

Capítulo 4

Metodología para la estimación de daño para edificios en general

4.1 Descripción de la metodología

A continuación se describirán métodos para determinar la probabilidad de daño leve, moderado, general y total para un inventario general de edificios. El inventario general de edificios incluye edificios típicos diseñados mediante las regulaciones sismo-resistentes contenidas en códigos que se clasifiquen entre los niveles alto, moderado, bajo y pre-código.

Este capítulo contempla la descripción detallada de las metodologías para la estimación de daños debido a sismos dadas una serie de características relacionadas con el tipo de edificio y una estimación del movimiento del terreno (grado de falla del terreno). La severidad del daño, debida tanto a componentes estructurales, como no estructurales, se describe como uno de los siguientes cinco estados: sin daño, daño leve, moderado, general y total.

En este capítulo se explica el desarrollo de funciones para la estimación del daño debido al desplazamiento del terreno. Las funciones de daño para edificios incluyen: curvas de fragilidad que describen la probabilidad de alcanzar o de exceder diferentes estados de daño dada una respuesta pico del edificio, y curvas de capacidad del edificio que son usadas (con un espectro de demanda amortiguado modificado) para determinar la respuesta pico de la edificación. En el presente trabajo se emplea la metodología basada en las curvas de fragilidad. Como se explica posteriormente esta es la metodología que permite estimar los daños de uno o varios edificios de un determinado tipo ante la ocurrencia de un sismo específico, como el caso de el sismo que se espera en la Península de Nicoya.

A pesar de que el movimiento del terreno típicamente domina el daño a edificios, la falla del suelo puede contribuir significativamente al daño total. La falla del suelo está asociada a la deformación permanente del terreno (PGD de sus siglas en inglés).

4.1.1 Datos de Entrada Requeridos para el Análisis

Los datos de entrada para estimar el daño en edificios utilizando curvas de fragilidad y curvas de capacidad incluyen los siguientes dos puntos:

- tipo del modelo del edificio (incluyendo la altura) y el nivel de diseño sismo-resistente que representa el edificio o el grupo de edificios de interés, y
- espectro de respuesta (o PGA, para edificios vitales , y PGD para la evaluación de la falla del suelo) en el lugar donde se ubica el edificio o bien el centroide del grupo de edificios a considerar.

Típicamente, el tipo de modelo para el edificio no es conocido para cada edificio y debe ser determinado desde el inventario de instalaciones utilizando la relación entre tipo de edificio y capacidad de ocupación del mismo. En la actualidad, no existe un inventario completo de la infraestructura física educativa y de salud para todo Costa Rica. Por esta razón fue necesario recopilar esta información realizando visitas a estos centros. De esta forma fue posible construir una base de datos que contiene la información que se requiere para aplicar la metodología a todos los centros educativos y de salud en estudio.

Los resultados obtenidos de las curvas de fragilidad son un estimado de la probabilidad acumulada de que se alcance o se exceda , cada estado de daño para el nivel de movimiento del terreno (o falla del suelo) dado. Las probabilidades discretas de estado de daño son creadas utilizando probabilidades de daño acumuladas. Estos resultados de salida pueden ser usados como datos de entrada para realizar estudios posteriores para el cálculo de pérdidas económicas y número de heridos debidos al sismo.

4.1.2 Funciones de Daño

Las funciones de daño para edificios están representadas por medio de curvas de fragilidad, las cuales indican la probabilidad de estar en un estado de daño , o bien estar excediendo dicho estado de daño, para un parámetro de demanda sísmica dado. Este parámetro puede ser un indicativo de la falla del terreno (desplazamiento permanente del

terreno) o de el movimiento del terreno (aceleración pico esperada). En este trabajo se utilizó la aceleración pico esperada, la cual se tomó del trabajo de graduación de A. Bravo y M. Calvo. Sin embargo, estos datos se revisaron mediante los criterios que se exponen en el Capítulo 5 del presente trabajo.

Una curva de fragilidad típica se muestra en la Figura 4.1. Cada curva de fragilidad está definida por el valor medio del parámetro de demanda (por ejemplo aceleración pico o desplazamiento permanente del terreno) el cual corresponde al umbral y a una variabilidad asociada para cada estado de daño.

