo A, con alta concentración de personas o de gran importancia, de las del grupo B, siguiendo los criterios del RDF.

La clasificación comprende tres categorías para el nivel de seguridad:

Categoría	Nivel de Seguridad	
	Grupo A	Grupo B
1	- - - -	0 a 3
2	0 a 5	4 a 7
3	6 a 10	8 a 10

Se considerará que el nivel es adecuado cuando corresponda a la categoría 1. Si cae dentro de la categoría 2, será necesario proceder a realizar una evaluación adicional con el NIVEL No 2. En aquellos casos en que el nivel de seguridad se encuentre en la categoría 3, deberá efectuarse directamente una evaluación detallada (NIVEL No 3) que defina si es o no necesario un proyecto de refuerzo.

Debe subrayarse que el procedimiento de evaluación que aquí se presenta constituye una herramienta para guiar el criterio del evaluador, quien finalmente deberá proceder con base en la apreciación de cada caso en particular. Esto implica, por ejemplo, la posibilidad de ubicar una estructura en la categoría 3, aun por causa de un solo índice, si los problemas asociados a éste se manifiestan en forma exagerada.

EVALUACION NIVEL No 2

Este nivel de evaluación se basa en el procedimiento desarrollado en la Universidad Autónoma Metropolitana (Refs. 1 y 2) para la evaluación simplificada de la capacidad sísmica de edificios de concreto de mediana altura.

La información complementaria que se necesita requiere de una inspección más detallada que la correspondiente al NIVEL No 1, con más énfasis en la detección de posibles daños ocultos o de reparaciones previas, pero sobre todo, que incluya las dimensiones de los claros, las alturas de entrepiso y las secciones de todos los elementos de sustentación (columnas y muros) en cada planta.

El "Método Simplificado de Evaluación" permite determinar el coeficiente de resistencia del edificio "K". Este valor se compara con el nivel de intensidad "KS" correspondiente a la zona en que se ubica el inmueble según la zonificación sísmica de la ciudad, y así se determina su nivel de seguridad.

La clasificación de la estructura correspondiente a este nivel de evaluación permite definir si el nivel de seguridad es adecuado o si es necesario proceder a una evaluación detallada (nivel No. 3) que aclare la posible necesidad de un proyecto de refuerzo. Es importante subrayar que la aplicación del "Método Simplificado" a edificios con más de 10 niveles o con un comportamiento en el que domine la flexión, aunque puede seguir proporcionando un parámetro indicativo de la capacidad sísmica del inmueble, carece de la precisión necesaria para utilizarse como único elemento de juicio.

Método simplificado de evaluación

Este procedimiento de evaluación es una adaptación de los métodos simplificados utilizados en Japón (Ref. 6). Se basa en la consideración de que, para la condición de falla, el cociente de la fuerza cortante resistente entre la fuerza cortante actuante en un entrepiso determinado es igual a la unidad:

$$\frac{V_{Ri} S_i}{K_i A_i W} = 1 \quad (1)$$

V_{Ri} = fuerza cortante resistente en el entrepiso i

debido a sus diferentes rigideces. Por otra parte, en la figura 2 se puede apreciar que no necesariamente se alcanza la resistencia máxima del edificio cuando fallan los elementos más rígidos en el punto A, por lo cual es necesario analizar los otros modos de falla, B y C, cuidando siempre que antes no se pierda la estabilidad de la estructura. Esto implica, en algunos casos, la necesidad de analizar hasta tres posibles modos de falla para determinar el coeficiente de resistencia. Los valores de α_i contenidos en la tabla 3 consideran conservadoramente que la contribución de los elementos fallados desaparece por completo.

