

2.4.1 Método de evaluación de campo.

Este método fue propuesto por Curvel et al³⁵, y basa su análisis en el estudio de ciertos parámetros estructurales, tales como: rigidez, simetría, resistencia de los elementos, estado actual del edificio, y el nivel de intensidad que afecta el sitio en estudio. A estos parámetros se les asignan valores numéricos, y luego con ellos se realizan ciertos procedimientos aritméticos basados en ecuaciones empíricas, obteniéndose así el valor de la relación de capacidad.

Los pasos básicos en esta evaluación son:

- a) Evaluación de elementos verticales resistentes.
- b) Evaluación de elementos horizontales resistentes.
- c) Relación de capacidad.
- d) Nivel de intensidad.
- e) Clasificación del edificio.

El flujograma presentado en la figura 2.6 muestra los pasos de la evaluación de campo, y la tabla 2.1 muestra los formatos utilizados en el método. Los resultados obtenidos al finalizar la evaluación, muestran si el edificio ha sido clasificado como bueno, regular, pobre o muy pobre. Así, una clasificación de bueno corresponde a un riesgo sísmico bajo.

2.4.2 Método de análisis por factor de decisión.

El método de análisis por factor de decisión³⁶ es un método preliminar utilizado para determinar qué procedimiento analítico seguir para la evaluación de la capacidad sísmica de cualquier tipo de estructura.

Este método se basa en la determinación de un factor denominado "suma del factor de decisión", el cual se obtiene asignando un valor numérico a ciertos parámetros, de acuerdo a las características del edificio y del sitio. Los parámetros que este método evalúa son:

- Sismicidad, factor " S ".
- Comportamiento del edificio, factor " P ".

³⁵ Curvel et al, "Metodología para la evaluación de edificios de concreto reforzado existentes", 1990.
³⁶ Servicios generales de administración, Earthquake Resistance of buildings, Washington, marzo 1978.

