

## 5. REVISIÓN DE LITERATURA SOBRE METODOLOGÍAS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES

### 5.1 GENERALIDADES

La mayoría de los asentamientos del tercer mundo están conformados por edificaciones que obedecen a la construcción tradicional, en su mayoría de mampostería no reforzada, en materiales como adobe, tapia pisada y ladrillo cocido, siendo reconocidas a nivel mundial como sistemas estructurales muy peligrosos, cuando no han sido diseñados adecuadamente para soportar las sollicitaciones sísmicas (ATC-21, 1988, en *Campos*, 1992).

El inventario de este tipo de edificaciones es amplio, lo que significa que numerosas personas están en riesgo de sufrir las consecuencias de un terremoto. El conocimiento del comportamiento sísmico de las edificaciones existentes permite estimar el grado de vulnerabilidad sísmica de las estructuras, identificando las más susceptibles a sufrir daño.

Los métodos se agrupan en dos categorías generales, los de **vulnerabilidad calculada y vulnerabilidad observada**. Entre las metodologías desarrolladas en varios países se encuentran las Técnicas de *Screening* elaboradas durante la década de 1960 y 1970; método *Japones* (Hirosawa,1992); método *del ATC-14* (1987), ATC 21(1988); método *NAVFAC* (Matzamura, J. Nicoletti y S. Freeman,1988); método *Mexicano* ( J. Iglesias,1989); método

*Colombiano* (Hurtado,1990); método de la NSR-98, ( AIS, 1997), método Italiano del *Índice de Vulnerabilidad para estudios de Vulnerabilidad Sísmica a Gran Escala VSG GNDT* (1986), entre otros.

Una recopilación detallada de las metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica, realizada por el autor del presente trabajo, fue utilizada como contenido para el desarrollo del proyecto de grado: "*Estudio piloto de vulnerabilidad sísmica en viviendas de 1 y 2 pisos del barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*", de Chavarría & Gómez (2001), Universidad del Valle (2001), por lo tanto se sugiere remitirse a dicho estudio.

A continuación se presenta una descripción general de los métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes

## **5.2 MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES EXISTENTES**

Los métodos se agrupan en dos categorías generales (figura 106), los de *vulnerabilidad calculada* y de *vulnerabilidad observada* (Caicedo et al, 1994). En la primera se utilizan técnicas de modelación estructural para simular el comportamiento sísmico bajo cargas dinámicas y resultados de ensayos de materiales en el laboratorio, que sirven para determinar el índice global de daño que puede presentar la edificación, y se calibra a partir del daño real observado de las estructuras sometidas a movimientos telúricos anteriores. Dentro de esta categoría se encuentran *los métodos analíticos*.

Los métodos de la segunda categoría se fundamentan en la observación del daño ocurrido en estructuras durante terremotos, mediante el levantamiento en campo de índices de vulnerabilidad o la opinión subjetiva de expertos sobre el comportamiento sísmico de diferentes tipologías constructivas. Dentro de esta categoría se encuentran los **métodos subjetivos ó cualitativos**.



Figura 106. Metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica.

### 5.2.1 Métodos analíticos.

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes por métodos analíticos se fundamenta en los principios utilizados para el diseño de estructuras nuevas estipuladas en los códigos de construcción. La evaluación de estructuras existentes por métodos analíticos se concentra primordialmente en la modelación de edificios de hormigón armado, en los cuales se utilizan modelos mecánicos para representar su comportamiento histerético, con el fin de determinar los niveles de daño para los elementos estructurales o de la estructura misma en su conjunto (Caicedo et.al, 1994).

Según *Caicedo et.al* (1994), los problemas asociados con los métodos analíticos, básicamente provienen de las dificultades intrínsecas de la modelización matemática de las estructuras reales. Uno de los inconvenientes de la utilización de los métodos analíticos se presenta a la hora de calibrar el indicador de daño calculado con el daño real observado en las edificaciones después de un sismo.

Las múltiples incertidumbres para evaluación del daño sísmico de una estructura, surgen desde el planteamiento de las hipótesis del modelo para el análisis estructural y la selección de los movimientos sísmicos del terreno.

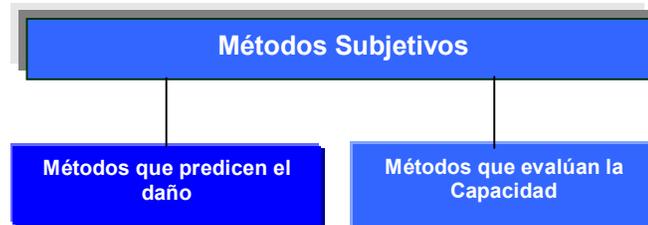
Respecto al análisis estructural, las propiedades reales de los materiales y de los elementos estructurales pueden llegar a ser muy diferentes de las asumidas para el análisis y, en la mayoría de los casos, desconocidas. Es difícil, desde el punto de vista matemático, tener en cuenta el daño sufrido por la estructura antes del análisis y poder hacer una evaluación precisa de las condiciones iniciales.

Así mismo, con relación a la selección de los movimientos sísmicos del terreno resulta complejo identificar las características del movimiento que describen la capacidad destructiva de un terremoto, razón por la cual el movimiento del terreno es una de las fuentes de mayor incertidumbre.

En conclusión debido al impreciso e incompleto entendimiento del comportamiento estructural de los edificios de hormigón armado no es posible, hasta el momento predecir analíticamente con suficiente confiabilidad la vulnerabilidad sísmica de dichas estructuras. La evaluación de estructuras por los métodos analíticos puede llegar a ser una labor muy difícil de ejecutar a gran escala.

### 5.2.2 Métodos subjetivos.

Los métodos subjetivos son los más apropiados para la evaluación de edificaciones a gran escala, debido que arrojan resultados más rápidos para un sin número de tipologías constructivas, que pueden ser determinantes para la toma de decisiones en el ámbito de la mitigación del riesgo, en una región determinada. En éstos se introduce la opinión subjetiva de expertos y la utilización de datos empíricos, acumulados mediante la observación de daños sufridos por las estructuras en terremotos pasados. Según *Caicedo et.,al* (1994) los métodos subjetivos se pueden clasificar en dos grupos: los que predicen el daño y los que evalúan la capacidad (figura 107).



**Figura 107.** Clasificación de los métodos subjetivos.

### 5.2.2.1 Métodos que predicen el daño.

Permiten la estimación del daño de una estructura a través de dos tipos de relaciones matemáticas:

La primera es una relación discreta, con base en matrices de probabilidad y la segunda es una relación continua, con base en funciones de vulnerabilidad (figura 108).