La resistencia de los elementos estructurales se obtiene de multiplicar las áreas netas de sus secciones por los esfuerzos resistentes correspondientes:

$$V_i = v_i A_i \quad (4)$$

v_i = esfuerzo resistente al corte de los elementos tipo i
 A_i = área total de elementos tipo i en la dirección considerada

Los valores propuestos para los esfuerzos resistentes se han obtenido del estudio de elementos estructurales típicos, pertenecientes a diversas estructuras existentes de la ciudad de México (Ref. 1). Dichos valores son:

- Muros de mampostería $v_m = 1.5 \text{ kg/cm}^2$
- Columnas cortas $H/h \leq 2$ $v_{cc} = 15 \text{ kg/cm}^2$
- Muros de concreto (figura 3):
 - con columnas en los extremos $v_M = 20 \text{ kg/cm}^2$
 - con una columna de extremo $v_M = 16 \text{ kg/cm}^2$
 - sin columnas en los extremos $v_M = 12 \text{ kg/cm}^2$
- Columnas:
 - $2 < H/h \leq 6$ $v_c = 10 \text{ kg/cm}^2$
 - $6 < H/h \leq 10$ $v_c = 7 \text{ kg/cm}^2$
 - $10 < H/h$ $v_c = 5 \text{ kg/cm}^2$

H/h : relación entre la altura no restringida de la columna y su peralte total (figura 4).

Factor de corrección

El factor de corrección toma en cuenta los problemas derivados de la concepción estructural del edificio, del comportamiento de su cimentación y del deterioro que presenta. El valor del factor de corrección "Si" para un entrepiso determinado se calcula como el producto de los factores correspondientes a cinco índices de los problemas antes mencionados:

$$S_i = q_1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \times q_5 \quad (5)$$

q_i : factor de corrección del índice i

Los índices son los mismos que se manejan en el NIVEL No 1 y su definición se expuso anteriormente. El factor de corrección de cada índice se define por la calificación asociada, que puede ser: alto (0.8), intermedio (0.9) o bajo (1.0). Los criterios de calificación correspondientes a este nivel de evaluación se presentan resumidos en la tabla 4. La existencia de más de un problema asociado a un mismo índice en ningún caso deberá conducir a valores de q_i inferiores a 0.8.

Es importante hacer notar lo esencial que resulta el criterio del evaluador al asignar los factores de corrección a una estructura específica. Al hacerlo, deberá siempre considerar la repercusión que un problema determinado puede llegar a representar para la seguridad global de la estructura, restándole peso a problemas de efecto local.

Fuerza cortante actuante

Para calcular la distribución de la fuerza cortante actuante se utilizan las hipótesis del método de análisis estático propuesto en el RDF:

$$V_{Ai} = FC \sum_{j=i}^n \frac{w_j h_j}{\sum_{j=i}^n w_j h_j} W \quad (6)$$

V_{Ai} : fuerza cortante actuante en el entrepiso i
 n : número de pisos
 w_j : peso del piso j
 h_j : altura del piso j desde el nivel del terreno
 FC : factor de carga = 1.1
 W : peso total de la estructura

Evaluación del nivel de seguridad

Una vez calculado el coeficiente de resistencia "K" del edificio, es preciso determinar el nivel de intensidad "KS" correspondiente a la

zona donde se ubique, de acuerdo con la zonificación sísmica de la ciudad y del grupo A o B a que pertenezca. Para la ciudad de México se recomiendan los siguientes valores:

Valores de KS		
Grupo A	Grupo B	
0.200	0.133	en las zonas de alta sismicidad
0.150	0.100	en el resto de la zona de suelo blando (lago)

La comparación de "K" con "KS" permite clasificar el nivel de seguridad del inmueble conforme a dos categorías:

Categoría	Coefficiente de resistencia
1	$K \geq KS$
2	$K < KS$

Se considerará que el nivel de seguridad es adecuado en aquellas estructuras cuyo coeficiente de resistencia las ubique en la categoría 1. En los casos en que el nivel de seguridad se encuentre en la categoría 2, deberá efectuarse una evaluación detallada (NIVEL No 3) que defina si es o no necesario un proyecto de refuerzo.

EVALUACION DETALIADA (NIVEL No 3)

Los dos primeros niveles de evaluación están orientados a efectuar la revisión masiva de edificios mediante procedimientos simplificados, pero rápidos y económicos, que permitan distinguir aquellos casos, menos numerosos, en que sea necesario proceder a una evaluación detallada.

Por evaluación detallada se entiende aquella que determina la capacidad sísmica del edificio siguiendo los procedimientos de análisis y revisión que marca el reglamento de construcciones; el RDC y sus normas técnicas complementarias en el caso de la ciudad de México.

