

CAPITULO II

CAPITULO II : METODOLOGIAS PARA LA EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA.

2.1 GENERALIDADES.

El análisis de riesgo sísmico se basa en la consideración de los terremotos como fenómenos naturales, cuyos efectos destructivos se pueden prevenir y mitigar con la aplicación de la ciencia y la tecnología.

La evaluación del riesgo sísmico en un país es importante para la planificación de recursos humanos y económicos destinados a la prevención y mitigación de daños causados por la ocurrencia de un evento sísmico.

Una definición general de riesgo sísmico es la siguiente:

$$\text{RIESGO SISMICO} = \text{Peligrosidad Sísmica} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Costo}$$

Estadísticamente riesgo sísmico es también la probabilidad de una pérdida durante un período de tiempo definido. En base a la relación anterior se observa que la probabilidad de una pérdida depende de dos factores: primero, que ocurra un movimiento sísmico en el lugar donde se encuentra la estructura; y segundo, que la estructura en mención sufra daños a causa del movimiento.

A la probabilidad de ocurrencia de un movimiento sísmico de intensidad "i" en un período determinado de tiempo, se le llama peligrosidad, y su evaluación depende de factores tales como la sismicidad de la zona y la atenuación de las ondas sísmicas, entre otros. Sobre este parámetro no se puede tener ningún control, pero se puede llegar a conocer mejor cuantificando la sismicidad y atenuación de ondas sísmicas.

La vulnerabilidad es la probabilidad de una pérdida cuando la estructura está sujeta a una intensidad "i". Este parámetro lo puede controlar el ingeniero estructurista adoptando normas antisísmicas.²⁷

Debido a la frecuencia de ocurrencia de sismos en el país, con períodos de retorno entre 20 y 30 años²⁸, la evaluación del riesgo sísmico cobra una gran importancia. Como primer paso para su estudio, es necesario identificar las

²⁷ Boomer, J. Terremotos, urbanización y riesgo sísmico en San Salvador, PRISMA No.18, Julio-Agosto 1996, p.4.

²⁸ Guinea, et al, op. cit., p.29.

zonas y los tipos de estructuras que podrían verse afectados ante la ocurrencia de un evento, posteriormente se deben realizar estudios específicos para su evaluación valiéndose de alguna de las metodologías existentes para tal fin. En este capítulo se describen las ideas básicas de algunas de estas metodologías, así como las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