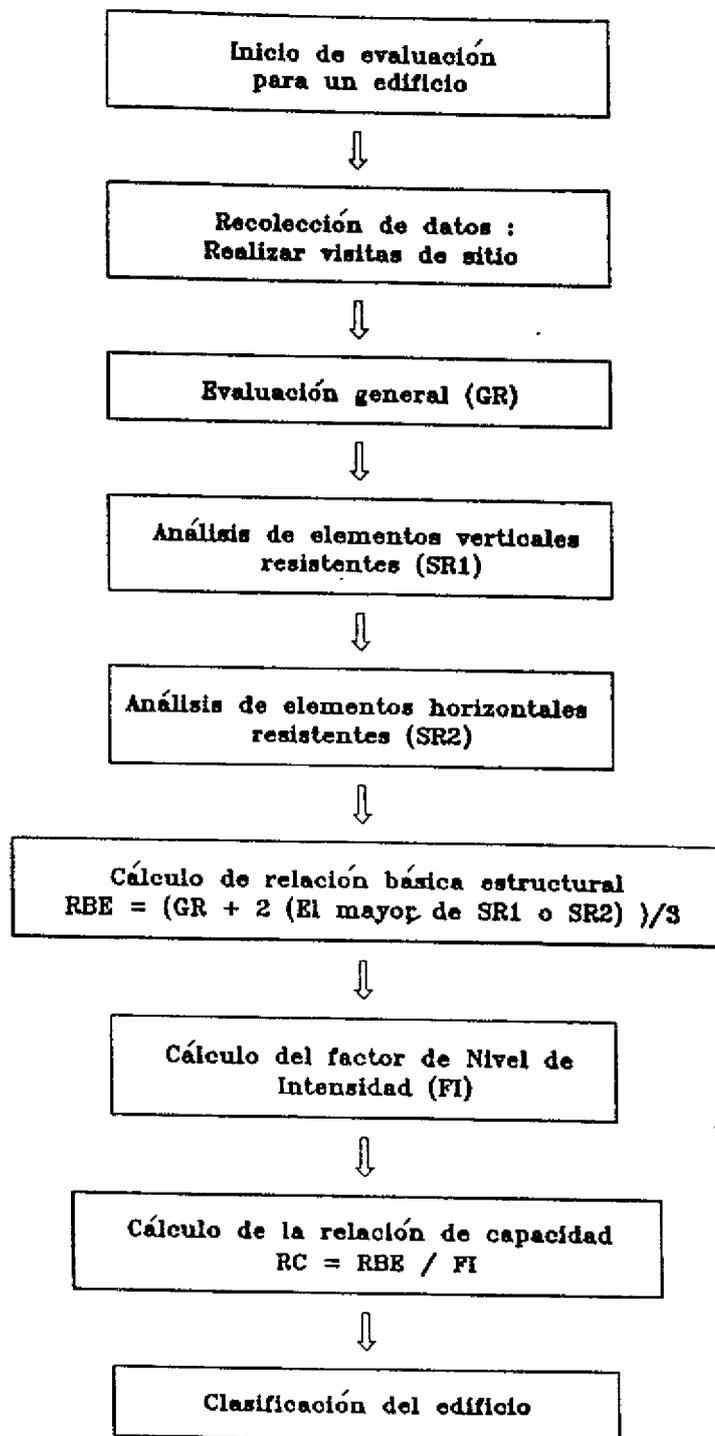


Figura. 2.6

Flujograma del método de evaluación de campo

a) Evaluación de Elementos verticales resistentes

Elementos Verticales Resistentes						
TIPO	Evaluación General (GR)	Simetría (S)	Cantidad (Q)	Promedio Simetría Cantidad (SQR)	Condición actual (PC)	Sub - Total (SR1)
Cargas Transversales						
Cargas Longitudinales						

1. SQR = (S+Q)/2

2. SQR = (SQR + 2PC) / 3

b) Evaluación de Elementos horizontales resistentes

Elementos Horizontales Resistentes					
TIPO	Rigidez (R)	Ángulo y Conexiones (A)	CURSADAS (C)		Sub - Total (SR2) **
			Longitudinal	Transversal	

** Sub total SR2 = el mayor de R,A y C

c) Relación de Capacidad

Elementos Horizontales Resistentes				
TIPO	Evaluación General (GR)	SUB - TOTAL		Relación de Capacidad **
		SR1	SR2	

* Relación básica estructural = (GR + 2 (el mayor de SR1 o SR2))/3

** Relación de Capacidad = Relación básica estructural / Factor de Nivel de intensidad

d) Factor de Nivel de Intensidad

Escaleta de Mercalli Modificada	Factor de Nivel de Intensidad
VIII o Mayor	1
VII	2
VI	3
V o Menor	4

e) Clasificación del Edificio

EVALUACION DE LA RELACION DE CAPACIDAD	
Relación de Capacidad	Evaluación en términos de riesgo
Menor de 1.0	Buena
1 - 1.4	Favoreble
1.5 - 2.0	Pobre
Más de 2.0	Muy Pobre

FUENTE . Sofíman, et al. Metodología para la evaluación de riesgo sísmico en muros de concreto reforzado, Imperial College and University of Cambr. 1990, p. 7.

Tabla. 2.1 Formatos usados en el método de evaluación de campo.

- Ubicación, factor " L ".
- Criterio de seguridad, factor " C ".

La tabla 2.2 muestra estos parámetros, y las características que evalúa. La sumatoria de los valores asignados a cada uno de estos aspectos, constituye el factor " suma del factor de decisión ", y puede ser utilizado como un grado cualitativo de la capacidad sísmica del edificio. Este factor, se compara también con rangos preestablecidos, para determinar qué método analítico se utilizará posteriormente, el cual se basará en los planteados en el "Uniform Building Code". La tabla 2.3 muestra estos rangos.

