

## **CAPITULO VI**

## CAPITULO VI : APLICACION DEL METODO Y PRESENTACION DE RESULTADOS

### 6.1 GENERALIDADES.

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica y riesgo sísmico de las estructuras en estudio se hará a través de la utilización de las adecuaciones planteadas anteriormente en el capítulo IV, basadas en la metodología propuesta por Soliman et al (1990) para edificios de marcos de concreto.

El primer paso para la aplicación de estas metodologías, es la recolección de información a través de visitas de campo, estudios de suelos, planos arquitectónicos y estructurales existentes. En este sentido, es importante mencionar que la confiabilidad de los resultados dependerá en gran medida de los datos aquí obtenidos, y que la falta de alguno de ellos limitará su aplicación.

En esta etapa uno de los mayores problemas que se presentan es la falta de juegos completos de planos, ejemplo de ello es el Hospital San Rafael (Santa Tecla). Este centro está compuesto por edificios construidos con adobe y un edificio de marcos de concreto, de los cuales no se obtuvo ningún plano que mostrara su distribución en planta o detalles de refuerzo. En condición similar se encuentran las Unidades de Salud de Panchimalco, San Pedro Nonualco y La Libertad, y el Hospital Santa Gertrudis de San Vicente. En estos casos la aplicación del método se limita al cálculo de los factores que se puedan obtener en base a la información recolectada por medio de las visitas de campo.

Este capítulo tiene como objetivo mostrar la forma de aplicación de la metodología propuesta por Soliman et al y las adecuaciones elaboradas. Para efectos ilustrativos, se presentan las memorias de cálculo de cuatro de las edificaciones es estudio; los resultados de las estructuras restantes se presentan en las tablas resumen.

## 6.2 METODOLOGÍA PLANTEADA EN ESTA INVESTIGACIÓN.

### 6.2.1 Ejemplos de aplicación: memorias de cálculo.

#### 1) Estructura Tipo I: Mampostería de refuerzo integral con sistema de techo flexible.

Colegio Externado de San José, San Salvador.

#### 1) Factor de Evaluación Preliminar, FPE.

##### a) Estado actual del edificio, Fps.

##### a.1 Factor de grietas y/o deterioro, F<sub>1</sub>.

##### i. Determinación del Factor de Grietas.

En la determinación de este factor se hará uso de la tabla 4.9, tomando en cuenta la condición de las paredes, que no presentaban ningún tipo de agrietamiento, la estructura metálica sin corrosión y lo que respecta al techo y cielo falso se encontraban en una condición aceptable. Por tanto, en los ejes x e y:

$$F_1 = 350 + 150 + 100$$

$F_{1X} = 600$
----------------

$F_{1Y} = 600$
----------------

##### a.1.2 Factor de mantenimiento, F<sub>2</sub>.

##### i. Asignación de la condición general del edificio.

Con  $F_1 = 600$ , se determina que el valor de  $F_G$  viene dado por la tabla 4.13 y es igual a:

$$F_G = 200$$

##### ii. Determinación del factor de mantenimiento, F<sub>2</sub>

Se determina el factor  $F_{GT}$ , que viene dado por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} F_{GT} &= F_1 + F_G \\ F_{GT} &= 600 + 200 \\ F_{GT} &= 800 \end{aligned}$$

Para poder evaluar el factor  $F_2$  es necesario establecer el grado de mantenimiento que la estructura ha recibido.

Luego de realizar entrevistas al personal de mantenimiento, se tuvo conocimiento que la estructura ha recibido un mantenimiento de carácter intermitente, esto junto con la tabla 4.14 hacen que el factor  $F_2$  tenga un valor de :

$$F_{2X} = 150$$

$$F_{2Y} = 150$$

#### a.1.3 Factor de edad del edificio, $F_3$ .

Para la determinación de este factor, es necesario conocer cuál es la edad del edificio.

Se sabe que la infraestructura de este edificio quedó construida en el año 1987, por lo que tiene una edad de 10 años.