2.2 ENFOQUES PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.

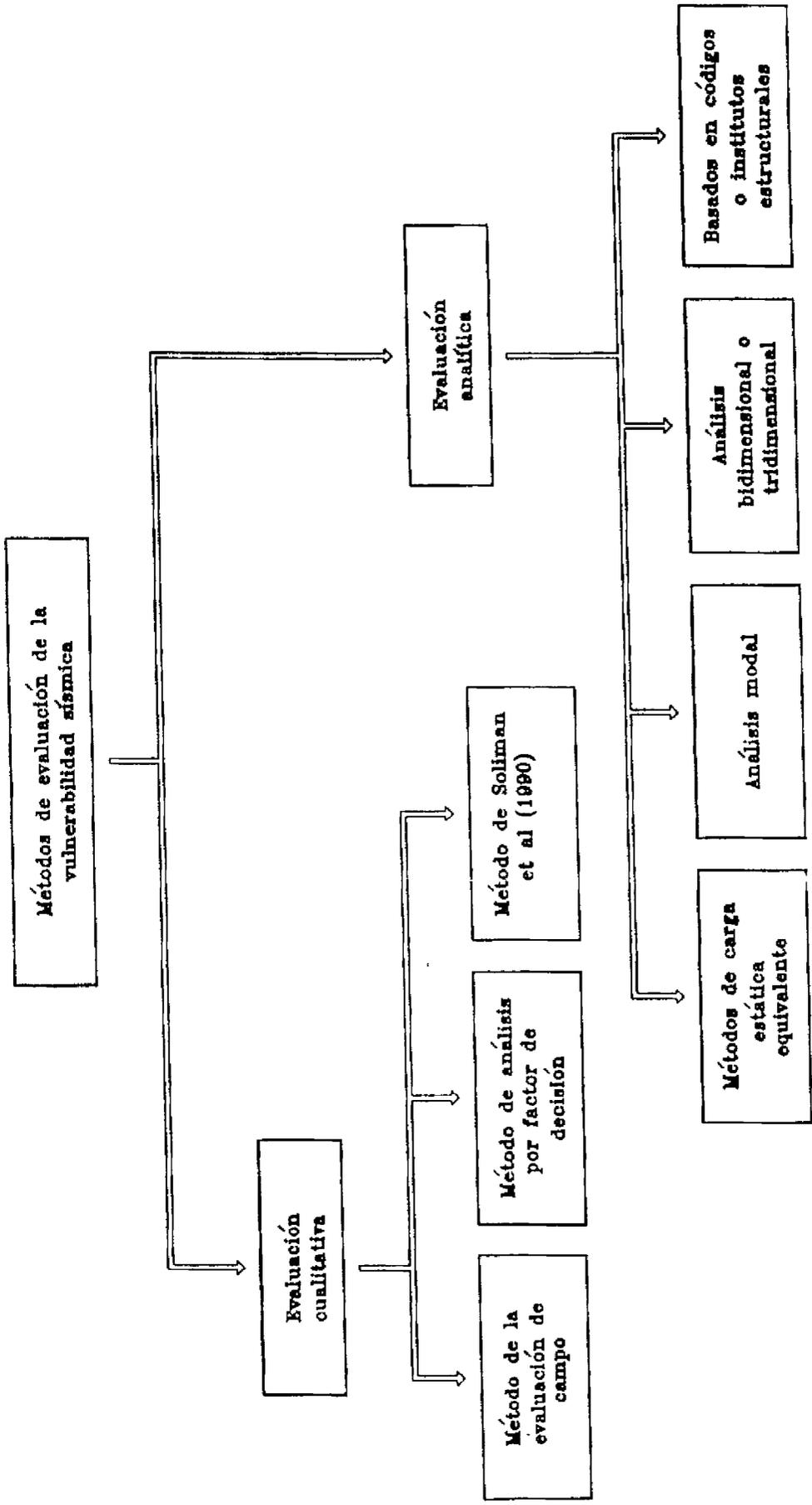
La evaluación de la vulnerabilidad en edificios existentes, se puede efectuar por medio de métodos cualitativos y cuantitativos. Los cualitativos, dependen principalmente del juicio y experiencia del evaluador, utilizando además guías empíricas que son el resultado de los registros abundantes y confiables de datos de daños ocurridos en el pasado. Este tipo de análisis es de mucha utilidad cuando lo que se requiere es conocer la vulnerabilidad de una gran cantidad de estructuras de diferentes tipologías estructurales y para diversos usos; sin embargo en la actualidad, existen también métodos cualitativos aplicables a una estructura particular.

Los métodos cuantitativos o analíticos, se basan en la estimación de las cargas sísmicas a través de métodos de análisis de estructuras. Algunas de estas estimaciones son más detalladas, tales como un análisis dinámico y el modal; mientras otras son más simplificadas, como el de la carga lateral equivalente. Los métodos cuantitativos son aplicables y de utilidad, cuando lo que se desea es conocer la vulnerabilidad de una, o pocas estructuras en particular.

El método de evaluación a utilizar, se escoge de acuerdo a los propósitos de la misma y, tomando en cuenta las condiciones e importancia de la estructura a evaluar. La figura 2.1 presenta algunos métodos utilizados para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificios de concreto reforzado ya existentes.

2.3 METODOS ANALITICOS.

La mayoría de metodologías propuestas para una evaluación analítica de la vulnerabilidad sísmica, se basan principalmente en dos aspectos: métodos de análisis dinámico, tales como la carga lateral equivalente y el análisis modal, y normas especiales propuestas por códigos o institutos dedicados al diseño estructural.



FUENTE : Soliman et al., Metodología para la evaluación de riesgo sísmico en estructuras de concreto, Imperial College and University of Cairo, 1990, p. 10.

Figura. 2.1 Métodos usados para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios de concreto reforzado existentes.

2.3.1 Método de Aoyama (Japón).

La metodología elaborada por Aoyama²⁹ , en Japón, es aplicable a edificios de concreto reforzado de hasta seis pisos. Esencialmente, el método se basa en la comparación de un índice de protección sísmica E_T , con un índice sísmico I_s .

