

ANEXO #5

**MÉTODOS CUALITATIVOS, CUANTITATIVOS Y EXPERIMENTALES
PARA EVALUACIÓN RÁPIDA DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL**

ANEXO 5

METODOS APROXIMADOS DE ANALISIS DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

A nivel mundial se encuentran detallados distintos métodos para evaluación de vulnerabilidad sísmica de diversas estructuras construidas y algunos que en especial se refieren a edificaciones esenciales tales como un hospital.

De una manera general se pueden clasificar en tres grupos:

- .- Cualitativos
- .- Analíticos
- .- Experimentales

a.- Métodos Cualitativos

Se caracterizan por:

- **Son** métodos de evaluación rápida y sencilla.
- Sirven para edificaciones diversas.
- Seleccionan algunas edificaciones que necesitan un análisis **más** detallado.
- Se usan para una evaluación masiva de edificios con fines de cuantificación de riesgo sísmico.
- A algunos de estos métodos se los deben considerar como un primer nivel de evaluación, para en base de ellos proseguir con un primer nivel de evaluación analítica.

Entre estos métodos de encuentran:

- El método del Ministerio de Construcción del Japón.
- El método de evaluación diseñado por J. Iglesias "Evaluación de la capacidad sísmica de edificios en la ciudad de México" México, Secretaria de Obras.
- El método ATC-21 cuya referencia es:
Applied Technology Council" Radio Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook (Report ATC-21) Redwood City, California, 1988 (FENA Report 154, July 1988)
- Estos métodos son eminentemente cualitativos en los que la construcción recibe una calificación determinada de acuerdo a aspectos tales como:
 - Su estudio de conservación o vetustez.
 - Su grado de irregularidad en planta o en altura.
 - Dependiendo del método algunos ameritan de cálculos de oficina al respecto de ciertas variables.
- En el caso de edificaciones hospitalarias no se recomiendan usar estos métodos, ya que su importancia demandan se realicen métodos de evaluación mas analíticos y experimentales.

b.- **Métodos** Analíticos

- Diferencian el material constituyente de la estructura ya que su objetivo es predecir su posible comportamiento, es así como **se** diferencian métodos de evaluación de estructuras de concreto reforzado, mampostería, mampostería confinada etc.
- Son métodos que en base a evaluaciones aproximadas estiman esfuerzos y deformaciones.
- Entre estos métodos se pueden mencionar los siguientes:

b-1.- **Método** del Ministerio de Construcción del Japón. (Niveles 2 y 3)

- Este método se encuentra publicado en las siguientes referencias:
 - Hirosawa, M. "Evaluacion of Seismic Safety and Guidelines on Seismic Retrofitting Design of Existing Reinforced Concrete Buildings" (VI Seminario para Ingenieros Estructurales sobre Sismología e Ingeniería para Terremotos, Tokyo **1976**). **1988**
 - Organización Panamericana para la Salud, Análisis de

Riesgo en el Diseño de Hospitales en Zonas Sísmicas.

(Varios Artículos) Washington D.C. 1989.

- Este método comprende tres niveles de análisis de evaluación que **van** de lo simplemente cualitativo a lo analítico mas detallado.
- Califica el comportamiento sísmico piso a piso de una estructura, en base a revisar las siguientes variables.
 - (C) Resistencia de los elementos verticales, columnas o diafragmas de concreto.
 - **(F)** Capacidad de ductilidad de los elementos verticales.
 - (T) Estado de la edificación y su comportamiento ante sismos anteriores.
 - (Sd) Influencia de la forma, la asimetría, concentraciones de masa y rigidez, aberturas en diafragmas etc.
 - (G) Influencia de condiciones topográficas y geotécnicas.
- Los índices (C) y **(F)** son combinados en un máximo de tres grupos por piso a través del índice **(E)**.

$$(E) = (C) \cdot (F)$$

- Los índices (E) de un piso son promediados de manera probabilística para obtener un índice (E) único por cada piso, por medio de la suma de los cuadrados.
- Se asocian grupos de comportamiento dúctil formados de acuerdo al factor de ductilidad característico.
- Para cada grupo se obtiene a continuación los índices (T), (Sd) y finalmente el índice (Fs).

$$(I_s) = (E) \cdot (S_d) \cdot (G) \cdot (T)$$

- Los índices (Is) mayores que un valor de referencia (Iso), según este método, asegura un comportamiento adecuado del piso.

Este valor (Iso) se calcula como:

$$(I_{so}) = (I_o) + (E_s) \cdot (Z) \cdot (G) \cdot (U)$$

Expresión donde:

(Es) = Valor básico de comportamiento sísmico relacionado solo con el **método** de evaluación.

(Z) = factor de zona sísmica, tomado en relación con la amenaza probable en la zona, con valor máximo de 1.

(U) = factor de importancia de la construcción para la recuperación después de un terremoto.