2.4.3 Metodología elaborada por Soliman et al (1990).

En 1990, Soliman, Elnashai y Sobiath (Imperial College and University of Cairo) presentaron una metodología de carácter empírico para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras específicas. Dicha metodología toma en cuenta las principales características que afectan el comportamiento sísmico de la estructura, tales como la distribución de rigideces, la resistencia lateral, la torsión, la capacidad viga-columna y los efectos de esbeltez.

El método evalúa estas características por medio de factores, a los cuales se les asignan valores determinados. Los factores se escogen tomando en cuenta los siguientes parámetros :

- i) Importancia del parámetro en la respuesta total .
- ii) Efectos en la respuesta debido a cambios en el parámetro.
- iii) Frecuencia de ocurrencia del parámetro.

Los principales parámetros a evaluar se presentan a continuación :

- a) Factor de evaluación preliminar, FPE.
- b) Factor de evaluación de detalles, FDE.
- c) Factor de evaluación de la sismicidad y efectos del sitio, Fss
- d) Factor de riesgo sísmico, FRs.

A partir de estos factores se determina la vulnerabilidad y capacidad sísmica de los edificios, tal como lo presenta el flujograma de la figura 2.7.

FACTORES	Ubicación del edificio : Edad (Año de construcción) : Costo (Millones) :	Valor del Parámetro
Sismicidad Factor "S"	Distancia a fallas activas : Magnitud esperada : Índice de intensidad : Índice de actividad :	
	Valor de factor "S"	
Comportamiento del edificio Factor "P"	Ocupación :	
	Construcción : General Paredes Pisos Marcos Divisiones	
	Configuración estructural : Altura Uniformidad	
	Economía : Costos elevados Reparación por sismos	
	Condición : Previa exposición sísmica Deterioro del material	
	Valor de factor "P"	
Ubicación Factor "L"	sitio : Material del sitio Amplificación y Estabilidad : Estabilidad del sitio	
	Valor de factor "L"	
Criterio de Seguridad Factor "C"	variables : Diseño por fza. lateral. Distribuc. de fza. lateral. Calidad del material. Efectos torsionales. Diseño de detalles.	
	Valor de factor "L"	
	SUMA DEL FACTOR DE DECISION	

FUENTE : Soliman et al, Metodología para la evaluación de riesgo sísmico en marcos de concreto reforzado, Imperial College and University of Cairo, 1990, p. 8.

