

**REPUBLICA DE EL SALVADOR
MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y
ASISTENCIA SOCIAL**

UNIDAD TECNICA DE DESASTRES

UNIVERSIDAD "JOSE SIMEON CAÑAS"

RESUMEN

**EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA
A INSTITUCIONES DE SALUD**

**Elaborado por: Ing. José Francisco Vargas
Departamento de Ingeniería de Salud**

OCTUBRE, 1996

INDICE

	Pág. No.
I. INTRODUCCION	1
1. PROBLEMATICA	2
2. ALCANCES	2
3. HIPOTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS	3
4. LUGARES DE ESTUDIO	4
5. METODOLOGIAS PARA LA EVALUACION DE DAÑOS: VULNERABILIDAD	6
II. AVANCES	12
ANEXOS	

I. INTRODUCCION

El presente informe es un Resumen del proyecto de "Evaluación de la vulnerabilidad sísmica a las instalaciones de Salud" que se está desarrollando en coordinación con la Universidad "José Simeón Cañas" por medio de estudiantes de Ingeniería Civil.

Esta actividad forma parte del cumplimiento a los Acuerdos tomados en la Conferencia Internacional sobre la mitigación de los efectos de los desastres en los centros hospitalarios, celebrada en México, D.F. del 26 al 28 de febrero de 1996.

A continuación se describen los aspectos más relevantes del proyecto y se da un avance de lo realizado.

1. PROBLEMATICA

La problemática a resolver consiste en la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico en los centros hospitalarios seleccionados, con el objeto de determinar su capacidad sísmica.

Una vez establecidos los resultados, se pretende proporcionar medidas de mitigación, las cuales se definirán de acuerdo a los factores que más inciden en la reducción de la capacidad sísmica.

Por lo tanto, es importante analizar la contribución de cada factor en la respuesta total, para ello se puede hacer uso de los valores límites establecidos.

De esta manera analizando los valores del Anexo I, se observa que los parámetros más importantes en el factor de evaluación preliminar están involucrados con el estado actual del edificio y su configuración en planta. Por otra parte, en el factor de evaluación de detalles, los de mayor incidencia son para los elementos en flexión, el de refuerzo transversal; y para elementos cargados axialmente, el de refuerzo confinado.

2. ALCANCES

A partir del desarrollo de la investigación, se está elaborando un documento que sirva de apoyo para la evaluación del nivel de vulnerabilidad sísmica a través de un método de carácter cualitativo. Para lograrlo, se hace una descripción del método y para su aplicación se requerirá de cuantificación de las principales características dinámicas y físicas de las estructuras. Algunas de las características a determinar son: grietas del edificio, edad, historial de intensidades registradas en la región, esbeltez de los elementos, distribución de rigideces, configuración en planta y elevación de las edificaciones.

Para la medición cuantitativa de estas características, se recopila información de cada uno de los sitios, a través de visitas de campo, planos arquitectónicos y estructurales y pruebas de suelos en los emplazamientos.

Con la información obtenida se está conociendo la vulnerabilidad, riesgo y capacidad sísmica de las estructuras.

Para el desarrollo de la investigación, es importante destacar que se hará una adaptación de aquellos parámetros que se crea conveniente, para que el método proporcione valores representativos independientemente del tipo de estructura. Esta adaptación, se verá sujeta a una validación o revisión de acuerdo a los códigos de diseño existentes en el país.

3. HIPOTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS

3.1 Hipótesis

Se está determinando la vulnerabilidad de los centros en estudio a través de una metodología de carácter cualitativo, aplicable a estructuras de concreto reforzado. Esta será modificada de tal manera que pueda ser utilizada en diferentes tipos de estructuras. A partir de lo antes expuesto se plantea la siguiente hipótesis:

"La metodología elaborada por Soliman et al (1990) junto con las adecuaciones que se realicen en ella, permitirá evaluar la vulnerabilidad, riesgo y capacidad sísmica de las edificaciones en estudio, independientemente de la tipología que éstas presenten".

3.2 Objetivos

- a) Evaluar la vulnerabilidad y riesgo sísmico, a través de una metodología que tome en cuenta las características dinámicas más importantes de la estructura, la peligrosidad sísmica de la zona en estudio, las propiedades de los suelos y la susceptibilidad del suelo a la licuefacción.
- b) Conocer en base a información obtenida de planos estructurales y arquitectónicos, el detalle de refuerzo, la simetría de la estructura, las dimensiones de los elementos y especificaciones de los materiales utilizados; todo ello con el propósito de calcular algunos de los factores necesarios para determinar el nivel de vulnerabilidad y riesgo sísmico según el método considerado.