El método dispone de tres niveles de evaluación, de los cuales el

primero es el comentado arriba. Para la aplicación del segundo es necesario tener el conocimiento de las armaduras de los elementos verticales, y el tercero, la pertinente además de las vigas. La característica más importante de este método es que confiere mayor importancia al análisis de resistencia que al de los esfuerzos internos que eventualmente podrían presentar un sismo dado en los elementos de la estructura. Puede decirse que para la aplicación de este método no es necesario en general realizar un análisis detallado de dichos esfuerzos internos. Además, el método confiere gran importancia al establecimiento de los mecanismos de falla y disipación de energía de los elementos, los cuales resultan clasificados en diversos grupos de acuerdo a su comportamiento y tipo de falla. Para este análisis, se parte de la evaluación del factor de capacidad de ductilidad m de cada elemento dado por:

$$m = m_0 - k_1 - k_2$$

$$m_0 = 10 \cdot ((V_n/Q_n) - 1)$$

Donde:

V_n = Resistencia nominal a cortante de los soportes verticales. En el caso de columnas **se** calcula teniendo **en** cuenta la carga axial del elemento.

Q_n = Resistencia a cortante suministrada por la plastificación de los elementos de la columna, es decir,

$$Q_n = 2 \cdot M_n/L$$

Siendo:

M_n = La resistencia nominal a flexión del elemento.

L = Longitud del elemento.

k_1, k_2 = Factores que conciernen al posible pandeo de las barras de refuerzo y al nivel de esfuerzos cortantes.

A partir del cálculo de Q_n se puede establecer fácilmente el modo posible de falla de cada elemento, de suerte que los valores de $Q_n < V_n$ arrojan fallas de flexión y al contrario, fallas de cortante, es decir, frágiles.

Una vez realizada esta evaluación, cada tipo de elemento se subdivide en un máximo de tres grupos, de acuerdo a valores representativos de m , y se obtienen los índices de C y F respectivos, de lo cual resulta un índice común **E**, que califica conjuntamente la resistencia y la ductilidad disponible en la estructura.

b-2.- Métodos Norteamericanos (ATC)

- Estos métodos se encuentran explicados y desarrollados en las siguientes referencias:

Applied Technology Council, Evaluating the Seismic Resistence of Existing Buildings (Report ATC-14).
Redwood City, California. 1987. Applied Technology Council, A Handbook for Seismic Evaluation of Existing

Buildings (Preliminary Report ATC-22) Redwood City, California. 1989 Applied Technology Council, Seismic Evaluation of Existing Buildings: Supporting Documentations (Report ATC-22-1). Redwood City, California. 1989.

- Son métodos que proponen una revisión simplificada de la estructura por medio de evaluaciones aproximadas para la estimación de esfuerzos y deformaciones de la estructura.
- El método de **ATC-14** está elaborado en relación con la filosofía de diseño de estructuras de hormigón armado de esfuerzos de trabajo del código SEAOC.
- El método de **ATC-22** en cambio se relaciona con la filosofía de diseño de estructuras de hormigón armado por esfuerzos últimos o límites acordes al **ATC-3**
- En los dos métodos anteriores se pretende manejar adecuadas relaciones, demanda capacidad en base a las cuales calificar la seguridad estructural.
- Estos métodos realizan análisis tendientes a cuantificar en los elementos estructurales esfuerzos internos y relacionarlos con la resistencia de los mismos.

- El objetivo final de estos métodos es la evaluación de la relación, Demanda Sísmica de n Fuerza (De) vrs Capacidad redundante de la misma (Ce).

$$(De)/(Ce) = (Qe)/((Qn) - (Qu))$$

Donde :

(Qe) = Fuerza interna causada solo por la carga sísmica

(Qn) = Resistencia de elemento a la misma

(Qu) = Fuerza interna causada por la fuerza vertical

Estos valores pueden ser ordenados de manera descendente, de suerte que los mayores reflejan aquellos elementos que están en una situación de mayor riesgo de falla.

Sin embargo, el método tiene la grave deficiencia de no disponer de herramientas para evaluar de manera clara la capacidad de ductilidad de la estructura en sus diferentes tipos de elementos y diferentes pisos, como si lo hace el método anterior. En el lugar de ello, clasifica los edificios según un indicativo global de ductilidad de acuerdo a sus sistema estructural, según una tabla un poco más detallada que el código ATC-3.

La experiencia reciente en sismos fuertes y los métodos teóricos de energía muestran, no obstante, diferencias sustanciales en las demandas de ductilidad entre los diferentes pisos de una estructura, y aún entre los diferentes elementos, razón por la cual la calificación global de la capacidad de absorción de energía en todo el edificio por medio de un índice Único es insuficiente.

b-3.- Método de la Energía

- Este método se encuentra ilustrado en la siguiente referencia:

Akiyama, H., Earthquake - Resistant Limit - State Design for Building. Tokyo. 1985

- Este método permite establecer :
 - Pisos débiles de la estructura global.
 - Los elementos estructurales que en dichos pisos tenderían a fallar paso a paso o en primer lugar.
 - Demandas de ductilidad asociadas a la energía absorbida en cada piso.
 - Refleja de manera adecuada la situación probable del edificio en reacción a un sismo fuerte.

c.- Métodos Experimentales

- Son métodos que determinan el comportamiento dinámico de la estructura existente midiendo directamente en sitio las vibraciones constantes que la edificación experimenta ante sollicitaciones de movimiento ambiental tales como viento, vehículos circulando en las calles contiguas al edificio etc.
- Cabe aclarar que dichos métodos experimentales son mas adecuados a utilizar en edificaciones sobre suelos blando, requiriendo hacer aproximaciones en caso de suelos duros.