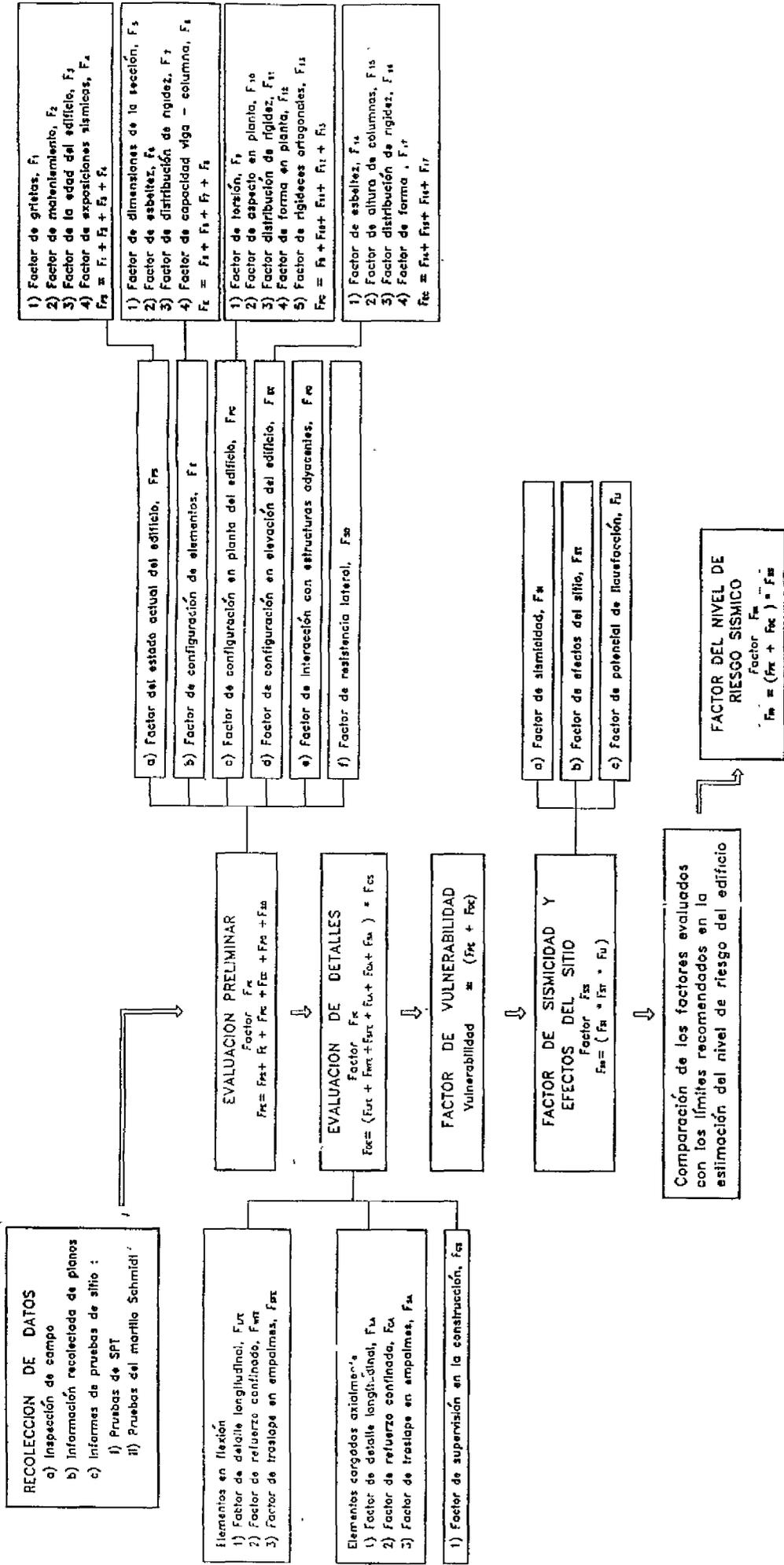
Tabla. 2.2 Parámetros del método de Análisis por factor de decisión.

FACTOR	Rango Método I *	Rango Método II **	Rango Método III ***
Factor de sismicidad "S"	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Factor de comportamiento "P"	0 - 60	60 - 120	120 - 180
Factor de ubicación "L"	0 - 5	5 - 15	15 - 20
Factor de seguridad "C"	0 - 10	10 - 25	25 - 35
SUMA DEL FACTOR DE DECISION	0 - 115	115 - 200	200 - 275

- * Metodo I : Procedimiento contenido en UBC.
- ** Metodo II : Procedimiento contenido en UBC con una ecuación modificada para el cálculo del período.
- *** Metodo III : Análisis dinámico.

FUENTE : Soliman et al, Metodología para la evaluación de riesgo sísmico en estructuras de marcos de concreto reforzado, Imperial College and University of Cairo, 1990, p 9.

Tabla. 2.3 Rangos propuestos para el tipo de evaluación analítica, según el método de análisis por factor de decisión.



Flujograma de la metodología propuesta por Soliman et al (1990).

Figura 2.7

a) La evaluación preliminar, F_{PE} . Involucra el estudio de los siguientes factores:

- *Factor de estado actual del edificio, F_{PS}* . Este factor toma en cuenta el paso del tiempo y las exposiciones a sismos que ha sufrido la estructura en estudio. Se define como :

$$F_{PS} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 . \quad (2.2)$$

donde :

F_1 : factor de grietas.

F_2 : factor de mantenimiento.

F_3 : factor de edad del edificio.

F_4 : factor de exposiciones sísmicas.