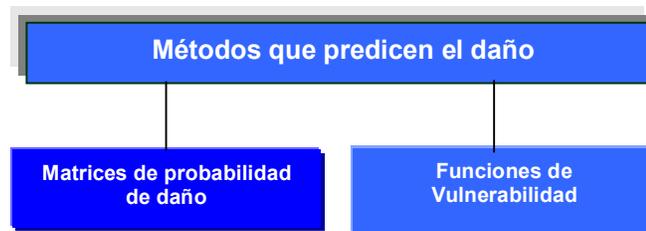


Figura 108. Clasificación de los métodos que predicen el daño.

#### 1. Métodos con base en matrices de probabilidad de daño.

La vulnerabilidad sísmica de una estructura puede ser expresada a través de una **matriz de probabilidad de daño**, la cual define la distribución del daño sísmico de una tipología estructural para una intensidad sísmica dada.

Generalmente, estas matrices se deducen por medio de un análisis estadístico del daño observado en las estructuras después de ocurrido un terremoto o también por el criterio subjetivo de expertos.

En la tabla 6 se muestra un ejemplo de una matriz de probabilidad de daño para una estructura hipotética. Cada columna representa un nivel distinto de intensidad sísmica y cada fila representa un nivel distinto de daño estructural, según *Caicedo et, al* (1994).

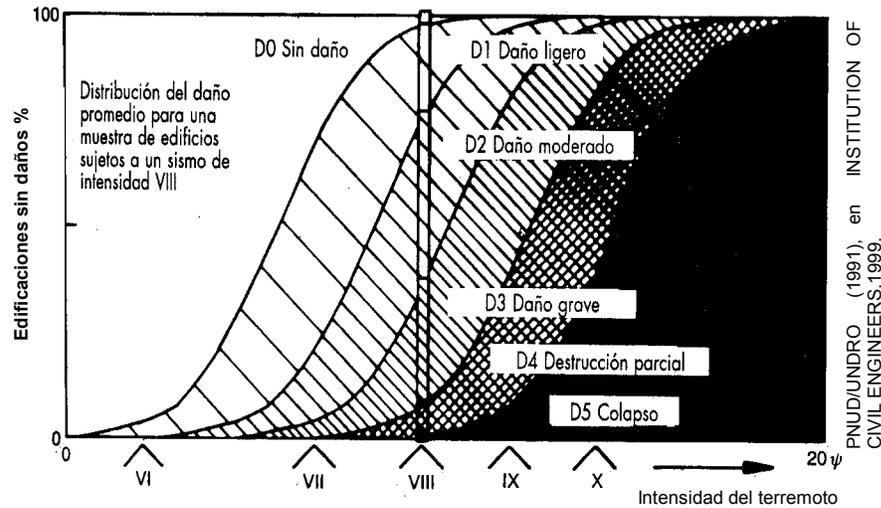
**Tabla 6.** Matriz de vulnerabilidad sísmica de edificios de hormigón armado

Nivel de Daño	Intensidad del Sismo		
	0.06 g	0.12 g	0.24 g
1. Ninguno, menor	0.75	0.24	0.1
2. Ligero, moderado	0.24	0.6	0.45
3. Serio, grave	0.01	0.155	0.4
4. Colapso	0.0	0.005	0.05

Tomado del ejemplo de una matriz de probabilidad de daño en *Caicedo et.,al* (1994)

## 2. Métodos con base en funciones de vulnerabilidad.

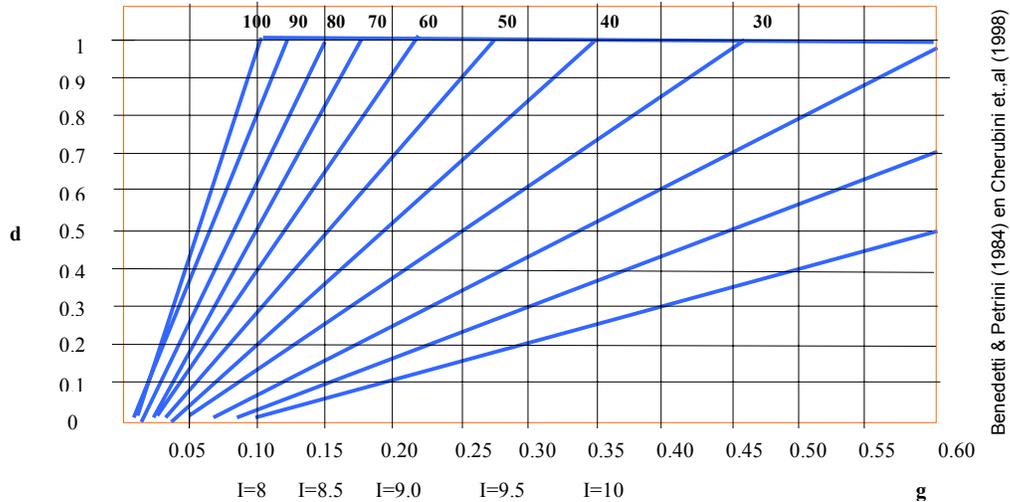
Una función de vulnerabilidad es una relación matemática que expresa de forma continua el daño que experimenta una estructura cuando es sometida a un movimiento sísmico. Las funciones de vulnerabilidad se deducen por medio de regresiones estadísticas, a partir de los datos de daño observados como consecuencia de terremotos anteriores. Generalmente, estas funciones se expresan como curvas que relacionan el grado de daño del edificio, con un parámetro de respuesta estructural o del movimiento del terreno.



**Figura 109.** Función de vulnerabilidad de edificaciones de mampostería.

Los parámetros de respuesta estructural que comúnmente se utilizan son el desplazamiento horizontal del edificio  $\Delta$  y el coeficiente sísmico  $C$ , que se define como el factor entre la resistencia al cortante del edificio dividido por el peso del edificio. Por otro lado, los parámetros que expresan el movimiento del terreno son usualmente la aceleración máxima del terreno (PGA), o los grados de intensidad sísmica tomadas de las escalas MM, MSK ó EMS.

En la figura 111 se muestra las funciones de vulnerabilidad desarrolladas por *Petrini & Benedetti* (1984), en *Cherubini* (1998) , donde se relacionan el índice de daño sísmico que puede sufrir una edificación para diversos valores de aceleración ó intensidad, a partir de un índice de vulnerabilidad determinado.

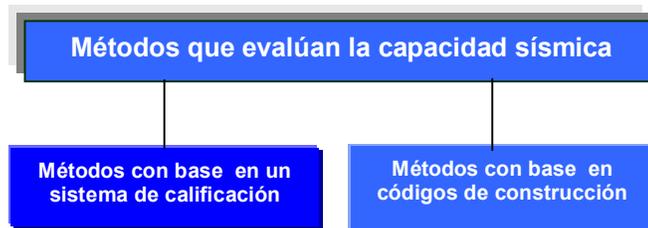


Benedetti & Petrini (1984) en Cherubini et.al (1998)

**Figura 110.** Función de daño sísmico

### 5.2.2.2 Métodos que evalúan la capacidad sísmica.

Estos métodos evalúan la capacidad sísmica relativa de una estructura. Básicamente existen dos tipos los que califican de forma empírica las diferentes características de las estructura y los que compararan la capacidad actual de la estructura con la exigida por un determinado código de construcción (figura 111).