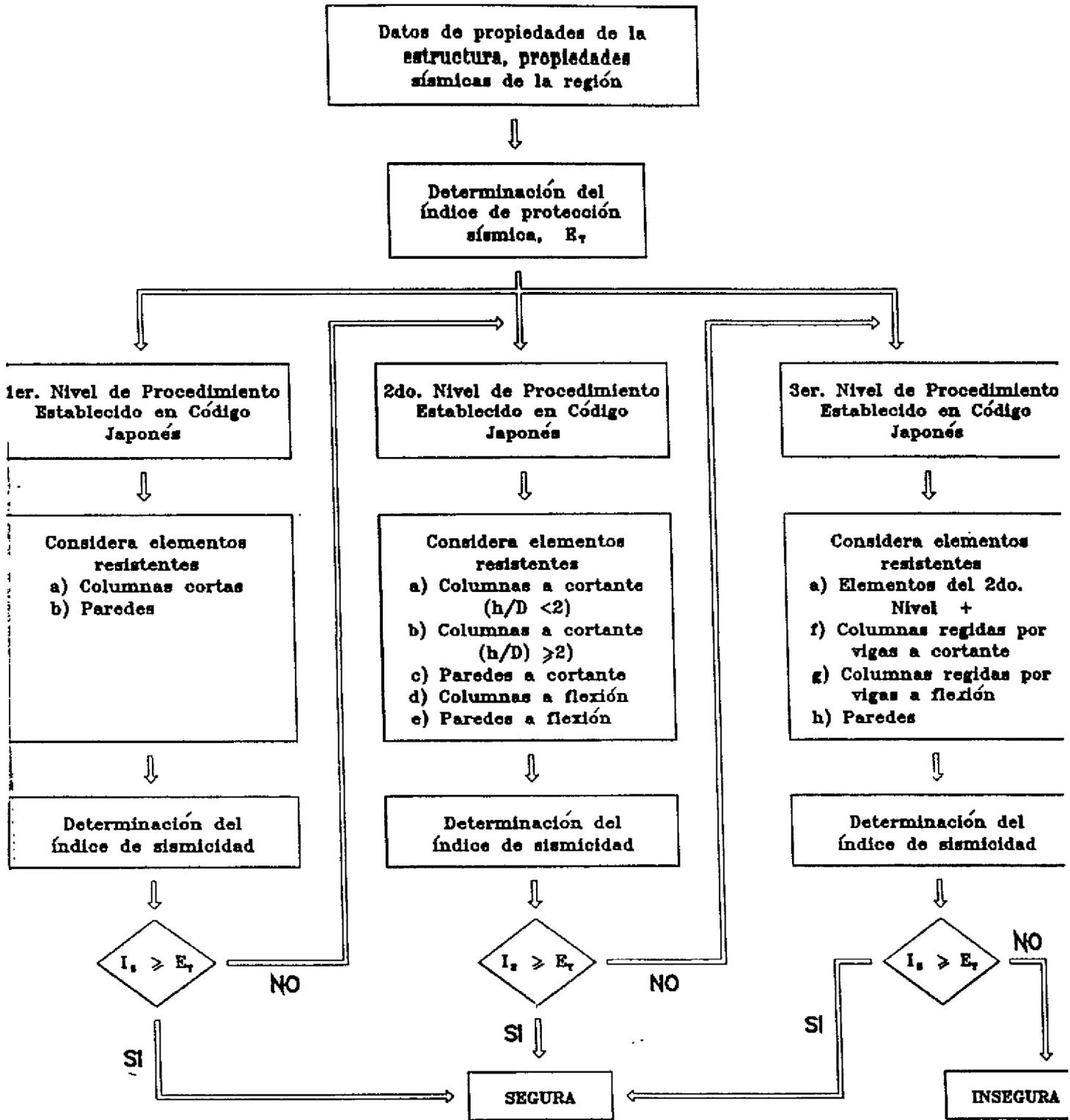
El índice de protección sísmica se utiliza para identificar la demanda sísmica, y se evalúa considerando datos de las características sísmicas de la región, a través de parámetros tales como: período de vibración del terreno, aceleración máxima del terreno, etc.