El resultado de esta evaluación puede conducir finalmente a la elaboración de un proyecto para el refuerzo de la estructura.

Información complementaria

Para realizar la evaluación detallada de un edificio se necesita contar con información adicional sobre el diseño original de la estructura, su proceso de construcción y el uso y adaptaciones que

haya tenido durante su vida útil. Esta información se puede agrupar en los siguientes conceptos:

- a) Planos estructurales
- b) Planos arquitectónicos
- c) Memorias de cálculo
- d) Estudio de mecánica de suelos
- f) Normas de diseño utilizadas
- g) Bitácora de la construcción
- h) Informes del control de calidad de los materiales
- i) Uso actual de la estructura
- j) Remodelaciones o reparaciones previas

Cuando no se tenga disponible la información anterior, sobre todo la correspondiente a los puntos a, b, c y e, será necesario reconstruirla a partir de la propia estructura. Para tal fin, se puede hacer uso de los métodos de verificación que se describen más adelante.

Verificación de la información

Es indispensable verificar la validez de la información disponible, pues tanto la estructura como las propiedades de los materiales de una construcción pueden haber sufrido cambios con el tiempo, o bien, cabe la posibilidad de que no se hayan cumplido las especificaciones del proyecto desde un principio.

Los principales conceptos que requieren ser verificados son los siguientes:

- a) Planos estructurales, arquitectónicos y de instalación. Deberá revisarse la coincidencia entre los planos y la estructura en cuanto a:
 - Existencia y ubicación de los elementos estructurales
 - Dimensiones y armado de los elementos estructurales
 - Existencia, ubicación y tipo de los elementos divisorios
 - Tipos de acabados y elementos de fachada
 - Rellenos en azoteas
 - Uso actual de la estructura
 - Existencia y ubicación de ductos

Para la localización del refuerzo o de los ductos de acero en elementos de concreto, así como para la verificación de sus dimensiones, se puede recurrir a los sistemas electromagnéticos (Ref. 7) del tipo del R-METER. Estos sistemas utilizan un instrumento que genera un campo electromagnético que registra las alteraciones que éste sufre en presencia de cualquier

objeto que contenga hierro. Además de detectar la posición del refuerzo en elementos de concreto, este procedimiento permite determinar el diámetro de las barras cuando se conoce su recubrimiento.

b) Características de los materiales. Para verificar las características de los materiales se puede hacer uso de las siguientes alternativas:

- Extracción de corazones (Ref. 7). La extracción y prueba de corazones permite estimar la resistencia del concreto en la estructura y su módulo de elasticidad con bastante precisión.
- Equipo de ultrasonido (Ref. 7). Este sistema de verificación se basa en el uso de un instrumento que registra la velocidad de un pulso ultrasónico a través del concreto, que depende de la densidad del mismo. Con esta técnica se puede estimar la resistencia del concreto, su módulo de elasticidad y su estado de agrietamiento.
- Esclerómetro (Ref. 7). El esclerómetro es un dispositivo que mide el rebote de un sistema masa-resorte contra la superficie de un elemento de concreto. Con base en relaciones empíricas se puede estimar la resistencia del concreto en función de la lectura del índice de rebote.
- Extracción y prueba de barras. Para verificar la calidad del acero empleado se puede recurrir a la extracción de algunas muestras y a su prueba estándar a tensión.

Resulta recomendable combinar la extracción selectiva de corazones con un muestreo generalizado con el esclerómetro. El ultrasonido es útil sobre todo para determinar la importancia del agrietamiento.

c) Nivelación y mecánica de suelos. Cuando se tengan indicios de desplomes o hundimientos será necesario efectuar una nivelación general de la estructura e incluso se deberán hacer nuevos sondeos y pruebas de laboratorio para verificar las características del subsuelo. Es recomendable elaborar un perfil del edificio con su altura, y realizar nivelaciones periódicas hasta cerciorarse de que ya no hay movimientos significativos.