**Figura 111.** Métodos que evalúan la capacidad sísmica.

## 1. Métodos con base en un sistema de calificación.

Estos métodos utilizan una escala de valores para calificar la calidad de las diferentes características estructurales, constructivas, funcionales ó arquitectónicas de una edificación, a las que se les asigna un valor numérico (a veces afectados por un factor de ponderación o corrección), cuya suma total representa la vulnerabilidad sísmica.

- Entre estos métodos se encuentra el **Método de evaluación de campo** (*Culver et., al ,1975, en Caicedo et., al, 1994*), que emplea cinco formularios para el levantamiento de información general y estructural, que se utilizan para catalogar la edificación como buena, regular, pobre o muy pobre, de acuerdo al puntaje obtenido y al nivel de intensidad (MM MSK ó EMS), para el sitio.
- En el **Método del factor de decisión** (*General Services Administration, (1976), en Caicedo et., al, 1994*) se analizan una serie de características de la edificación como la funcionalidad, el criterio de confianza, la ubicación del edificio, y la sismicidad del sitio, a las cuales se les asigna un factor numérico. A la suma de dichos números se le denomina *factor de decisión*, el cual determina el tipo de análisis que se debe utilizar para evaluar la resistencia sísmica de la edificación. El *factor de decisión* también puede utilizarse directamente como una medida cualitativa de la vulnerabilidad de la edificación considerada.
- En Nueva Zelanda (*Shepherd, 1977, en Caicedo et., al, 1994*), para calificar los edificios altamente peligrosos, se utiliza un sistema empírico.

Entre las características que se analizan se encuentra el tipo de estructura, el número de pisos, el daño de la estructura, la calidad de los muros, el diafragma y la cimentación. La suma de los puntajes asignados a cada una de las anteriores características se utiliza para determinar por medio de una tabla empírica, un periodo de revisión, en el cual la edificación debe ser analizada nuevamente y un periodo de vida para el cual la edificación debe ser demolida o reforzada. Este resultado sirve como medida cualitativa de la vulnerabilidad de la edificación.

- **El Método del índice de daño** (*Uzcátegui & Quintero 1988, en Caicedo et., al, 1994*) evalúa la vulnerabilidad sísmica mediante la determinación de un índice de daño (**Id**), el cual describe la capacidad sísmica de la estructura. Consiste en asignar un valor numérico (**Vi**) que califica la edad, el número de pisos, la proximidad entre edificios, el mantenimiento, la cimentación, la densidad y localización de muros, los detalles constructivos, los elementos no estructurales, los diafragmas, el sistema estructural, la masa, la rigidez, las irregularidades y los daños anteriores. A cada una de estas características se le asigna un factor de peso (**Wi**), de acuerdo con su importancia global para la resistencia del edificio; así, por ejemplo, a la localización de muros se le asigna un factor de peso mayor que a la condición de mantenimiento. El índice de daño se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Id = \frac{\sum Vi \times Wi}{\sum Wi}$$

Finalmente, de acuerdo con una interpretación subjetiva de la escala MSK, EMS ó MM, se determina que para valores **Id** ≤ **0.4** el nivel de

riesgo sísmico para la estructura es aceptable y que para valores de  $I_d \geq 0.4$  se debe utilizar otro procedimiento más sofisticado para la evaluación de la edificación (Uzcategui & Quintero 1988, en Caicedo et., al, 1994).

- **Método del índice de vulnerabilidad** (Petrini & Benedetti, 1984 ).

El método del índice de vulnerabilidad propuesto por estos autores considera once parámetros para calificar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de mampostería no reforzada (MNR) y edificaciones de hormigón armado (HA). Éstos son el tipo de organización y calidad del sistema resistente, la resistencia convencional, la posición del edificio y la cimentación, los entrepisos, la configuración en planta, la configuración en elevación, la separación máxima entre muros, el tipo de cubierta, los elementos no estructurales y el estado de conservación.

Los parámetros son calificados en función de la escala numérica desarrollada por los autores del método, en la cual se le asigna una calificación  $K_i$  a cada valor de la escala de gradación, desde **A** hasta **D**, donde A es óptimo y D es pésimo (ver tabla 7). Una vez obtenidas las calificaciones parciales (A, B, C, D), de cada uno de los parámetros analizados, estas son afectadas por un factor de peso según el grado de importancia de cada parámetro en relación con los demás. A partir de los valores obtenidos, se cuantifica la vulnerabilidad global de la edificación mediante una suma ponderada, a este valor se lo conoce como Índice de Vulnerabilidad ( $I_v$ ), según la expresión:

$$I_v = \left( \sum_{i=1}^{11} K_i * W_i \right)$$

Índice de vulnerabilidad para edificaciones en MNR  
 Petrini y Benedetti (1984) en Jiménez, 2000.

Donde: **K<sub>i</sub>** es la calificación asignada y **W<sub>i</sub>** es el coeficiente de peso, **I<sub>v</sub>** índice de vulnerabilidad.

**Tabla 7.** Matriz de calificación de la vulnerabilidad de edificaciones mampostería, método del índice vulnerabilidad.

Num	Parámetro	K <sub>i</sub> A	K <sub>i</sub> B	K <sub>i</sub> C	K <sub>i</sub> D	Peso W <sub>i</sub>
1	Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1
2	Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia convencional	0	5	25	45	1.5
4	Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Entrepisos	0	5	15	45	1
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.5
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1
8	Separación máxima entre muros	0	5	25	45	0.25
9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1

Calificaciones y pesos de los ítems de vulnerabilidad para edificaciones MNR (Petrini & Benedetti (1984), en Jiménez 2000.