Utilizando la tabla 4.15 y una vida útil de 50 años, se tiene que la relación entre edad y vida útil tiene un valor del 18 %;  $F_3$  tiene un valor de :

$$F_{3X} = 300$$

$$F_{3Y} = 300$$

#### a.1.4 Factor de exposiciones sísmicas, $F_4$ .

Considerando que la estructura ha estado sometida a más de tres exposiciones sísmicas con intensidades menores que V (MM) a lo largo de los últimos 10 años, el factor  $F_4$ , de acuerdo a tabla 4.16 tiene un valor de :

$$F_{4X} = 150$$

$$F_{4Y} = 150$$

Con la determinación de los cuatro valores antes mencionados, el factor del estado actual del edificio se obtiene como la suma de ellos:

$$F_{PS} = 600 + 150 + 300 + 150$$

$$F_{PSX} = 1200$$

$$F_{PSY} = 1200$$

**b) Factor de configuración de elementos,  $F_E$ .**

*b.1 Factor de espesor de paredes,  $F_5$ .*

*i. Factor de espesor de elementos,  $F_D$ .*

El espesor de todas las paredes que conforman el centro educativo es de 15 cm; siendo así,  $F_D$  según la tabla 4.17 tiene un valor de:

$$F_D = 100$$

*ii. Factor final de dimensión de elementos,  $F_5$ .*

Como todas las paredes cumplen con la especificación correspondiente al apartado i., se tiene que el valor de  $F_{CORR}$  es igual a 1.0, entonces :

$$F_5 = F_{CORR} \times F_D$$

$$F_5 = (1.0) \times (100)$$

$$F_{5X} = 100$$

$$F_{5Y} = 100$$

*b.2 Factor de altura de paredes,  $F_6$ .*

Considerando el Reglamento de Emergencia de Diseño Sísmico de El Salvador, el cual establece que la relación máxima de altura

de paredes sin soporte lateral a espesor no debe exceder de 25, el cálculo del factor  $F_6$  se obtiene de la siguiente manera:

i. Factor de altura.

De visitas de campo y del detalle de planos E-15, se tiene:

\*En eje x:

Paredes con alturas de  $h = 3.10$  m y  $h = 4.25$  m, ambas con un espesor de 15.0 cm, de tal forma que :

$$h / t = 3.10 / 0.15$$

$$h / t = 20.67$$

$$h / t = 4.10 / 0.15$$

$$h / t = 28.33$$

Según la tabla 4.21 se tiene que  $F_s = 87.50$

ii. El factor de altura final se obtiene como:

$$F_6 = F_s \times F_{CORR}$$

$$F_6 = ( 175 ) \times F_{CORR}, \text{ donde } F_{CORR} = 0.00$$

$F_{6X} = 0.00$
-----------------

\*En eje y:

En este sentido, todas las paredes tienen altura variable desde 3.10m hasta 4.25m, por tal motivo, para el cálculo de este factor se procedió a determinar una altura promedio  $h_{prom} = (3.10+4.25)/2 = 3.68$ m

Con un espesor de 15.0 cm, se obtiene :

$$h / t = 3.68 / 0.15$$

$$h / t = 24.53$$

Según la tabla 4.21 se tiene que  $F_s = 175.00$

ii. El factor de altura final se obtiene como:

$$F_6 = F_s \times F_{CORR}$$

$$F_6 = (175) \times F_{CORR}, \text{ donde } F_{CORR} = 1.00$$

$$F_{6Y} = 175$$

b.3 Factor de distribución de huecos en elementos estructurales,  $F_7$ .

El efecto de la existencia de huecos de puertas y ventanas en cada uno de los grupos de paredes que se tienen, se ve reflejado en este factor; los parámetros involucrados en el cálculo del factor se resumen en la siguiente tabla :

En eje x:

Pared tipo	Ancho (m)	Alto (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Area de huecos (m <sup>2</sup> )	% de huecos en pared	FED
1	7.00	3.10	21.70	12.15	55.99	0.00
2	7.00	4.25	29.40	6.96	23.67	125

Tabla 6.1 Porcentaje de huecos en pared, eje x.

Utilizando la tabla 4.25 y tomando en cuenta que el porcentaje de paredes tipo 1 es del 50%, el cuál sobrepasa el límite establecido en la tabla mencionada, se le asigna por tanto un valor de  $FED = 0$ . Las paredes tipo 2, que constituyen el otro 50%, poseen un porcentaje de huecos menor al 45%, razón por la que se les corresponde un  $FED = 125$ . El valor total de este factor es el resultado del promedio, por lo tanto  $FED = 67.50$ .