Evaluación del nivel de seguridad

Para poder evaluar el nivel de seguridad de un edificio es necesario

determinar su capacidad sismo-resistente, con base en la comprensión de su comportamiento ante las acciones sísmicas, y compararla con los requerimientos del Reglamento de Construcciones. Para este fin puede recurrirse al análisis elástico, de preferencia con alguna herramienta de cómputo que permita trabajar tridimensionalmente (Ref. 8), con objeto de hallar la ubicación de los elementos más críticos que serán los que definan la capacidad resistente de la estructura. Para el cálculo de las fuerzas sísmicas resulta recomendable recurrir al análisis dinámico modal con base en el espectro de diseño del reglamento.

Debe subrayarse la importancia de identificar los problemas conceptuales que pueda tener la estructura, algunos de los cuales no son de fácil detección con los modelos matemáticos convencionales. Cualquier alternativa de refuerzo deberá considerar en primer lugar la corrección de estos problemas si los hubiera. Los más comunes suelen ser los siguientes:

- Excentricidad excesiva por una distribución inadecuada de la rigidez en planta
- Cambios abruptos de rigidez y estructuración en elevación
- Separación en las colindancias escasa o nula
- Columnas cortas debidas a muros de altura incompleta
- Conexiones excéntricas viga-columna

Si el estudio concluye que la capacidad de la estructura no cumple con las normas vigentes, entonces será necesario estudiar diferentes alternativas de refuerzo (Ref. 7). La solución definitiva será aquella que logre conciliar en cada caso las limitaciones de costo, funcionamiento, espacio, estética, importancia social y dificultad técnica.

RESULTADOS

A la fecha se ha estado trabajando simultáneamente en las tres delegaciones que resultaron más afectadas por los sismos de 1985: Cuauhtemoc, Benito Juárez y Coyoacán. Se ha terminado ya el censo de inmuebles en las tres y actualmente se está procediendo a efectuar las evaluaciones de NIVEL No 1 y NIVEL No 2 de los grupos de alta concentración y más de cinco niveles. En la figura 5 se muestra el estado de avance de estos trabajos en la Delegación Cuauhtemoc con los edificios de más de cuatro pisos. En ella se han eliminado las estructuras del grupo A de la jerarquización por uso y niveles, porque la evaluación de este tipo de estructuras ha quedado enteramente a cargo de los propietarios, asimismo, antes de proceder con la evaluación de NIVEL No 1 se han eliminado aquellos inmuebles que por algún motivo se hallaba ya bajo seguimiento por parte de la Coordinación de Control de Edificaciones.

RECONOCIMIENTO

La metodología presentada en este trabajo para la evaluación de estructuras de concreto de mediana altura es resultado de la experiencia del autor como jefe del Area de Estructuras de la UAM Azcapotzalco y como asesor de la Coordinación del Control de Edificaciones del Departamento del Distrito Federal, instituciones a las que agradece profundamente el apoyo recibido.

BIBLIOGRAFIA

1. Iglesias, J., et al "Estudio de las intensidades del sismo del 19 de septiembre en la ciudad de México". Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Departamento de Materiales, junio, 1987.
2. Iglesias, J., et al, "Intensidad del sismo de 1985 en la ciudad de México". Revista IMCYC, No. 193, Vol. 25, junio, 1987.
3. Noreña, F. y Castañeda, C. "Evaluación de la capacidad sísmica de edificios en la ciudad de México". VI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Puebla, México, Marzo, 1988.
4. "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal". Diario Oficial, Tomo CDVI, No. 3, México, D.F., 3 de julio de 1987.
5. "Normas técnicas complementarias para diseño por sismo". Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, Quinta época, No. 38, noviembre, 1987.
6. "Standard for evaluation of seismic capacity of existing reinforced concrete buildings." Japan Building Disaster Prevention Association, 1977.
7. Iglesias, J. et al, "Reparación de estructuras de concreto y mampostería". Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Departamento de Materiales, noviembre de 1985.
8. Maison, B. and Neuss, C. "SUPER-ETABS, a Report to the National Science Foundation". J.C. Bowkamp Inc., January, 1983.