- c) Conocer en base a la información obtenida de las investigaciones de campo la condición actual de los edificios, es decir, la existencia de grietas, el uso actual del edificio, grado de mantenimiento y cambios en la distribución en planta y elevación con respecto a los planos respectivos.
- d) Proponer medidas de mitigación de daños, de acuerdo con los resultados obtenidos.

4. LUGARES DE ESTUDIO

Como parte inicial del estudio se han seleccionado cuatro hospitales, cinco unidades de salud (lugares donde se ha instalado una red de instrumentos de registro sísmico) los cuales se muestran en la Tabla N° 1:

TABLA N° 1

LUGARES DE ESTUDIO
Armenia (Unidad de Salud)
La Libertad (Unidad de Salud)
Tonacatepeque (Unidad de Salud)
Panchimalco (Unidad de Salud)
San Pedro Nonualco (Unidad de Salud)
Hospital Santa Gertrudis (San Vicente)
Hospital Santa Teresa (Zacatecoluca)
Hospital San Bartolo (Ilopango)
Hospital San Rafael (Santa Tecla)

La selección de estos sitios como estaciones de registro, obedece a los siguientes criterios:

- a) En las cercanías donde se encuentran emplazados los hospitales y unidades de salud se ha obtenido información de movimientos sísmicos que han causado daños a través de la historia de este país, por tal motivo se hace necesario cuantificar los posibles efectos sobre dichos centros, con el fin de proponer medidas de mitigación de daños. Ver Tabla N° 2.

TABLA N° 2

FECHA	REGION	DESCRIPCION DEL DAÑO
1906	San Salvador	Se destruye mucho la capital.
1912	Occidente	Daños ligeros en Armenia, Izalco y Santa Ana.
1915	Juayúa	Terremoto severo causa daños en Juayúa.
1917	Central y Occidente	Se destruye San Salvador, Apopa, Nejapa, Quezaltepeque, Opico y Armenia por la erupción del Boquerón.
1919	San Salvador	Violento terremoto destruye San Salvador y Soyapango.
1921	Central	Zacatecoluca destruida, grandes daños en San Juan Nonualco y San Nicolás Lempa. Se declara catástrofe nacional.
1932	Zacatecoluca	Ruina completa en Zacatecoluca.
1936	San Vicente	Ruina total en la ciudad de San Vicente y Villa de San Esteban.
1937	Ahuachapán	Terremoto destruye las ciudad de Ahuachapán, Atiquizaya y Turín.
1947	La Unión	Sacudida causa daños en La Unión.
1951	Jucuapa	Fuerte terremoto destruye Jucuapa, Chinameca, San Buenaventura y Nueva Guadalupe.
1965	San Salvador	Largo terremoto destruye las áreas de San Salvador, Ilopango, Soyapango y vecindades.
1982	San Salvador	Daños en San Salvador.
1986	San Salvador	Daños severos en San Salvador.

Fuente: Parker, G.W., "Development of a Risk Model for El Salvador". Engineering Siesmology and Farthquake Engineering, London, 1995. p. 15.

5. METODOLOGIAS PARA LA EVALUACION DE DAÑOS: VULNERABILIDAD

Para evaluar la vulnerabilidad de las estructuras se pueden utilizar métodos estructurales y métodos empíricos, de acuerdo a los objetivos específicos que se buscan en la evaluación del riesgo sísmico. Los métodos estructurales se basan en la estimación de las cargas sísmicas a través de métodos de análisis, tales como: el método de la carga lateral equivalente, el análisis modal y el análisis dinámico. Luego de estimadas las cargas y auxiliados de los planos estructurales, se analiza el proporcionamiento dado a la estructura, obteniendo la resistencia de ésta, la cual se compara con las solicitaciones sísmicas obtenidas. Estos métodos son de utilidad cuando se requiere conocer la vulnerabilidad de una estructura en particular.

Los métodos empíricos son de carácter cualitativo y se basan en registros abundantes y confiables de daños ocurridos en el pasado. Su utilidad es que permiten evaluar la vulnerabilidad en una gran cantidad de estructuras de diferentes tipologías estructurales y para diferentes usos, tal como lo muestran los trabajos realizados por Guinea et al (1995) y Graham P. 1995).