El índice sísmico I_s se usa para identificar la capacidad sísmica de los edificios y se evalúa, analizando la resistencia de los elementos a través de tres niveles de procedimientos de evaluación. Los niveles se diferencian entre sí, dependiendo de los elementos resistentes que se tomen en cuenta al realizar los cálculos. Esto da como resultado una forma más especializada y precisa de calcular la capacidad resistente de los elementos, dependiendo del nivel de evaluación con que se trabaje. Este procedimiento se establece en el código japonés.

La evaluación se hace entonces comparando el índice de protección sísmica E_T con el índice sísmico I_s . Si I_s es mayor o igual que E_T (capacidad mayor o igual que demanda) en el primer nivel de evaluación, entonces la estructura es segura, en caso contrario la estructura deberá ser analizada a través de un segundo nivel de procedimiento y si es necesario, el método propone hasta un tercer nivel. Si al llegar a este nivel el índice de protección sísmica es mayor que la capacidad , entonces la estructura se juzga como insegura y se deberá utilizar otro método para revisar la capacidad sísmica del edificio. La figura 2.2 muestra el flujograma de esta metodología.

Como se puede observar, este método propone tres formas de realizar un análisis cuantitativo basado en el código japonés. El primer nivel es sencillo y los resultados son conservadores, puede utilizarse como un

²⁹ Aoyama, H. A " Method for the evaluation of the Seismic Capacity of Existing Reinforced Concrete Building in Japan", Boletín de la Sociedad Nacional para la Ingeniería Sísmica en Nueva Zelanda, septiembre 1981, p.105-131.



FUENTE : Soliman et al, Metodología para la evaluación de riesgo sísmico en estructuras de concreto reforzado, Imperial College and University of Cairo, 1990, p. 12.

Figura. 2.2 Flujograma del método de evaluación sísmica propuesto por Aoyama.

análisis preliminar y para tener una idea bastante tosca de la seguridad de la estructura.

Un tercer nivel es más detallado y complicado en su análisis, pero los resultados son más confiables.

2.3.2 Método de Zezhen (China)³⁰.

Zezen desarrolló en China una serie de estudios acerca de las diferentes medidas y provisiones que se deben tomar para mitigar daños ante la ocurrencia de un evento sísmico. Entre estos estudios se encuentra una metodología para la evaluación sísmica de edificios existentes, la cual es aplicable a edificios de varios pisos de mampostería y a estructuras de marcos de hasta seis pisos, con una distribución de masas y rigideces uniforme. La evaluación propuesta en esta metodología se realiza considerando dos aspectos básicos:

- a) Analítico, revisando la resistencia.
- b) Constructivo, revisando nudos, conexiones, elementos individuales, etc.

La evaluación analítica se basa en la aplicación de un método de análisis simplificado, que considera una relación adecuada entre las áreas de pared y piso del edificio. La evaluación se realiza comparando los valores reales de la relación con un valor mínimo propuesto por el código chino, el cual se calcula con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$\{A/F\}_{\min} = \frac{kEc \alpha_{\max} (2/(n+1)) w}{(R_j (R_j + \sigma_0))^{1/2}} * \sum_{i=j}^n i \quad (2.1)$$

donde:

A :área de la sección transversal de paredes en la dirección del sismo.

³⁰ Zezen, N., "Seismic Safety Evaluation Criteria of Existing Buildings in China", Simposio de Ingeniería Sísmica, 1986, p. 301-307.

- F :área de piso.
 j :número de pisos considerados.
 k :factor de seguridad (del código Chino).
 E :coeficiente de no-uniformidad de la distribución de cortante (del código Chino).
 c :relación de coeficiente estructural, depende si es concreto reforzado o mampostería (Código Chino).
 $\alpha_{m\acute{a}x}$:máximo valor de la relación del coeficiente de sismos (Código Chino).
 w :peso medio por unidad de área.
 R_j :Esfuerzo cortante en la mampostería (kg/cm²).
 σ_o :Esfuerzo medio a compresión (kg/cm²).
 n :número total de pisos.