- *Factor de configuración de elementos, F_E* . Este factor depende de las rigideces relativas de los elementos, y su contribución en la respuesta total. Para evaluarlo es preciso conocer las dimensiones de los elementos estructurales que conforman el edificio. La ecuación 2.3 muestra la evaluación del factor de configuración de elementos :

$$F_E = F_5 + F_6 + F_7 + F_8 . \quad (2.3)$$

donde :

F_5 : factor de dimensiones de la sección.

F_6 : factor de esbeltez.

F_7 : factor de distribución de rigideces.

F_8 : factor de capacidad viga - columna.

- *Factor de configuración en planta del edificio, F_{PC}* . Este factor evalúa el efecto de las irregularidades en planta en la respuesta sísmica del edificio. Para evaluarlo se necesitará determinar características del edificio tales como su centro de masa, su centro de rigidez y características del sitio donde se encuentra emplazada la estructura, tal como la velocidad de ondas de corte del suelo. La evaluación del factor de configuración en planta del edificio se determina a partir de la siguiente ecuación :

$$F_{PC} = F_9 + F_{10} + F_{11} + F_{12} + F_{13} . \quad (2.4)$$

donde :

F_9 : factor de torsión.

F_{10} : factor de aspecto en planta.

F11: factor de distribución de rigideces.

F12: factor de forma en planta.

F13: factor de rigideces ortogonales.

- *Factor de configuración en elevación del edificio, FEC.* Este factor evalúa irregularidades en elevación causadas por entrantes o salientes, problemas por piso débil y por columnas sometidas a altos esfuerzos cortantes. Para evaluarlo se consideran las características siguientes: dimensiones del edificio en elevación, altura de columnas, alturas de piso y número de columnas cortas. Para su evaluación se utiliza la siguiente expresión :

$$FEC = F14 + F15 + F16 + F17 . \quad (2.5)$$

donde :

F14: factor de esbeltez en elevación.

F15: factor de altura de columnas.

F16: factor de distribución de rigidez en elevación.

F17: factor de forma en elevación.

- *Factor de interacción con estructuras adyacentes, FPO.* Este factor muestra el efecto de estructuras colindantes con el edificio en estudio. Para su evaluación se necesitan considerar las alturas tanto del edificio en estudio, como de cada uno de sus pisos.
- *Factor de resistencia lateral, FSD.* Para evaluar este factor se necesita calcular el valor del cortante sísmico del edificio, de acuerdo al código de diseño sísmico vigente .

El factor de evaluación preliminar, FPE se determina a partir de las seis contribuciones anteriores:

$$FPE = FPS + FE + FPC + FEC + FPO + FSD . \quad (2.6)$$

Este factor, se compara con los límites presentados en la tabla 2.4, para determinar el valor de vulnerabilidad.

- b) Factor de detalles, FDE. Evalúa la distribución del refuerzo en los elementos. Se define a partir de los siguientes factores:

Factor considerado	Valor mínimo	Valor máximo
Factor de evaluación preliminar, F_{pe} :		
a) Factor de estado actual del edificio, F_{ea}	50	1550
b) Factor de configuración de elementos, F_c	0	600
c) Factor de configuración en planta del edificio, F_{cp}	0	1400
d) Factor de configuración en elevación del edificio, F_{ce}	0	1100
e) Factor de interacción con estructuras adyacentes, F_{ia}	0	250
f) Factor de resistencia lateral, F_{rl}	0	300
Factor de evaluación de detalles, F_{ad} :		
Elementos en flexión		
1) Factor de detalle longitudinal, F_{dl}	0	150
2) Factor de refuerzo confinado, F_{rc}	0	200
3) Factor de traslape en empalmes, F_{te}	0	100
Elementos cargados axialmente		
1) Factor de detalle longitudinal, F_{dl}	0	150
2) Factor de refuerzo confinado, F_{rc}	0	200
3) Factor de traslape en empalmes, F_{te}	0	125
Factor de supervisión en la construcción, F_{sc}	0.5	1
Factor de similitud y efectos del sitio, F_{se} :		
a) Factor de similitud, F_s	0.8	1
b) Factor de efectos del sitio, F_{st}	0.8	1
c) Factor de potencia de licuefacción, F_{ul}	0.8	1

Nivel de vulnerabilidad sísmica	Bajo	Alto
Factor de evaluación preliminar, F_{pe}	≥ 4000	$4000 <$
Factor de evaluación de detalles, F_{ad}	≥ 1600	$1600 <$
Nivel de riesgo sísmico	Bajo	Alto
Factor de riesgo, F_r	≥ 4400	$4400 <$

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

Tabla 2.4 Valores límites según la metodología de Soliman et al (1990).