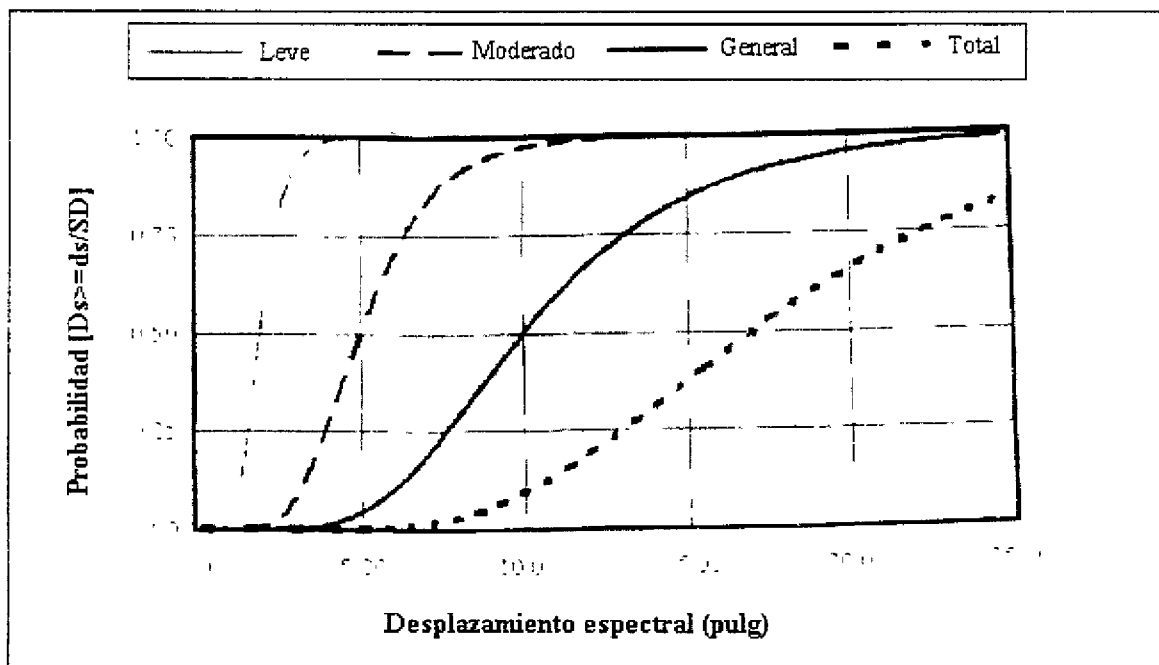


Figura 4.1 Curvas de Fragilidad (adaptado de la Ref. 18)

Los valores medios de aceleración pico y los de su variabilidad han sido desarrollados para cada tipo de estructura, mediante la combinación de información disponible sobre el desempeño de estructuras similares en ensayos de laboratorio, información recabada en sismos pasados y la opinión y el juicio profesional.

En general, la variabilidad de cada estado de daño, β , está determinada por la combinación de los siguientes factores:

- la incertidumbre en el valor del umbral de cada estado de daño.

- la variabilidad en las propiedades de las que depende la capacidad de respuesta de cada modelo estructural.
- la incertidumbre asociada a la variabilidad espacial del parámetro de demanda sísmica (en este caso la aceleración pico esperada)

Para cada una de estas contribuciones a la variabilidad del estado de daño (β) se supone que presenta una distribución normal de valores aleatorios. De esta forma, se aplica el modelo probabilístico de distribución normal para su cálculo

4.2 Descripción de los tipos de modelos para edificios

La tabla 4.1 lista los 36 tipos de modelos para edificios utilizados en la metodología. Estos tipos están basados en el sistema de clasificación del FEMA 178, NERPH Handbook for the Seismic Evaluation of Existing Buildings [FEMA, 1992] (Ref. 18). Además, la metodología separa las clases propuestas por FEMA en rangos según la altura.

Tabla # 4.1
Tipos de estructura propuestos por la metodología HAZUS (Ref. 18)

No.	Abreviación	Descripción	Alto			
			Fila		Típico	
			Nombre	Pisos	Pisos	Metros
1	W1	Madera, Marcos menores ($\leq 500 \text{ m}^2$)		1-2	1	4,20
2	W2	Madera Comercial e Industrial ($> 500 \text{ m}^2$)		Todos	2	8,40
3	S1L	Marcos no arriostrados de Acero	Bajos	1-3	2	8,40
4	S1M		Medios	4-7	5	18,20
5	S1H		Altos	8+	13	47,30
6	S2L	Marcos Arriostrados de Acero	Bajos	1-3	2	8,40
7	S2M		Medios	4-7	5	18,20
8	S2H		Altos	8+	13	47,30
9	S3	Marcos de Acero livianos		Todos	1	4,60
10	S4L	Marcos de Acero con Muros de Concreto Colados en Sitio	Bajos	1-3	2	8,40
11	S4M		Medios	4-7	5	18,20
12	S4H		Altos	8+	13	47,30
13	S5L	Marcos de Acero con Muros De mampostería No Reforzada Confinada	Bajos	1-3	2	8,40
14	S5M		Medios	4-7	5	18,20
15	S5H		Altos	8+	13	47,30
16	C1L	Marcos de Concreto	Bajos	1-3	2	6,10
17	C1M		Medios	4-7	5	15,15
18	C1H		Altos	8+	12	36,40
19	C2L	Muros de Cortante de Concreto	Bajos	1-3	2	6,10
20	C2M		Medios	4-7	5	15,15
21	C2H		Altos	8+	12	36,40
22	C3L	Marcos de Concreto con Muros De Mampostería No Reforzada	Bajos	1-3	2	6,10
23	C3M		Medios	4-7	5	15,15
24	C3H		Altos	8+	12	36,40
25	PC1	Muros de Concreto Prefabricado colado y armado en sitio		Todos	1	4,60
26	PC2L	Marcos de Concreto Prefabricado con Muros de Cortante de Concreto	Bajos	1-3	2	6,10
27	PC2M		Medios	4-7	5	15,15
28	PC2H		Altos	8+	12	36,40
29	RM1L	Muros de Mampostería reforzada tipo Cajon Con Entrepisos de diafragmas de metal o madera	Bajos	1-3	2	6,10
30	RM1M		Medios	4+	5	15,15
31	RM2L	Muros de Mampostería Reforzada con Entrepiso de concreto prefabricado	Bajos	1-3	2	6,10
32	RM2M		Medios	4-7	5	15,15
33	RM2H		Altos	8+	12	36,40
34	URML	Muros de Mampostería sin reforzar	Bajos	1-2	1	4,60
35	URMM		Medios	3+	3	10,60
36	MH	Casas Móbiles		Todos	1	3,00