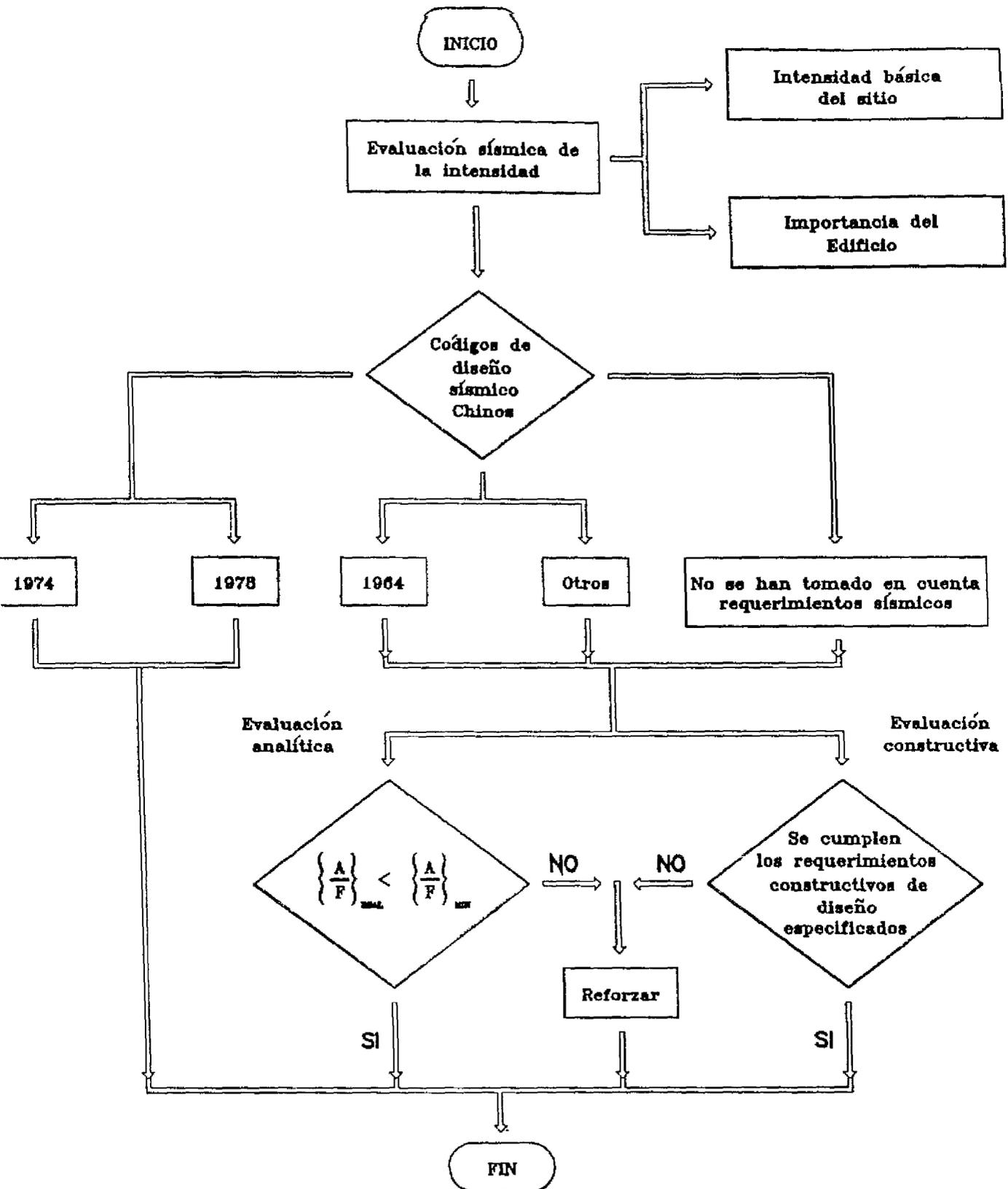
Si el valor de la relación áreas de pared/piso reales del edificio es menor que el valor propuesto por el código chino (Ecuación 2.1), el método propone reforzar el edificio.

Paralelamente a la evaluación analítica se realiza la constructiva, la cual se basa en las observaciones frecuentes de daños debidos a detalles estructurales inadecuados y a normas de construcción establecidas en el código chino. Algunos ejemplos de los requerimientos constructivos para diseño especificados por Zezhen, los cuales se utilizan para realizar este análisis son los siguientes:

- Revisar el límite de la altura de paredes transversales en edificios de mampostería.
- La existencia de especificaciones y requerimientos de las propiedades mecánicas para refuerzo y materiales.
- Detalles de refuerzo longitudinal y transversal en vigas, y
- Detalles de uniones.