Los valores de vulnerabilidad obtenidos como resultado de la calificación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones en MNR, está comprendida en un rango de valores entre 0 y 382.5, que son normalizados al dividirlos ente 382.5, obteniendo un rango de variación (0 < **I<sub>v</sub>** < 100). Por otra parte, los valores adoptados para la calificación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de hormigón armado (HA), toma valores entre 0 y 85, según la ecuación:

$$I_v = 10 \left[ \frac{\left( \sum_{i=1}^{11} K_i * W_i \right) + 1}{4} \right]$$

Índice de vulnerabilidad para edificaciones de hormigón armado  
 (HA) Petrini & Benedetti (1984) en Jiménez, 2000

**Tabla 8.** Matriz de calificación de edificios de hormigón armado.  
 método del Índice de vulnerabilidad

Num	Parámetro	Ki A	Ki B	Ki C	Peso Wi
1	Organización del sistema resistente	0	1	2	4.0
2	Calidad del sistema resistente	0	1	2	1.0
3	Resistencia convencional	1	0	1	1.0
4	Posición del edificio y cimentación	0	1	2	1.0
5	Entrepisos	0	1	2	1.0
6	Configuración en planta	0	1	2	1.0
7	Configuración en elevación	0	1	3	2.0
8	Separación máxima entre muros	0	1	2	1.0
9	Tipo de cubierta	0	1	2	1.0
10	Elementos no estructurales	0	1	2	1.0
11	Estado de conservación	0	1	2	2

Calificaciones y pesos de los ítems de vulnerabilidad en HA (Petrini & Benedetti (1984), en Jiménez, 2000)

A partir del índice de vulnerabilidad se puede estimar el nivel daño que puede sufrir una edificación en función de la aceleración del terreno. El daño es expresado en una escala normalizada ( $0 < d < 1$ ) que representa el porcentaje de daño que sufre la edificación, por ejemplo valores entre (0.8 -1.0) son equivalentes al colapso de la edificación.

- **Método Empírico** (Cardona , 1989).

Plantea un método empírico para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones, pre-evento, de una manera rápida y preliminar. Puede ser desarrollado por personas no versadas en el tema de la ingeniería sísmica ó por ingenieros con poca experiencia, llevando a cabo un análisis cualitativo de las características de la construcción, tales como la calidad y estado de la misma, configuración y forma, tipo de estructura, características del suelo y de la fundación, estabilidad de componentes no estructurales. Estos aspectos se califican subjetivamente como Vulnerabilidad Alta (A), Media (M) y Baja (B), con un criterio riguroso y conservador (ver tabla 9).

**Tabla 9.** Matriz de calificación de la vulnerabilidad método de Cardona.

ASPECTO	VULNERABILIDAD			VALOR
	A	M	B	
1. Calidad y Estado de la Construcción.	50	25	5	
2. Configuración y forma de la edificación.	60	30	5	
3. Tipo de Estructura	80	40	15	
4. Características del Suelo y la Cimentación	60	30	10	
5. Estabilidad de componentes no estructurales	50	25	5	

Una vez calificado cada aspecto se suman los valores respectivos para obtener un resultado o parámetro global. Sí el parámetro supera el valor de 150 la edificación será altamente vulnerable, entre 90 y 150 será considerada, en general, vulnerable y por debajo de 90 será considerada, en general, segura.

- **Método de Velasco & Tassios** (INGEOMINAS, 1992).

Este método es propuesto y aplicado por *Velasco & Tassios* para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la ciudad de Popayán, en el marco del proyecto *Microzonificación sismogeotécnica de Popayán* (INGEOMINAS (1992), el cual determina la vulnerabilidad sísmica local de las edificaciones y se evalúa el riesgo sísmico relativo.

Según estos autores a pesar del desarrollo de la construcción en concreto reforzado a partir de la década de 1950, en muchas de las ciudades colombianas todavía existen núcleos importantes de edificaciones construidas en la colonia y finales del siglo XIX, con el mismo sistema estructural importado por los españoles.

#### **A. Determinación de la vulnerabilidad**

En primera instancia, consiste en clasificar las edificaciones dentro de uno de los tipos que se muestran a continuación:

- **TIPO 1.** Arquitectura clásica española de los siglos XVIII y XIX con intervenciones o sin ellas, cualquiera que sea el año de su construcción, que hayan usado como elementos de construcción mampostería de adobe, tapia pisada o ladrillo cocido ligado con mortero de cal, o cualquier combinación de estos elementos con entresijos y techos cuyo material estructural fundamental es la madera.

- **TIPO 2.** Edificaciones cuyos principales materiales de construcción son el ladrillo cocido y el mortero de cemento, con o sin elementos de concreto reforzado.
- **TIPO 3.** Edificios con estructuras aporticadas de concreto reforzado en los cuales las paredes operan únicamente como elementos divisorios (tabiques).

Cada uno de los tres tipos de edificios se ha clasificado según los elementos que intervienen en su estabilidad: la edad de la construcción, el estado de conservación y los elementos estructurales. A cada elemento se le asigna un valor que se denomina “factor de ponderación, (**fpi**)”, que siendo una fracción de unidad representa la importancia de ese elemento dentro de la estructuración global. La suma de esos factores debe ser igual a 1. Esta información se recolecta en un formulario para cada uno de los tres tipos, y diligencia para cada edificio o sector estructuralmente independiente de la edificación que se analice.

Luego se calcula la vulnerabilidad local (**v**) de los elementos mencionados que reciben una calificación de 1 a 100 según sus características, el menor valor indica que el elemento analizado cumple con las exigencias de la buena práctica ingenieril y el mayor señala el mas alto grado de vulnerabilidad. Estimados los valores de (**fpi**) y (**v**) se procede a calcular un índice de vulnerabilidad (**V**) de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V = f_{pi} \times v_i$$

Donde:

V = Índice de vulnerabilidad

f<sub>pi</sub> = Factor de ponderación

v<sub>i</sub> = Vulnerabilidad local

n = Número de elementos que intervienen en la vulnerabilidad

**Tabla 10.** Matriz de calificación de índices de vulnerabilidad  
método *Velasco & Tassios*.

Valores de V	Calificación
1 a 33	Seguro
34 a 66	Dudoso, requiere estudio mas detallado
67 a 100	Riesgoso, requiere intervención

Fuente: Tomado de *Velasco & Tassios* en *INGEOMINAS*, (1992)

## B. Determinación del riesgo sísmico relativo.

Según *Velasco & Tassios* en *INGEOMINAS* (1992) esta es una evaluación aproximada de primer nivel y la estimación del riesgo sísmico relativo (RSR) se determina a partir de la siguiente expresión:

$$RSR = I \times V \times H$$

donde:

“I” corresponde a un *factor de importancia* para un edificio específico

(importancia estructural, funcional, social).

“V” es el “índice de Vulnerabilidad”, estimado a partir de factores de ponderación y calificaciones.

“H” es un estimativo del nivel del evento sísmico, considerado con una probabilidad dada de recurrencia dentro de la vida de los edificios evaluados.

En el contexto de estudios de vulnerabilidad, “I” debe incluir todos los costos de pérdidas de propiedades, producción, funcionamiento y vidas humanas, así como los “costos” históricos equivalentes. Para Popayán Velasco & Tassios (1992), sugirieron los siguientes valores:

**Tabla 11.** Factor de importancia de las edificaciones

Tipo de Edificación	I
Casas pequeñas	1.0
Edificios multifamiliares y comercios pequeños	1.5
Edificios importantes de gobierno	2.0
Edificios con concentración de personas (escuelas, teatros, estadios, entidades para la atención de desastres)	2.5
Centros médicos asistenciales	3

Fuente: Tomado de Velasco & Tassios, en INGEOMINAS (1992)

Los autores del método plantean la siguiente relación para el cálculo de H.

$$H = A^{i - ib}$$

Donde:

A = Ampliación de la vulnerabilidad de un grado de intensidad en la escala de MM

i = Valor numérico igual al de la intensidad esperada en la escala MM

ib = valor numérico de la intensidad tomada como base de comparación

Se estima que  $A = 1.26$  podría ser una aproximación inicial para determinar el valor de H.