- *Elementos en flexión*, incluye la determinación de los siguientes factores: factor de detalle longitudinal, $FLFE$; factor de refuerzo confinado, $FWFE$ y factor de traslape en empalmes, $FSFE$.

Para evaluar estos factores es necesario conocer la cantidad de acero proporcionada, la relación del acero balanceada, el esfuerzo de fluencia del acero f_y , espaciamiento y diámetro de los estribos.

- *Elementos cargados axialmente* : se evalúa a partir de los siguientes factores: factor de detalle longitudinal, FLA ; factor de refuerzo confinado, FCA , y factor de traslape en empalmes, FSA .

La evaluación de estos factores se hace contando con datos tales como: diámetro del refuerzo longitudinal, espaciamiento de estribos, la resistencia a la compresión del concreto, esfuerzo de fluencia del acero y altura de las columnas.

- *Factor de supervisión en la construcción*, Fcs . Este factor, toma en cuenta el tipo de supervisión que existió en el desarrollo de la construcción. Su evaluación requiere de una investigación a través de entrevistas, etc.

El factor final de detalles se evalúa como se muestra en la siguiente ecuación:

$$FDE = (FLFE + FWFE + FSFE + FLA + FCA + FSA) \times Fcs. \quad (2.7)$$

Este factor se compara con los límites presentados en la tabla 2.4 para definir el nivel de vulnerabilidad.

El factor que evalúa la vulnerabilidad, se define de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Vulnerabilidad} = (FPE + FDE). \quad (2.8)$$

- c) Factor de sismicidad y efectos del sitio, Fss . Toma en cuenta la peligrosidad de la zona, para lo que se determinan parámetros como período de retorno, vida útil del edificio y probabilidad de excedencia. Para cuantificar la incidencia de las características del sitio en la respuesta total de la estructura, se determina el tipo de suelo y su potencial de licuefacción. Así:

$$F_{SS} = (F_{SI} \times F_{ST} \times F_{LI}) . \quad (2.9)$$

donde:

F_{SI} : factor de sismicidad.

F_{ST} : factor de efectos del sitio.

F_{LI} : factor de potencial de licuefacción.

d) Factor de nivel de riesgo sísmico del edificio F_{RS} . Se evalúa de la siguiente manera:

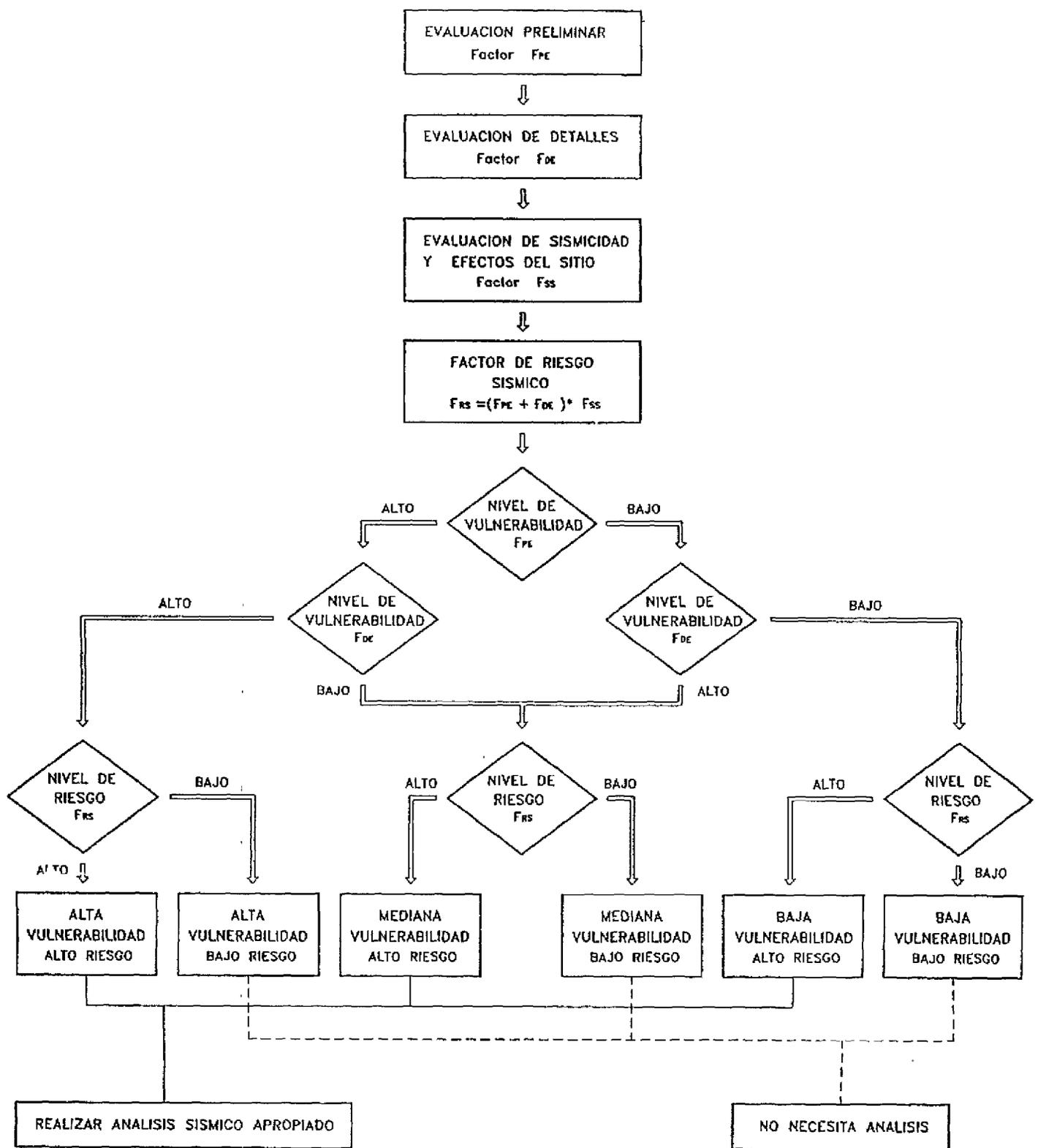
$$F_{RS} = (F_{PE} + F_{DE}) \times F_{SS} . \quad (2.10)$$

Este factor, se compara con los límites presentados en la tabla 2.4, para determinar el nivel de riesgo sísmico.

Una vez obtenidos los índices de vulnerabilidad y riesgo sísmico para cada edificio se puede determinar su capacidad sísmica dependiendo de la clasificación obtenida en base a las siguientes combinaciones:

- 1) Alta vulnerabilidad y bajo riesgo sísmico.
- 2) Mediana vulnerabilidad y bajo riesgo.
- 3) Baja vulnerabilidad y bajo riesgo.
- 4) Alta vulnerabilidad y alto riesgo sísmico.
- 5) Mediana vulnerabilidad y alto riesgo sísmico.
- 6) Baja vulnerabilidad y alto riesgo.

Si el edificio está dentro de las primeras tres categorías, se puede considerar su capacidad sísmica adecuada para resistir eventos sísmicos, en caso contrario, esta metodología recomienda un segundo nivel de evaluación, a través de un método analítico. Ver figura 2.8.



FUENTE : Saliman et al, Metodología para la evaluación de riesgo sísmico en estructuras de concreto reforzado, Imperial College and University of Colco, 1990,p

Figura 2.8 Flujograma para la evaluación de la capacidad sísmica.