El factor de corrección se obtiene utilizando el valor anterior y utilizando la figura C-17 del Anexo C, se tiene un valor para  $F_{CORR} = 0.0$  y por tanto un  $F_7 = 0$ . Dicho resultado indica que el grado de distribución de los huecos sobrepasa el valor de 45% del área total de la pared, lo que podría implicar que ésta se comporte desfavorablemente ante una sollicitación sísmica.

$$F_{7X} = 0$$

En eje y:

Pared tipo	Ancho (m)	Alto prom (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Area de huecos (m <sup>2</sup> )	% de huecos en pared	FED
3	7.00	3.68	25.73	5.50	21.38	125
4	7.00	3.68	25.73	0.00	0.00	125

Tabla 6.2 Porcentaje de huecos en pared, eje y.

$$F_{\gamma} = 125$$

La configuración final de los elementos se obtiene como la suma de los tres factores antes descritos, así:

$$\begin{aligned} \text{En x:} \\ &= 100 + 0 + 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{En y:} \\ &= 100 + 175 + 125 \end{aligned}$$

$$F_{EX} = 100$$

$$F_{EY} = 400$$

c) Factor de interacción con estructuras adyacentes,  $F_{ro}$ .

La ubicación de la estructura dentro de la cuadra es aislada, de tal forma que la separación entre edificios es mayor a la especificada en las tablas 4.38 y 4.39 en ambos sentidos. El valor para este factor es de:

$$F_{POX} = 250$$

$$F_{POY} = 250$$

d) **Factor de diseño estructural,  $F_{SD}$ .**

El diseño estructural de este edificio se hizo con el código de diseño vigente, por lo tanto, considerando la tabla 4.43, el valor de  $F_{SD}$  se puede obtener así :

$$F_{SDX} = 300$$

$$F_{SDY} = 300$$

Una vez determinadas las contribuciones anteriores, se procede a evaluar el factor de evaluación preliminar a través de la sumatoria de cada uno de ellos, así:

$$F_{PE} = F_{PS} + F_E + F_{PO} + F_{SD}$$

En x:

$$1200 + 100 + 250 + 300 = 1850$$

En y:

$$1200 + 400 + 250 + 300 = 2150$$

$$F_{PEX} = 1850$$

$$F_{PEY} = 2150$$

## 2. Evaluación de Detalles.

Las condiciones para los ejes x e y son similares en lo que se refiere a su configuración de los detalles, de tal forma que para ambos sentidos los valores de los factores para la evaluación de detalles, es como sigue:

a. Refuerzo en paredes,  $F_{RP}$ .

a.1 *Factor de refuerzo total,  $F_{RP}$ .*

El cálculo esta hecho según los valores dados en la tabla 4.45, y las hojas E-8, E-9 y E-13 del anexo I, el valor del factor vendrá dado según la siguiente ecuación:

$$FRP = [ \sum (f_{RPi})N_i ] / N_b$$

donde :

$N_i$  : número de paredes del grupo.

$N_b$  : número total de paredes.

Deben calcularse el área de refuerzo vertical y horizontal,. Así:

% de acero de refuerzo ( $\rho$ )		Pared 1	Pared 2
Area refuerzo vertical	cm <sup>2</sup>	42.7500	42.7500
Area refuerzo horizontal	cm <sup>2</sup>	16.6300	12.6700
H pared ( cm )	cm <sup>2</sup>	420.000	320.000
L pared ( cm )	cm <sup>2</sup>	700.000	700.000
t pared ( cm )	cm <sup>2</sup>	15.000	15.000
% refuerzo vertical + % refuerzo horizontal	cm <sup>2</sup>	0.00695	0.00633

Tabla 6. 3 Área de refuerzo y paredes, f1

Todo lo anterior combinado con el establecido en tabla 4.45, y considerando que existen paredes tipo 1 y paredes tipo 2 que cumplen, se obtiene el valor de:

$$f_{RP1} = 250$$

El factor No.2 de la tabla 4.45 compara el área de refuerzo en cualquier sentido con el 0.0005 establecido en la metodología, así :

% de acero de refuerzo ( $\rho$ )		Pared 1	Pared 2
Area refuerzo vertical	cm <sup>2</sup>	42.7500	42.7500
Area refuerzo horizontal	cm <sup>2</sup>	16.6300	12.6700
% refuerzo vertical	cm <sup>2</sup>	0.00432	0.00432
% refuerzo horizontal	cm <sup>2</sup>	0.00264	0.00201

Tabla 6. 4 Área de refuerzo y paredes, f2

Todo lo anterior combinado con el establecido en tabla 4.45, y considerando que existen paredes tipo 1 y paredes tipo 2 (ver plano E-15 del Anexo I) que cumplen, se obtiene el valor de:

$$f_{RP2} = 150$$

El valor total para  $f_{RT}$  es de:

$$F_{RPX} = 400$$

$$F_{RPY} = 400$$

**a.2 Factor de diámetros y espaciamientos mínimos del refuerzo,  $F_{DR}$ .**

Este parámetro considera el diámetro de las varillas y su espaciamiento, información que se compara con la tabla 4.46, y de esa forma se obtiene un valor de:

$$F_{DRX} = 500$$

$$F_{DRY} = 500$$

**a.3 Factor de traslapes y uniones,  $F_{UP}$ .**

Este factor considera el traslape y uniones en paredes, información que se compara con la tabla 4.47. Se obtiene un valor de:

$$F_{UPX} = 300$$

$$F_{UPY} = 300$$

El factor de refuerzo en paredes ( $F_{RP}$ ) es el resultado de la suma de los factores anteriores:

En x:

$$400 + 500 + 300 = 1200$$

En y:

$$400 + 500 + 300 = 1200$$

$$F_{RPX} = 1200$$

$$F_{RPY} = 1200$$

**b) Cimientos en paredes,  $F_{CP}$ .**

Utilizando la tabla 4.48, y hoja E-3 del anexo I, el valor asignado a este factor es de cero, pues las dimensiones de la solera existente no cumple con la condición propuesta.

$$F_{CPX} = 0.00$$

$$F_{CPY} = 0.00$$

**c) Detalles adicionales en paredes,  $F_{DA}$ .**

Para el factor  $F_{DA}$  se hace uso de los planos de detalles E-2 y E-8, y la tabla 4.49, donde el factor  $f_{DA9}$  :

	CONDICION	Pared 1	Pared 2
Sección de solera coronamiento (cm) :	15 x 20	15 x 20	15 x 20
Refuerzo para espesor de 15 cm (cm <sup>2</sup> ) :	7.92	1.43	1.43

$$F_{DA9X} = 0.00$$

$$F_{DA9Y} = 0.00$$

La condición planteada en el factor No. 10 se cumple en su totalidad, otorgando así :

$$F_{DA10X} = 350$$

$$F_{DA10Y} = 350$$

El valor total para el factor de detalles adicionales:

$$F_{DAX} = 350$$

$$F_{DAY} = 350$$

d) Factor de supervisión en la construcción,  $F_{CS}$ .

Entrevistando al personal del centro educativo, se tiene conocimiento que en la construcción hubo una supervisión ingenieril.

Según tabla 4.59 se recomienda usar un valor de 1.0 cuando ha habido una supervisión ingenieril.

$$F_{CSX} = 1.0$$

$$F_{CSY} = 1.0$$

Finalmente y utilizando todos los parámetros antes mencionados, el factor de detalle se obtiene de multiplicar al factor  $F_{RP}$  por el factor de supervisión, así :

$$F_{DE} = ( F_{RP} + F_{CP} + F_{DA} ) \times F_{CS}$$

En x:

$$F_{DE} = ( 1200 + 0 + 350 ) \times (1.0)$$

En y:

$$F_{DE} = ( 1200 + 0 + 350 ) \times (1.0)$$

$$F_{DEX} = 1550$$

$$F_{DEY} = 1550$$

3) Cálculo del Factor de Vulnerabilidad.

$$\text{Factor de Vulnerabilidad} = F_{PE} + F_{DE}$$

$$\begin{aligned} \text{- En dirección x : F. Vulnerabilidad} &= 1850 + 1550 \\ &\underline{\underline{3400.00}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- En dirección y : F. Vulnerabilidad} &= 2150 + 1550 \\ &\underline{\underline{3700.00}} \end{aligned}$$

#### 4) Cálculo de Factor de Peligrosidad y Efectos de sitio.

La determinación de la Peligrosidad y Efectos de sitio, requiere el cálculo siguiente:

a) **Factor de peligrosidad,  $F_{PEL}$ .**

Considerando la ubicación del edificio en estudio, la figura 4.1 y la tabla 4.2, el valor para  $F_{PEL}$  es de:

$$F_{PEL} = 0.9$$

b) **Factor de efectos de sitio,  $F_{ST}$ .**

De acuerdo a estudios de suelo, en los que se clasifica como arena limosa, y a la tabla 4.3:

$$F_{ST} = 0.9$$

c) **Factor de potencial de licuefacción,  $F_{LI}$ .**

Considerando los estudios de suelo, la figura B.1 del anexo B, y a la tabla 4.4 :

$$F_{LI} = 1.0$$

Una vez determinados los factores anteriores, es posible obtener el valor de  $F_{SS}$  :

$$F_{PELST} = 0.81$$

#### 5) **Nivel de Riesgo Sísmico.**

De acuerdo a las tablas 4.60 y 4.63:

- Nivel de vulnerabilidad : **MEDIANO**

- Nivel de Peligrosidad y efectos de sitio: **BAJO**

De la figura 4.2, se establece el nivel de riesgo: **BAJO RIESGO**

II) Estructura Tipo II: Mampostería confinada con sistema de techo flexible. Unidad de Salud de Armenia, Sonsonate (ampliación).