- **Método de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (A/S, 2001)**

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS (2001), plantea un método para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de viviendas en mampostería, que consiste en la calificación de seis componentes: aspectos geométricos, constructivos, estructurales, cimentación, suelos y entorno.

Según este método para que una vivienda califique como de vulnerabilidad sísmica intermedia o alta es suficiente que presente deficiencias en cualquiera de los aspectos mencionados. Cada aspecto investigado se califica mediante unos criterios muy sencillos a partir de una inspección visual, comparándolos con patrones generales. La calificación se realiza en tres niveles, a los cuales se les asigna un color: vulnerabilidad baja (verde), vulnerabilidad media (naranja) y vulnerabilidad alta (rojo). La matriz de calificación se muestra en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Matriz de calificación de la vulnerabilidad método AIS.

COMPONENTE	VULNERABILIDAD		
	BAJA	MEDIA	ALTA
ASPECTOS GEOMÉTRICOS			
• Irregularidades en planta de la edificación			
• Cantidad de muros en las dos direcciones			
• Irregularidad en altura			
ASPECTOS CONSTRUCTIVOS			
• Calidad de las juntas de pega del mortero			
• Tipo y disposición de las unidades de mampostería			
• Calidad de las juntas de los materiales			
ASPECTOS ESTRUCTURALES			
• Muros confinados y reforzados			
• Detalles de columnas y vigas de confinamiento			
• Vigas de amarre o corona			
• Características de las aberturas			
• Entrepiso			
• Amarre de cubiertas			
CIMENTACIÓN			
SUELOS			
ENTORNO			
<b>Calificación Global</b>			

Fuente: AIS, 2001

- **Método Argentino** (*Fernández, 1987*)

Es una propuesta experimental para la evaluación de la vulnerabilidad de sistemas en la zona sísmica del Gran Mendoza, Argentina, desarrollado por la “Unidad de riesgo sísmico y desarrollo local”.

El método toma una serie de variables sencillas a las cuales se les asignan valores para obtener la escala de riesgo. Se consideran las características globales de la construcción: el número de pisos, materiales de techos y

muros, antigüedad de la construcción, estructuración, suelo y colindancia. Este método incorpora un desarrollo computacional que arroja resultados estadísticos y gráficos, representados en mapas a escala urbana. Las calificaciones asignadas se muestran en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Calificación de la vulnerabilidad del método argentino.

Variable	Intervalo	Valor
<b>I Número de pisos</b>	1	1
	2	2
	3 a 5	3
	6 ó más	4
<b>II Material de muros</b>	Ladrillo	1
	Adobe	3
	Dudoso	4
<b>III Material de techos</b>	H1A1	4
	Otros	3
	Caña y barro	5
<b>IV Antigüedad</b>	Hasta 10 años	1
	De 11 a 30 años	3
	De 31 a 50 años	2
	Más de 50 años	4
<b>V Estructuración</b>	Sismo resistente	1
	Mixta	3
	No sismo-resistente	5
<b>VI Suelo</b>	Firme	2
	Intermedio	3
	Blando	4
<b>VI Colindancia</b>	x0 Nulo	0
	x1 Bajo	1
	x2 Moderado	2
	x3 alto	3
	x4 Muy alto	4
<b>Calificación</b>		
de 3 hasta 16	RIESGO BAJO-RB	1
de 17 a 23	RIESGO MODERADO-RM	2
24 ó mas	RIESGO ALTO- RA	3

- **Método Italiano ISTC** (*Giuliano et., al, 2000*)

Fue desarrollado por el "Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni" (I.S.T.C) y la "Università degli Studi di Padova" y adaptado para el estudio de *Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas de Adobe en La Zona de Coelemu (8ª región de Chile)*. Consiste en el análisis sísmico de grupos de edificios con estructura soportada por muros de mampostería de tipologías y características constructivas similares. Su aplicación considera edificios aislados en mampostería no reforzada de regulares dimensiones (2 a 3 pisos), edificios contiguos o conjuntos de edificios.

La capacidad resistente del edificio se evalúa por medio de dos parámetros (índices  $I_1$  e  $I_2$ ). Un tercer índice,  $I_3$ , es utilizado para determinar, en conjunto con los ya calculados, la vulnerabilidad de la edificación (o grupo de edificios), con base en la función de vulnerabilidad, (**Vu**), propuesta por el I.S.T.C. , clasificando la edificación dentro de las cinco clases de vulnerabilidad definidas: muy grande, grande, media, pequeña, muy pequeña (ver tabla 14).

**Tabla 14.** Matriz de calificación de vulnerabilidad método ISTC.

Num	Parámetro	Peso I.S.T.C ( $\rho_i$ )
1	Calidad del sistema resistente	0.15
2	Posición del edificio y cimentación	0.75
3	Presencia de diafragmas horizontales	0.5
4	Configuración en elevación	0.5
5	Tipo de techumbre	0.5
6	Elementos no estructurales	0.25
7	Estado de conservación	0.5

Fuente: Giuliano et., al, 2000

- **Método japonés** (*Hirosawa*, 1992).

Es utilizado para la evaluación de edificaciones de hormigón armado de mediana y baja altura, construidas mediante métodos convencionales. Se evalúan la estructura, la forma del edificio y la peligrosidad de los elementos no estructurales. La estimación del riesgo sísmico se realiza por medio del cálculo de un índice sísmico (**Is**), que representa el comportamiento global de un entrepiso.

La evaluación de la seguridad se hace por un método de tamizado en tres pasos sucesivos, para obtener como resultado dos índices que miden la seguridad sísmica de la construcción.

***Is** = Índice sísmico de la estructura.*

***In** = Índice sísmico de los elementos no estructurales.*

El índice sísmico de la estructura **Is**, es el producto de cuatro subíndices que son calculados individualmente:

**Eo** está condicionado por la resistencia última de los elementos estructurales de la edificación, el tipo de mecanismo de falla y la ductilidad del sistema; **G** tiene en cuenta la intensidad de los movimientos del terreno; **Sd** representa el efecto que el diseño estructural tiene en el comportamiento sísmico de la estructura a través de factores como la distribución de masas y de rigideces y, por último, **T** califica los efectos de deterioro y defectos estructurales como grietas y deflexiones. De esta manera el **Is** es el producto de los subíndices anteriores, que se expresan en la siguiente ecuación:

$$I_s = (E_o) \times (G) \times (S_d) \times (T)$$

Donde:

**E<sub>o</sub>** = Subíndice sísmico de comportamiento estructural.

**G** = Subíndice sísmico de movimiento del terreno.

**S<sub>d</sub>** = Subíndice sísmico de concepción estructural.

**T** = Subíndice sísmico de deterioro con el tiempo.

La evaluación de la seguridad se realiza a partir de los resultados obtenidos para **I<sub>s</sub>** e **I<sub>n</sub>**, teniendo en cuenta parámetros como la importancia, edad y uso de la edificación.