TABLA - 1
Edificios dañados por los sismos de 1985 en la
Delegación Cuauhtémoc (ref. 3)

Niveles	Edif. c/daño grave		Total edif. D. Cuauh.	% c/daño grave D. Cuauh.
	total D.F	D. Cuauh.		
0	0	0	1 275	0.00
1-2	1 160	617	30 299	2.00
3-5	577	342	11 975	2.86
6-8	268	206	1 439	14.32
9-12	215	168	456	36.84
>12	83	64	181	35.36
Totales	2 303	1 397	45 625	

TABLA-2
Usos de los edificios danados por los sismos de 1985 en la
Delegacion Cuauhtémoc (ref.3)

Uso	Edif. c/daño grave D. Cuauhtémoc	Total edif. D. Cuauh.	% c/daño grave D. Cuauh.
salud	94	389	24.16
oficinas	265	2 333	11.36
educación	51	619	8.24
residencial	833	30 887	2.70
recreativos	3	138	2.17
economía	138	6 756	2.04
turísticos	7	837	0.84
s/uso	6	2 832	0.21
servicios	0	108	0.00
otros	0	726	0.00
Totales	1 397	45 625	

Tabla-3
Factores de participación

	α_1	α_2	α_3
A	1.0	0.7	0.5
B	0.0	1.0	0.7
C	0.0	0.0	1.0

Tabla-5
Clasificación de daños causados por sismo

Tipo de daño	Descripción
No estructural	Daños únicamente en elementos no estructurales.
Estructural ligero	Grietas de menos de 0.5 mm. de ancho en elementos de concreto. Grietas de menos de 3mm. de ancho en muros de mampostería.
Estructural fuerte	Grietas de menos de 0.5 mm. de ancho en elementos de concreto. Grietas de 3mm. a 10mm. de ancho en muros de mampostería.
Estructural grave	Grietas de más de 1mm. de ancho en elementos de concreto. Aberturas en muros de mampostería. Desprendimiento del recubrimiento en columnas. Aplastamiento del concreto, rotura de estribos y pandeo del refuerzo en vigas, columnas y muros de concreto. Agrietamiento de capiteles. Desplomes en columnas. Desplome del edificio de más de 2% de su altura. Hundimiento o emersión de más de 40cm.

Tabla-4
Factores de corrección.

Concepto	q _i		
	0.80	0.90	1.0
I Estructuración en planta q1	e/B > 20% DA > 30%	10% < e/B ≤ 20% 10% < DA ≤ 30% L/I > 3	e/B ≤ 10% DA ≤ 10% L/I ≤ 3
II Estructuración en Elevación q2	DA > 30%	10% < DA ≤ 30% PB flexible	DA ≤ 10%
III Cimentación q3	d > 2% h > 40 hD/1 .008	1% < d ≤ 2% 20 < h ≤ 40 .004 h D/1 ≤ .008	d ≤ 1% h ≤ 20 hD/1 ≤ .004
IV Ubicación q4	s/H < sr	sr ≤ s/H < 2sr	s/H ≥ 2sr
V Deterioro q5	> 30 años Daño fuerte Reparación menor	10 a 30 años Daño ligero Reparación mayor	< 10 años Daño no estructural

- I** e/B es la relación entre la excentricidad y la dimensión de la planta en dirección de la excentricidad
DA es el área de entrantes o salientes como % del total
L/I es la relación de lado largo a corto.
- II** DA representa los cambios en % del área de la planta o del área de elementos estructurales (columnas y muros)
- III** d es la pendiente del desplome
h es el hundimiento en cm.
hD/1 es el hundimiento diferencial entre columnas vecinas
- IV** s/H es la relación entre la separación de edificios colindantes y la altura del menor
sr se tomará como .008, .007 y .006 para zona de lago, transición y lomas respectivamente.
- V** El criterio de clasificación del daño causado por sismo es el de la tabla - 5
Reparación mayor es la que persigue la rigidización y reestructuración del edificio original.

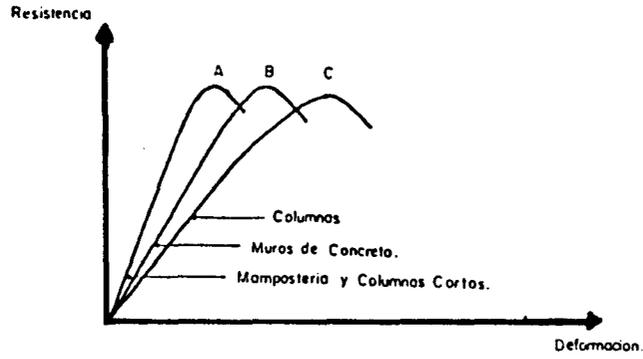


FIGURA 2 Curvas resistencia-deformación para distintos elementos estructurales.