Después de realizar la evaluación analítica y constructiva antes mencionada, el método concluye proponiendo reforzar en caso que no se satisfagan los límites establecidos. La figura 2.3 presenta el flujograma de esta metodología.

Es importante hacer notar que el método no define claramente el proceso a seguir en el análisis de marcos de concreto reforzado.



FUENTE : Soliman et al, Metodología para la evaluación de riesgo sísmico en estructuras de concreto reforzado, Imperial College and University of Cairo, 1990, p 14.

Figura. 2.3 Flujograma de evaluación sísmica presentado por Zezhen.

2.3.3 Método de Brunson y Priestley (Nueva Zelandia)³¹.

Brunson y Priestley presentaron un documento describiendo los resultados de una investigación de comportamiento sísmico esperado en edificios de marcos de concreto reforzado, y proponen un procedimiento analítico para la evaluación de las características del comportamiento sísmico en este tipo de edificios.

El método se basa en el cálculo de la relación "capacidad- demanda", de elementos individuales. Las fuerzas de demanda individual, se obtienen aplicando la carga lateral equivalente. De estos resultados, se obtiene el " código de demanda" individual de cada elemento. Las capacidades de los elementos a cortante y a flexión se obtienen de las cargas por gravedad, las propiedades de los materiales, y la sección de los elementos.

A partir de los valores anteriores, se puede identificar la relación "Capacidad-Demanda" de las diferentes secciones en el marco, las cuales deben ser mayores o iguales que la unidad, para juzgar la estructura como segura. Este análisis se realiza en cada marco del edificio, y si en alguna de las juntas del marco la relación capacidad-demanda es menor que uno, el método establece un análisis especial de juntas. El flujograma que se muestra en la figura 2.4 resume los pasos principales de esta evaluación.

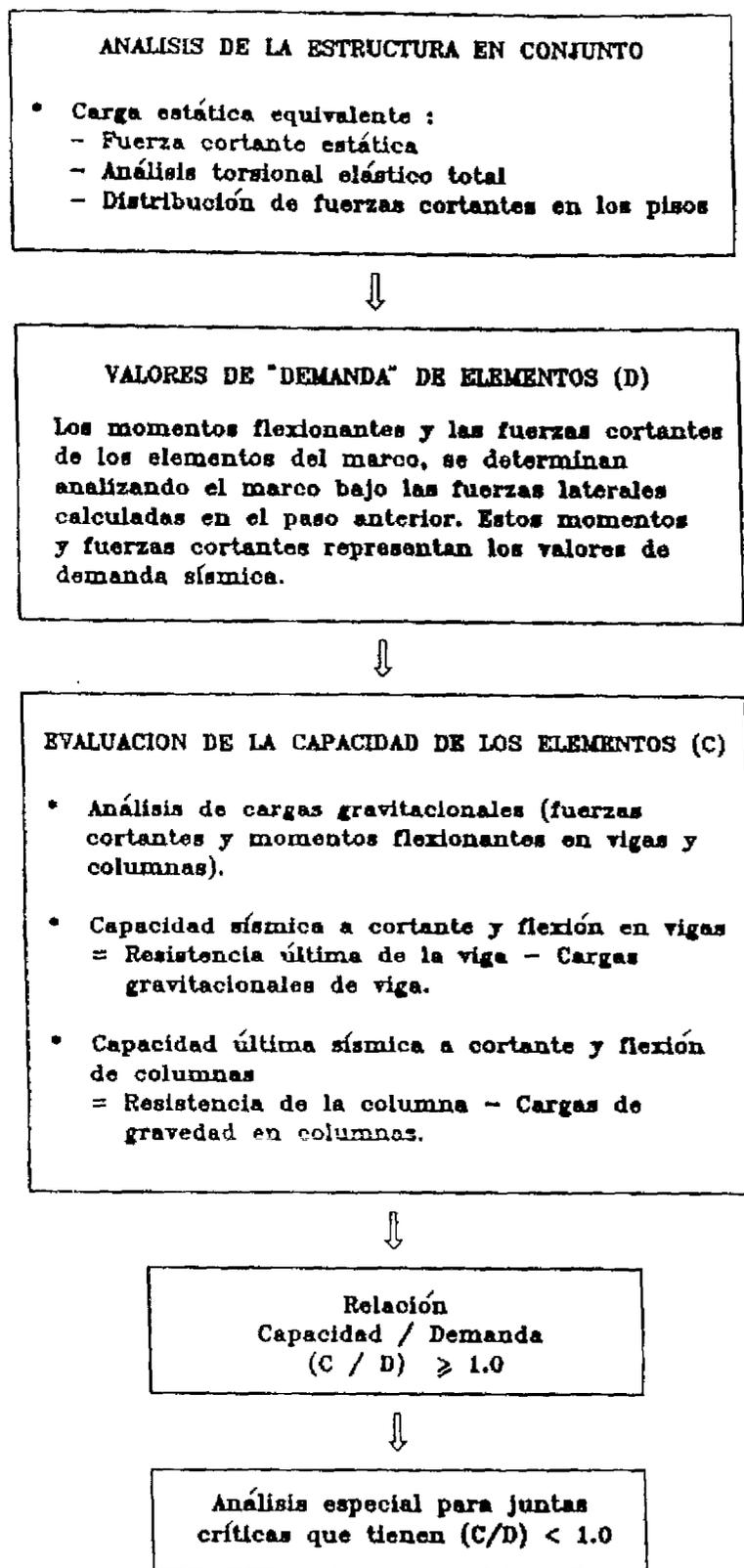
2.3.4 Método de Whitman (EE.UU.)³².