- **Método NAVFAC** (*Matzamura et.*, al (1988), en *Cardona*, 1990).

Desarrollado por G. Matzamura, J. Nicoletti y S. Freeman con el nombre de "Seismic Design Guidelines for Up-Grading Existing Buildings". Es aplicable en cualquier tipo de estructura. Evalúa un índice que mide la relación de daños que un sismo determinado puede causar en una estructura. La capacidad de la estructura se determina por medio del coeficiente de cortante basal resistente (**C<sub>b</sub>**), el desplazamiento en el nivel más alto de la estructura (**S**) y el periodo fundamental (**T**), con los cuales se calcula el índice global de daño (**I**). Su principal problema es que no toma en cuenta la falla prematura de los elementos más débiles (*Cardona*, 1990).

### Procedimiento básico:

1. Recolección de información de la estructura.
2. Inspección detallada de la estructura, in-situ.
3. Determinación de los espectros de respuesta elástica.
4. Comparación de la capacidad de la estructura con la demanda del sitio (D/C).
5. Cálculo del índice de daño (I)
6. Cálculo del índice global de daño (I<sub>g</sub>)

Los resultados de la evaluación se presentan en una gráfica de capacidad/demanda, que se superpone a las curvas de demanda última. El índice global de daños de la estructura se representa por la siguiente relación:

$$I = (D/C) \times 100 \%$$

Donde:

I = Índice de daños.

(D/C) = Relación de demanda sobre capacidad resistente

Para D = 0, no existen daños por el contrario, para D=C el índice de daños es del 100 %.

El índice global de daños (**I<sub>g</sub>**) se determina como las dos terceras partes del índice de daño (**I**) en la dirección mas crítica. Si I<sub>g</sub> >= 60 % se debe proceder a realizar una evaluación más detallada de la estructura.

- **Método venezolano** (*Rivera et., al, en Cardona, 1990*) .

Desarrollado por I. Rivera de U, D. Grisolia de C. y R. Sarmiento de la Universidad de los Andes de Mérida, Venezuela, este es aplicable a edificios bajos de hormigón armado ó Mampostería. Evalúa cortes por separado y luego halla un índice global de entrepiso (*Cardona, 1990*).

Procedimiento básico:

1. Revisión detallada de documentos existentes de la edificación, planos memorias de diseño, etc.
2. Levantamiento de dimensiones generales del edificio, estructura y especificaciones de los elementos resistentes a fuerzas laterales.
3. Inspección detallada, in-situ, del edificio examinando cuidadosamente: el sistema estructural, deflexiones de losas y/ó vigas, agrietamientos, deterioro de la estructura, conexiones y apoyos entre elementos, etc.
4. Revisión de agrietamiento y condición general de paredes, arriostramiento, presencia de columnas cortas.
5. Identificación de elementos no estructurales susceptibles a caerse durante un movimiento sísmico.
6. Revisión de salidas de emergencia y estado de los sistemas contra incendios.
7. Determinación de las fuerzas sísmicas cortantes actuantes ( $V_u$ )
8. Determinación de las fuerzas cortantes resistentes del entrepiso ( $V_{ur}$ ).
9. Determinación de la relación  $E = V_{ur}/V_u$ .
10. Cálculo del índice sísmico ( $I_s$ )

$$I_s = E.D.T$$

Donde:

$I_s$  = Índice sísmico

$D$  = Índice de irregularidad en planta y en elevación de la edificación.

$T$  = Índice de las condiciones de deterioro en el tiempo de la edificación.

- **Método mexicano** (*Iglesias, 1989, en Cardona, 1990*).

Desarrollado por J. Iglesias de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Este procedimiento evalúa la capacidad sísmica de edificios en hormigón armado de mediana altura. Consiste en evaluar progresivamente una edificación con tres niveles de precisión hasta alcanzar un nivel de seguridad adecuado o demostrar la necesidad de reforzar el edificio.

El primer nivel es una inspección visual de la estructura, el segundo consiste en una evaluación aproximada de la capacidad sísmica y el tercero consiste en la evaluación detallada de acuerdo con las normas de construcción.

#### **Procedimiento básico:**

1. Inspección visual de la edificación (se recolecta información sobre su estructuración, comportamiento de la cimentación, ubicación y deterioro). Se identifican características asociadas al mal comportamiento sísmico y se clasifica su gravedad.

2. Para la evaluación se asigna una calificación (bajo, intermedio, alto) a cinco índices que representan los aspectos mas relevantes que afectan la seguridad sísmica de una edificación.

- Estructuración en planta.
- Estructuración en elevación.
- Cimentación.
- Ubicación y su relación con estructuras vecinas.
- Deterioro.

El método indica qué tipos de calificación deben asignarse de acuerdo con una serie de criterios definidos. Cada calificación es equivalente a un puntaje (alto = 2, medio = 1, bajo = 0). La sumatoria de los índices se compara con valores estipulados para dos tipos de estructuras dependiendo del nivel de importancia.

- **Método PERCAL** (*Jaramillo & Ortega, 1994*).

Los autores describen la vulnerabilidad de una estructura en términos de la aceleración basal resistente última, la aceleración basal resistente elástica, el periodo fundamental de vibración de la estructura y la función de daños. Los diferentes tipos de estructuras son definidos en función de unas variables, consideradas como influyentes en los parámetros que describen la vulnerabilidad de una construcción. Éstas son: el estrato socio económico, el número de pisos, el tipo de cubierta (liviano, teja de barro y losa de concreto), la edad de la construcción y el uso (residencial, comercial e industrial).

La vulnerabilidad sísmica de viviendas de uno y dos pisos en mampostería se calcula a partir de la aceleración basal resistente última, determinada por la longitud de muros de mampostería en la dirección más débil del primer piso, la resistencia al cortante de los muros y por el peso de la construcción. Éste resultado se corrige con factores que tienen en cuenta la calidad de la construcción según el estrato, la edad y el uso.

Para el caso de edificaciones de tres y mas pisos la aceleración basal resistente última está determinada por el coeficiente sísmico de diseño exigido o de más utilización en la época de construcción, valor que se corrige con factores como: corrección de resistencia por estrato socioeconómico, corrección del periodo de diseño y corrección por ductilidad. Todos estos valores son introducidos a un programa de computo desarrollado por los autores, denominado PERCAL con el cual se calculan las pérdidas materiales y de vidas para diversos niveles de amenaza sísmica.