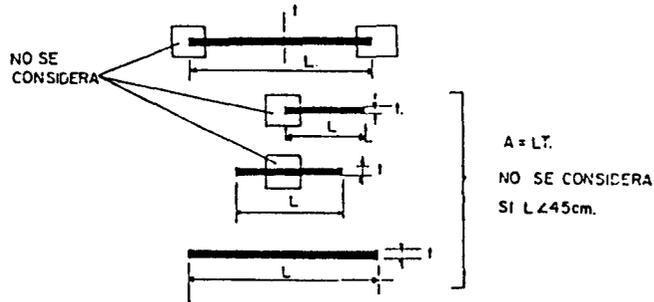


FIGURA 3 Determinación de la sección de muros de concreto.

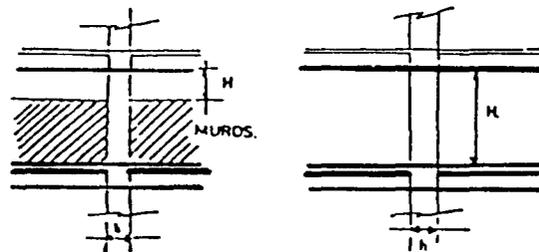


FIGURA 4 Altura no restringida de columnas

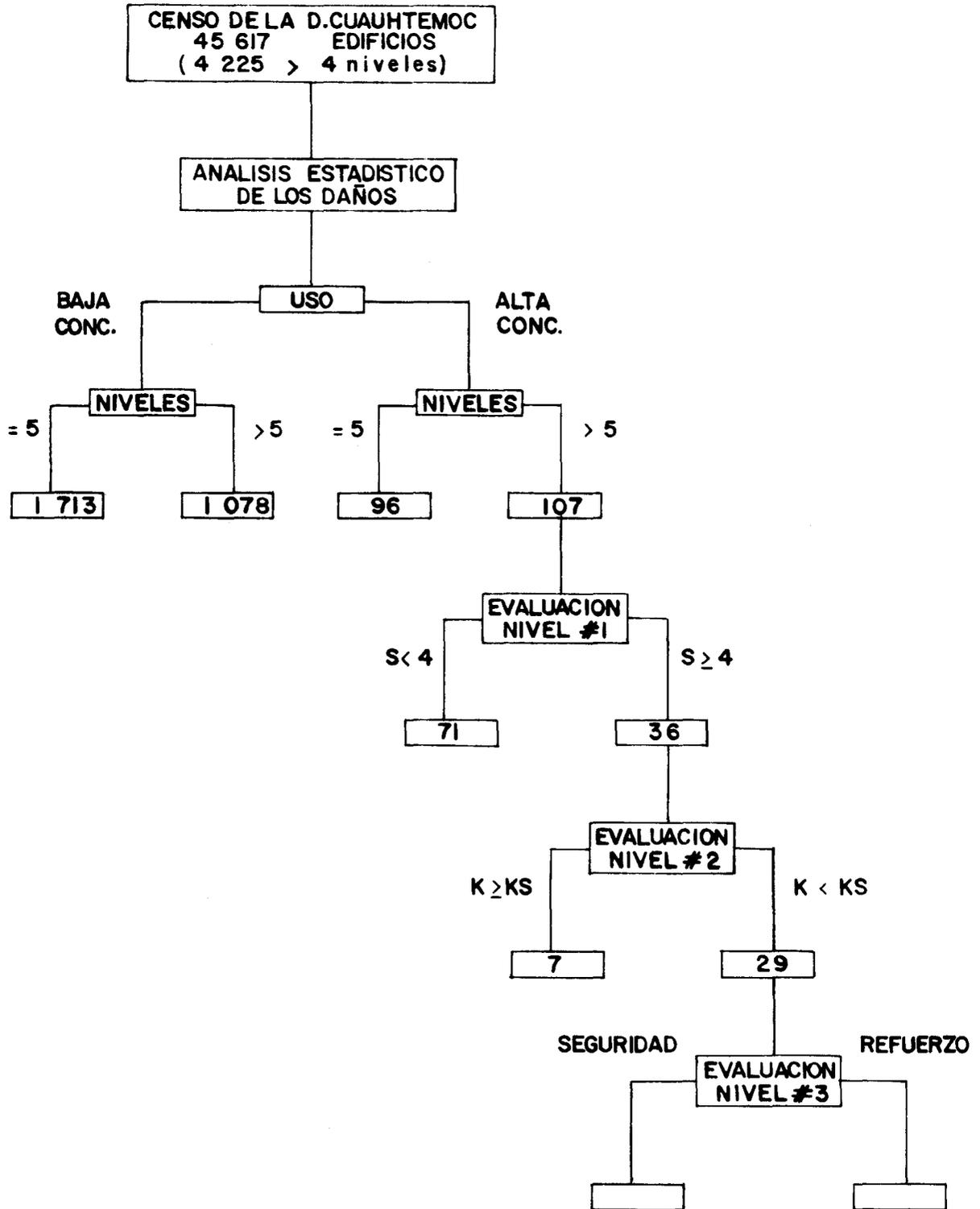