En 1990, Soliman, Elhashai 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 dinámicas 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, asignándoles un valor determinado a cada uno de ellos. 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, F_{PE} .
- b) Factor de evaluación de detalles, F_{DE} .
- c) Factor de evaluación de la sismicidad y efectos del sitio, F_{SS} .
- d) Factor de riesgo sísmico, F_{RS} .

A partir de estos factores se determina la vulnerabilidad y capacidad sísmica de los edificios.

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:

$$F_{PS} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \quad (\text{Ec. 1.1})$$

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 1.2 muestra la evaluación del factor de configuración de elementos:

$$F_E = F_5 + F_6 + F_7 + F_8 \quad (\text{Ec. 1.2})$$

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:

$$F_{PC} = F_9 + F_{10} + F_{11} + F_{12} + F_{13} \quad (\text{Ec. 1.3})$$

donde:

F₉: factor de torsión.

F₁₀: 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, F_{EC}. 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:

$$F_{EC} = F_{14} + F_{15} + F_{16} + F_{17} \quad (\text{Ec. 1.4})$$

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, F_{PO}. 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, F_{SD}. Para evaluar este factor se necesita calcular el valor del cortante sísmico del edificio, de acuerdo a códigos de diseño sísmico vigentes.

El factor de evaluación preliminar, F_{PE} se determina a partir de las seis contribuciones anteriores:

$$F_{PE} = F_{PS} + F_E + F_{PC} + F_{PO} + F_{SD} \quad (\text{Ec. 1.5})$$

Este factor, se compara con los límites presentados en la Tabla ^{3.} 1.5, para determinar el valor de vulnerabilidad.

b) Factor de detalles, F_{DE} . Evalúa la distribución del refuerzo en los elementos. Se define a partir de los siguientes factores:

- Elementos en flexión, incluye la determinación de los siguientes factores: factor de detalle longitudinal, F_{LFE} , factor de refuerzo confinado, F_{WFE} y factor de traslape en empalmes, F_{SFE} . Para evaluar estos factores es necesario conocer la cantidad de acero proporcionada, la relación del acero balanceada, el esfuerzo de fluencia de acero f_y , espaciamiento y diámetro de los estribos.
- Elementos cargados axialmente: se evalúa a partir de los siguientes factores: factor de detalle longitudinal, F_{LA} ; factor de refuerzo confinado, F_{CA} , y factor de traslape en empalmes, F_{SA}

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

- Factor de supervisión en la construcción, F_{CS} . 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:

$$F_{DE} = (F_{LFE} + F_{WFE} + F_{SFE} + F_{LA} + F_{CA} + F_{SA}) \times F_{CS} \quad (\text{Ec.1.6})$$

Este factor se compara con los límites presentados en la Tabla ^{3.} 1.5 para definir el nivel de vulnerabilidad.

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

$$\text{Vulnerabilidad} = (F_{PE} + F_{DE}) \quad (\text{Ec.1.7})$$

- c) **Factor de sismicidad y efectos del sitio, F_{SS} .** 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:

$$F_{SS} = (F_{SI} \times F_{ST} \times F_{LI}) \quad (\text{Ec. 1.8})$$

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:

$$F_{RS} = (F_{PE} + F_{DE}) \times F_{SS} \quad (\text{Ec. 1.9})$$

Este factor, se compara con los límites presentados en la Tabla 3 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.

TABLA 3
VALORES LIMITES SEGUN LA METODOLOGIA DE SOLIMAN et al (1990)

FACTOR CONSIDERADO	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO
Factor de evaluación preliminar, F_{PE}:		
a) Factor del estado actual de edificio, F_{PS}	50	1350
b) Factor de configuración de elementos, F_E	0	600
c) Factor de configuración en planta del edificio, F_{PC}	0	1400
d) Factor de configuración en elevación del edificio, F_{EC}	0	1100
e) Factor de interacción con estructuras adyacentes, F_{PO}	0	250
f) Factor de resistencia lateral, F_{SD}	0	300
Factor de evaluación de detalles, F_{DE}:		
Elementos en flexión		
1) Factor de detalle longitudinal, F_{LFE}	0	150
2) Factor de refuerzo confinado, F_{WFE}	0	200
3) Factor de traslape en empalmes, F_{SFE}	0	100
Elementos cargado axialmente		
1) Factor de detalle longitudinal, F_{LA}	0	150
2) Factor de refuerzo confinado, F_{CA}	0	200
3) Factor de traslape en empalmes, F_{SA}	0	125
	0.5	1
1) Factor de supervisión en la construcción, F_{CS}		
Factor de sismicidad y efectos del sitio, F_{SS}:		
a) Factor de sismicidad, F_{SI}	0.8	1
b) Factor de efectos del sitio, F_{ST}	0.8	1
c) Factor de potencia de licuefacción, F_U	0.8	1