- **Método Hurtado** (*Hurtado*, 1990 en *Campos*, 1992).

Este procedimiento evalúa la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones construidas en mampostería confinada y no confinada, generalmente de uno y dos pisos, mediante el cálculo de la resistencia sísmica al cortante y la ductilidad en la dirección más desfavorable, teniendo en cuenta la longitud y espesor de sus muros, al igual que el peso de la vivienda. Esta metodología permite categorizar el tipo de daños que puede presentar una edificación sometida a diversos valores de aceleración pico del terreno (*Campos*, 1992).

El procedimiento es el siguiente:

1. Cálculo de las longitudes de los muros resistentes del primer piso de la vivienda.
2. Cálculo de la resistencia a cortante menos favorable (**VR**), considerando la menor longitud de muros en una dirección en el primer piso de la edificación. La resistencia al cortante se calcula como:

$$VR = (L) \times (e) \times (v)$$

Donde:

**VR**: cortante de los muros.

**L**: longitud de muros en cada una de las dos direcciones principales de la edificación.

**e**: espesor de los muros

**v**: valor de la resistencia a cortante de los muros (1.50 Kg/cm<sup>2</sup> para mampostería confinada y 0.75 Kg/cm<sup>2</sup> para mampostería no confinada). Según los ensayos de laboratorio para muros de mampostería de la universidad de los Andes en 1990 (*Campos, 1992*).

3. Cálculo del peso de la edificación que es resistido por la estructura (**W**), multiplicando el área por el peso por m<sup>2</sup>.

4. Cálculo del coeficiente **(CSR)**, es decir, el porcentaje del peso de la edificación que es resistido por la estructura, como cortante horizontal en la dirección más desfavorable. Esto resulta de dividir la resistencia a cortante menos favorable VR, por el peso promedio de la vivienda según la siguiente expresión:

$$(CSR) = (VR) / (W).$$

5. Cálculo del coeficiente exigido a la estructura CSE a partir del espectro de respuesta escogido, de acuerdo con la NSR-98 estipulado en el Título A.
6. Cálculo de la demanda de ductilidad **(DD)**, como la relación entre el coeficiente sísmico exigido **(CSE)** y el coeficiente sísmico resistente **(CSR)**, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$(DD) = (CSE) / (CSR)$$

Se toma como valor de referencia la ductilidad disponible (capacidad de ductilidad) con un valor de 1.0 para MNC y un valor de 2.0 para la MC

Por último teniendo en cuenta los resultados anteriores, se puede clasificar y dibujar los daños de una manera cualitativa en las categorías de daño que se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla 15.** Matriz de categoría de daños método de Hurtado

CATEGORÍA Y ESTADO DE DAÑOS	DEMANDA DE DUCTILIDAD
1. Ninguno	$DD < 0.50 CD$
2. Menores	$0.50 CD < DD < 0.75 CD$
3. Moderados	$0.75 CD < DD < 1.00 CD$
4. Mayores	$1.00 CD < DD < 1.50 CD$
5. Totales	$1.50 CD < DD < 2.00 CD$
6. Colapso	$2.00 CD < DD$

Fuente: Hurtado, 1990 en Campos (1992).

Los efectos en la estructura para cada categoría de daño son:

1. Sin daños.
2. Daños menores en elementos arquitectónicos
3. Daños generalizados en los elementos arquitectónicos y daños en los elementos estructurales.
4. Daños generalizados en los elementos estructurales y arquitectónicos.
5. Daños no reparables en la estructura, por lo tanto la edificación debe ser demolida y reemplazada.
6. Edificación parcial o totalmente colapsada por inestabilidad.

## **2. Métodos con base en códigos de construcción.**

Estos métodos utilizan los mismos criterios para el diseño de nuevas edificaciones y parten de los procedimientos recomendados por los códigos de construcción. En consecuencia para el caso de una edificación existente

El procedimiento consiste en evaluar las fuerzas laterales que representan la intensidad sísmica esperada para un determinado sitio, comparándolas con la capacidad existente en la estructura. Para ello se utilizan métodos simplificados, como el de la fuerza horizontal equivalente o el análisis modal con espectros de respuesta. Cuando se requiere de parámetros como el amortiguamiento o la ductilidad de la estructura, estos se deducen empíricamente (*Caicedo et al, 1994*).

La literatura en lo referente a este tipo de métodos en el ámbito mundial es muy extensa, sin embargo, los métodos mas comentados siguen siendo los desarrollados por el ATC (Applied Technology Council) de los Estados Unidos). (*Caicedo et., al, 1994; Cardona, 1990*)

- **Métodos del ATC** (Applied Technology Council *en Caicedo et., al, 1994; Cardona, 1990*) .

La metodología ATC-13 (1985), *en Caicedo et al, 1994; Cardona (1990)* propone una evaluación con base en el *factor de capacidad sísmica (R)*, que es igual a la capacidad lateral existente en un edificio dividida entre la correspondiente capacidad requerida para una nueva construcción. Dependiendo del R, el edificio es catalogado como adecuado o inadecuado.

La metodología ATC-14 (1987), *en Caicedo et al, 1994; Cardona, 1990*) clasifica la edificación analizada dentro de una de las 15 tipologías estructurales establecidas en el método y evalúa el riesgo sísmico potencial de cualquier tipo de estructura.

Hace énfasis en la determinación de los "*puntos débiles del edificio*" con base en la observación de daños en edificios similares ocurridos en eventos sísmicos anteriores.

Cada tipo estructural presenta una descripción de sus características particulares y de su comportamiento sísmico observado en pasados terremotos, para estructuras similares. Luego, mediante una serie de preguntas de falso o verdadero referentes a los elementos estructurales y no estructurales se determinan las posibles fallas que esta puede presentar en el momento de un sismo. Si después de la evaluación no se detectan fallas, se considera que el edificio tiene un nivel aceptable para salvar la vida de sus ocupantes; en caso contrario, se deben evaluar para los elementos estructurales y no estructurales una serie de factores de capacidad/demanda (C/D) y compararlos con unos niveles mínimos establecidos empíricamente.

El método identifica, inicialmente, los edificios que significan un riesgo para la vida humana durante un movimiento sísmico, en términos de posibilidad de colapso total del edificio; posibilidad de colapso parcial de elementos del edificio; elementos del edificio susceptibles a caerse o a fallar.; obstaculización de salidas del edificio, impidiendo la evacuación o el rescate.

El método evalúa los esfuerzos cortantes actuantes, los desplazamientos relativos en el entrepiso y ciertas características del edificio.