1) Factor de Evaluación Preliminar, FPE.

a) Estado actual del edificio, Fps.

a.1) Factor de grietas y/o deterioro, F<sub>1</sub>.

i. Determinación del Factor de Grietas.

En la determinación de este factor se hará uso de la tabla 4.10. En esta unidad de salud el estado actual no presentaba tipo alguno de agrietamiento, por consiguiente, el valor de F<sub>1</sub> tiene el siguiente valor :

$$F_1 = 300 + 150 + 100 + 50$$

$F_1 = 600$
-------------

a.2) Factor de mantenimiento, F<sub>2</sub>.

i. Asignación de la condición general del edificio

Sabiendo que su F<sub>1</sub> = 600, y que no se presentan grietas en la estructura, se determina que el valor de F<sub>c</sub> con la tabla 4.13,

$$F_c = 200$$

ii. Determinación del factor de mantenimiento, F<sub>2</sub>

El factor F<sub>GT</sub>, viene dado por la siguiente expresión :

$$F_{GT} = F_1 + F_c$$

$$F_{GT} = 600 + 200$$

$$F_{GT} = 800$$

Según entrevistas realizadas al personal de mantenimiento, se puede determinar que se ha dado un mantenimiento de carácter continuo, esto junto con la tabla 4.14 hacen que el factor F<sub>2</sub> tenga una valor de:

$F_2 = 200$
-------------

a.3) *Factor de edad del edificio, F<sub>3</sub>.*

Esta unidad de salud se terminó de construir en el mes de marzo de 1994, por lo que tiene 2 años de servicio.

Utilizando la tabla 4.15 y a sabiendas que para estructuras de mampostería se considera una vida útil de 50 años, se tiene que la relación entre edad y vida útil tiene un valor del 4 %, asignando a F<sub>3</sub> tiene un valor de :

$$F_3 = 300$$

a.4) *Factor de exposiciones sísmicas, F<sub>4</sub>.*

De acuerdo a datos recolectados y entrevistas efectuadas a personas residentes en el lugar, se dice que este sitio ha sufrido más de tres exposiciones sísmicas de grado menor a V ( MM ) a lo largo de los últimos 2 años, por tal motivo, se tiene que el factor F<sub>4</sub> tenga un valor de :

$$F_4 = 150$$

Una vez calculados los cuatro valores antes mencionados, el factor del estado actual del edificio se obtiene como la suma de ellos:

$$F_{PS} = 600 + 200 + 300 + 150$$

$$F_{PS} = 1250$$

b) *Factor de configuración de elementos, F<sub>E</sub>.*

b.1 *Factor de espesor de paredes, F<sub>s</sub>.*

i. *Factor de espesor de elementos, F<sub>D</sub>.*

Según inspección de campo, el espesor de todas las paredes eran mayores a los 10 cms, por tal razón, el valor de F<sub>D</sub> según la tabla 4.18 tiene un valor de:

$$F_D = 100$$

ii. Factor final de dimensión de elementos,  $F_5$ .

Como todas las paredes cumplen con la especificación correspondiente al apartado i., se tiene que el valor de  $F_{CORR}$  es igual a 1.0, entonces :

$$F_5 = F_{CORR} \times F_D$$

$$F_5 = (1.0) \times (100)$$

$F_5 = 100$
-------------

b.2 Factor de altura de paredes,  $F_6$ .

El cálculo del factor  $F_6$  se obtiene de la siguiente manera:

i. Factor de altura.

De visitas de campo y de planos se tiene que las paredes tienen un valor máximo de  $h = 2.85$  m y un espesor de 14.0 cm, en ese sentido, se tiene que :

$$h / t = 3.10 / 0.14$$

$$h / t = 22.14 > 20.00$$

Según la tabla 4.22 se tiene que  $F_5 = 0.0$

ii. El factor de altura final se obtiene como:

$$F_6 = F_5 \times F_{CORR}$$

$$F_6 = (0) \times F_{CORR}, \text{ donde } F_{CORR} = 1.0$$

$F_6 = 0.0$
-------------

b.3 Factor de distribución de huecos en elementos estructurales,  $F_7$ .

Para una representación de los cálculos realizados se presenta la siguiente tabla (Para distribución de paredes ver anexo I):

Pared	Area bruta	Area de huecos	% de huecos en pared
1	10.04	4.72	47.02
2	15.07	4.48	29.71
3	18.46	5.87	31.81
4	11.78	2.10	17.83