Whitman presentó un documento describiendo un estudio hecho para evaluar la resistencia sísmica de dos edificios. Uno de los edificios era de paredes de carga, y el otro de concreto reforzado.

La evaluación de la resistencia sísmica de estos dos edificios, está basada en la respuesta elástica de una estructura modelada con un solo grado de libertad, en la cual se aproxima el primer modo de respuesta a una distribución lineal de fuerzas a lo largo de la altura del edificio. El procedimiento analítico anterior, implica una aproximación en la modelación de las estructuras, de aquí que el método puede ser mejorado si se utilizan modelos más confiables. Su confiabilidad

³¹ Brunson, D.R., y Priestley, M.J.N., "Assessment of Seismic Performance Characteristics Reinforced Concrete Buildings Constructed between 1936 and 1975", septiembre 1984, p.163-184.

³² Whitman et al, "Seismic Resistance of Existing Buildings", julio 1980, p. 1573-1592.



FUENTE : Soliman et al. Metodología para la evaluación de riesgo sísmico en estructuras de concreto reforzado. Imperial College and University of Cairo, 1990, p 17.

Figura. 2.4 Flujograma del método de evaluación sísmica propuesto por Brunson y Priestley.

depende principalmente de la exactitud y precisión en la modelación del edificio, y la predicción de las cargas sísmicas.

2.3.5 Método de la ATC-14 (EE.UU.)³³.

Esta metodología fue desarrollada por la ATC (Consejo de Tecnología Aplicada) en 1987. Evalúa la resistencia sísmica de edificios existentes de manera cualitativa y cuantitativa.

La evaluación cualitativa se realiza con la ayuda de una serie de medidas de seguridad recomendadas, las cuales aparecen en forma de preguntas en formatos utilizados para obtener la información. Si la condición establecida por la pregunta no es satisfactoria, el método describe qué procedimiento seguir.

La evaluación analítica, necesita de cálculos sencillos que evalúen el refuerzo en columnas y el cortante basal. De la evaluación anterior, y considerando las recomendaciones hechas en cada paso, se concluye el análisis. El flujograma de este procedimiento se muestra en la figura 2.5.

2.4 MÉTODOS CUALITATIVOS.

Los métodos cualitativos se basan principalmente en datos de eventos ocurridos en el pasado y observaciones de campo.

Estos métodos intentan evaluar la resistencia sísmica de los edificios , a través de la consideración de parámetros que afectan el comportamiento sísmico. Algunos de los parámetros considerados son:

- Exposiciones sísmicas previas.
- Naturaleza del edificio.
- Rasgos estructurales.
- Calidad de los materiales utilizados en la construcción.

Como ejemplos de métodos cualitativos se pueden mencionar, el método de evaluación de campo, el método de análisis por factor de decisión y la metodología elaborada por Soliman et al³⁴ .

³³ Comisión de comunidades europeas, Edificios Industriales e Ingeniería Civil, Eurocode Número 8 , mayo, 1988.

³⁴ Soliman et al. "Metodología para la evaluación de edificios de concreto reforzado existentes", 1990.