NIVEL DE VULNERABILIDAD SISMICA	BAJO	ALTO
Factor de evaluación preliminar, F_{PC}	≥ 4000	$4000 <$
Factor de evaluación de detalles, F_{DE}	≥ 1600	$1600 <$

NIVEL DE RIESGO SISMICO	BAJO	ALTO
Factor de riesgo, F_{PS}	≥ 4400	$4400 <$

II. AVANCES

Los aportes más importantes de esta investigación se pueden agrupar en tres objetivos:

1. Proporcionar información organizada sobre la infraestructura de los sitios seleccionados a través de inspección, de levantamiento de campo y de comparación con planos disponibles, se han producido planos de plantas, de elevaciones y detalles estructurales. Esta información podrá ser utilizada para planificar modificaciones futuras a las instalaciones. Adicionalmente se han recopilado de diversas fuentes perfiles de perforación de pozos y de sondeos de penetración estándar, lo que ha permitido realizar una caracterización geotécnica de las condiciones de cada sitio. Para complementar esta recopilación, también se están realizando pruebas de penetración estándar en algunos de los sitios. Esta información geotécnica también será importante cuando se planeen ampliaciones o modificaciones en la infraestructura de las dependencias.
2. Adaptar metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica a los tipos de estructuras y a condiciones particulares en El Salvador. Se están adaptando métodos de evaluación de vulnerabilidad para los siguientes tipos de estructuras:
 - Mampostería con refuerzo integral y diafragma flexible.
 - Mampostería confinada y diafragma flexible.
 - Mampostería confinada y diafragma rígido.
 - Marcos de concreto reforzado.

Como base para estas metodologías se ha tomado un método desarrollado en la Universidad del Cairo y el Imperial College de la Universidad de Londres (Soliman, Elnashi y Sobaih, 1990). Este método comprende únicamente marcos de concreto reforzado y condiciones geológicas y sismotectónicas distintas a las de El Salvador, por lo que ha sido necesario realizar la adaptación mencionada anteriormente.

También se pretende que estas metodologías sean de carácter general de tal manera que puedan ser aplicadas posteriormente en otras estructuras del mismo tipo.

3. Evaluar el nivel de vulnerabilidad y riesgo sísmico en las dependencias de salud seleccionadas.

Se darán recomendaciones en relación a los aspectos más importantes que se deberán considerar para mejorar la capacidad sismorresistente de las estructuras analizadas.

ANEXO 1

PORCENTAJES DE INCIDENCIA

SEGUN VALORES MAXIMOS

**PORCENTAJE DE INCIDENCIA DE CADA FACTOR
SEGUN VALORES MAXIMOS**

FACTOR EVALUACION PRELIMINAR		
FACTOR	MAX.VALOR	% INCIDENCIA EN FPE
1. F. Estado Actual	1350	27.00
2. F. Configuración elementos	600	12.00
3. F. Configuración en planta	1400	28.00
4. F. Configuración en elevación	1100	22.00
5. F. Interacción c/estruc.adyacentes	250	5.00
6. F. Resistencia lateral	300	6.00
FACTOR EVALUACION DE DETALLES		
FACTOR		
- Elementos en flexión		
1. F. refuerzo longitudinal	400	19.05
3. F. refuerzo transversal	500	23.80
4. F. traslape en empalmes	300	14.30
- Elementos cargados axialmente		
1. F. refuerzo longitudinal	150	7.10
3. F. refuerzo confinado	550	26.20
4. F. traslape de empalmes	200	9.50

$$\% \text{ de incid. FPE} = \frac{\text{Valor máx(FPE)} - \text{Valor máx}}{\text{Valor máx (FPE)}} \times 100$$

$$\% \text{ de incid. FPE} = \frac{\text{Valor máx(FPE)} - \text{Valor máx}}{\text{Valor máx (FPE)}} \times 100$$

donde: Fi = factor que se evalúe