FIGURA 5 Evaluación de la capacidad sísmica de los edificios de la Delegación Cuauhtémoc.

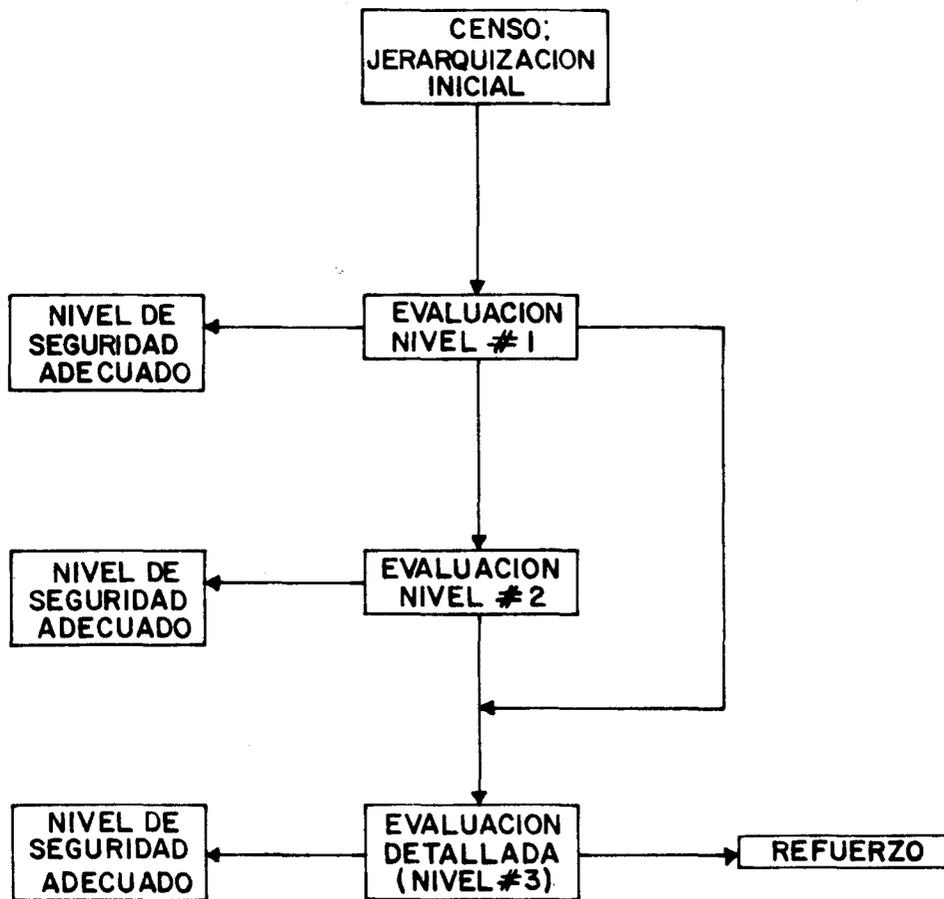


FIGURA - 1 Metodología para la evaluación de la capacidad sísmica de edificios.