### **Procedimiento básico:**

1. Recolección de datos.
2. Inspección detallada in-situ. Para tener una descripción de la estructura el método utiliza una "lista de chequeo" en la cual se responde verdadero o falso. Si todas las respuesta son verdaderas, la estructura no tiene problemas de comportamiento. Si alguna de las respuesta es falsa se hace necesario investigar el elemento que presenta problemas.
3. Descripción del modelo estructural del edificio.
4. Cálculo aproximado de los esfuerzos de corte y de los desplazamientos relativos para estructuras de hormigón armado. Esfuerzo axial y desplazamientos en elementos de acero. Verificación de esfuerzos de corte en muros estructurales.
5. Comparación de la relación Capacidad /demanda (C/D) con los valores especificados en la norma ATC ( ATC-14 ,1987, en *Caicedo et al*, 1994).
6. Estimación de la deriva.

Se realiza una revisión de los detalles especiales con base en las respuestas dadas en la "lista de chequeo"

El método ATC-21 (1988), en *Caicedo et al (1994)*; *Cardona (1990)*; *Construweb (2001)* revisión por filtro de peligros sísmicos potenciales en edificaciones existentes (Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards), se fundamenta simplemente en darle una calificación inicial a la edificación y, a medida que se avanza en la revisión, se van filtrando las características estructurales de la edificación, a la vez que se le van restando o sumando puntos a la calificación inicial.

El procedimiento identifica, en primera instancia, el sistema estructural resistente, así como los materiales en que esta construida la edificación. El puntaje asignado se va sumando o restando a la calificación inicial identificando de factores como la altura, el uso, el año de construcción, el deterioro, irregularidades geométricas tanto en planta como en altura, y pisos flexibles, entre otros.

- **Método NSR-98** (A/S, 1998).

La Norma de Diseño y Construcción Sismo-Resistente Colombiana NSR - 98 (Ley 400 de 1997, Decreto 33 de 1998), establece en el "**Titulo A - requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente**", del Capítulo A.10, los criterios para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones construidas antes de su vigencia. Este procedimiento tiene como finalidad comprobar si el comportamiento estructural de la edificación en su estado actual, sometida a sollicitaciones sísmicas, satisface los requerimientos mínimos establecidos en la norma.

### **Procedimiento básico:**

El procedimiento consiste en la identificación de una serie de parámetros como el sistema estructural con que fue construida originalmente, el tipo de cimentación y las propiedades de los materiales utilizados, entre otros. Con toda la información obtenida de planos, si los hay, o de los levantamientos y exploraciones realizadas, se construye el modelo estructural de la edificación y se analiza matemáticamente su comportamiento dinámico, obteniendo como resultado las demandas de resistencia sísmica para los esfuerzos a que está sometida. Los resultados se comparan con los valores establecidos en la NSR-98, determinando las zonas o puntos mas vulnerables de la edificación que pueden representar riesgo y que necesitan ser reforzados.

A continuación se resumen los pasos necesarios para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes prescrito en la NSR-98:

1. Recolección de información de la edificación (memorias, planos, etc.).
2. Inspección visual de la edificación y recolección de información.
3. Levantamiento de planos de la edificación, si no existen.
4. Identificación del sistema estructural.
5. Exploración y estudios de suelos.
6. Dimensiones de elementos estructurales y localización de refuerzos
7. Verificación de resistencia del hormigón.
8. Elaboración de un modelo estructural actual, el cual se analiza para las

fuerzas sísmicas que el sismo de diseño imponga, en combinación con las fuerzas de gravedad, mayoradas de acuerdo con las combinaciones de carga.

9. Análisis matricial tridimensional (análisis elástico lineal).
10. Cálculo de demandas obtenidas y capacidades actuales calculadas en los elementos.
11. Determinación de los índices de sobre esfuerzo en los elementos y de las estructuras, para determinar puntos o zonas vulnerables.
12. Determinación de índices de flexibilidad de pisos y estructuras.

Finalmente, la vulnerabilidad se define como los inversos de los índices de sobre esfuerzos y flexibilidad. Los resultados obtenidos se comparan con lo que la norma exige para una edificación nueva.

- **Métodos FEMA** (Construweb, 2001).

Los metodos FEMA son procedimientos desarrollados por el "Building Seismic Safety Council" de los EEUU. Plantean, para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes, una serie de interrogantes que sirven para determinar las zonas o puntos vulnerables de una edificación. Para el análisis se utilizan procedimientos simples, calificando mediante variables lógicas, como falso o verdadero, aspectos estructurales, pórticos, diafragmas, conexiones y amenazas geológicas, entre otras, comparando los requisitos con los que se diseñó y construyó la edificación con los requerimientos de diseño sísmico actuales.

Estos también están diseñados para identificar de una forma más detallada los elementos estructurales, como vigas y columnas, que presenten deficiencias en cuanto a su capacidad o resistencia sísmica, definiendo diferentes procedimientos y criterios de diseño para alcanzar niveles de desempeño sísmico, entre los que se encuentran el nivel operacional, el nivel de protección de la vida, el nivel de prevención de colapso, el nivel de ocupación inmediata.

La escogencia de un determinado nivel depende del desempeño o comportamiento esperado de la edificación, durante y después de un movimiento telúrico, de cuanto daño es permitido, al igual que pérdidas económicas y traumatismo o interrupción de las actividades cotidianas de los ocupantes de la edificación. Además, este método plantea una metodología para desarrollar los procedimientos de rehabilitación o refuerzo.

### **5.2.3 Problemas asociados con los métodos subjetivos**

Según *Caicedo et al (1994)*, los métodos subjetivos no permiten una evaluación precisa de la vulnerabilidad de las edificaciones. A pesar de esto, llegan a ser la única herramienta disponible en los casos para los cuales la modelización matemática, por medio de métodos analíticos, es muy costosa, compleja o involucra factores cuyo comportamiento es difícil de predecir.

La opinión de expertos y una base de datos empírica de daños observados en edificaciones existentes en terremotos pasados, es un factor fundamental para la aplicación de este tipo de metodologías.

En la mayoría de los casos la opinión subjetiva del experto, resulta ser una base de conocimiento difícil de transmitir y de "calibrar", por lo que los métodos que se basan en este tipo de información deben utilizar conceptos simples, generales y fácilmente comprensibles por el usuario. Lo anterior resulta, comúnmente, en metodologías adaptadas a las tipologías y a las prácticas de construcción características de cada país e inclusive de cada región, lo que dificulta su aplicación en otros lugares (*Caicedo et. al, 1994*),

Los métodos que utilizan matrices de probabilidad de daño son muy apropiados, por que la definición de esas matrices es generalmente sencilla y el cálculo del riesgo específico se simplifica enormemente. Sin embargo, por otro lado, obligan a adoptar tipologías estructurales muy generales, las cuales son difícilmente adaptables a regiones con tecnologías constructivas distintas (*Caicedo et. al, 1994*),

Los métodos fundamentados en los códigos de construcción, además de no dar una estimación del daño, son elaborados con criterios y normas específicas adoptadas por un código de construcción en particular, lo que dificulta su aplicabilidad en otras regiones.