4.2.1 Sistemas Estructurales

A continuación se presenta una descripción general de cada uno de los 16 sistemas estructurales de tipos de modelos de edificios.

Madera, marcos livianos (W1):

Consisten en estructuras pequeñas, con un área de menos de 500 m². El componente estructural esencial de estas estructuras son marcos y vigas de madera. Los cerramientos de pared están hechos con base en tablas clavadas. Muchos de estas edificaciones, especialmente las que son vivienda de una sola familia, no han sido construidas de acuerdo con las metodologías convencionales solicitadas en los códigos de construcción. Por lo tanto pueden contar componentes estructurales insuficientes para resistir cargas laterales. Las cargas laterales son transmitidas por medio de los diafragmas a muros de cortante. Los diafragmas consisten en láminas de techo y pisos, los cuales se encuentran cubiertos con tablilla o bien plywood. Los muros de cortante están recubiertos por paneles de gipsum o plywood.

Madera, áreas mayores a 500 m² (W2):

Estos edificios generalmente son utilizados para el comercio o la industria, o bien para vivienda multifamiliar con un área mayor a los 500 m². El sistema estructural de estos edificios comprende marcos de madera con vigas de grandes luces. Estos miembros horizontales, pueden ser vigas o armaduras de madera o de acero. Las cargas laterales son resistidas por los diafragmas de madera y los muros exteriores cubiertos por entablillado, plywood u otro tipo de panel de madera.

Marcos no arriostrados de acero (S1):

Estos edificios cuentan con marcos formados por vigas y columnas de acero. En algunos casos las uniones viga-columna tienen una reducida capacidad para resistir momento, pero en otros casos los marcos han sido diseñados para resistir los momentos debidos a cargas laterales. Usualmente la estructura está confinada en su exterior por muros no estructurales de casi cualquier material (block, ladrillo, paneles de concreto

prefabricados, baldosas). Los marcos pueden ubicarse casi en cualquier parte del edificio. Estos edificios son más flexibles que los que cuentan con muros de corte. Esta poca rigidez puede ocasionar grandes desplazamientos relativos entre los niveles y causar un daño estructural mayor.

Marco de Acero Arriostrado (S2):

Estos edificios son similares a los de marco no arriostrados, excepto en que su sistema estructural cuenta con componentes que ayudan a resistir cargas laterales mediante arriostramiento de los marcos.

Marcos de Acero Livianos (S3) :

Estos edificios usualmente son prefabricados y cuentan con marcos transversales que aportan rigidez considerable. El techo y las paredes, consisten en paneles livianos usualmente de metal corrugado. Los marcos son construidos en segmentos y son ensamblados en sitio mediante uniones de pernos. Las cargas laterales en la dirección transversal son resistidas por marcos rígidos, y las cargas llegan a ellos por medio de los diafragmas. Las cargas en la dirección longitudinal son resistidas por miembros a tensión.

Marcos de acero con muros de concreto colados en sitio (S4) :

Los muros de cortante son colados en sitio y deben comportarse como muros de carga. El marco de acero es diseñado únicamente para cargas verticales. Las cargas laterales son transferidas por los diafragmas a los muros de cortante. El marco de acero proporciona un sistema secundario para resistir cargas laterales dependiendo de la rigidez del marco y de la capacidad para resistir momento con que se diseñen las uniones viga-columna.

Marcos de acero con muros de mampostería no confinada reforzada (S5) :

Este es uno de los tipos de edificios más antiguos. Los muros de mampostería pueden estar fuera del plano definido por los marcos principales.

Los bloques de mampostería sólidamente rellenos, proporcionan rigidez para resistir fuerzas laterales cuando se encuentran en el plano de el marco transversal.

Marcos de concreto (C1) :

Estos edificios son similares a los marcos de acero no-arriostrados excepto en que los marcos son de concreto reforzado. Hay una gran variedad de sistemas. En edificios viejos, se puede dar una falla frágil que produzca el colapso del mismo. Los más modernos han sido diseñados para presentar un comportamiento dúctil durante el sismo, y se espera que presenten grandes deformaciones, antes de el colapso.

Muros de cortante de concreto (C2) :

Los componentes del sistema estructural resistente a cargas laterales son muros de cortante de concreto reforzado, los cuales usualmente funcionan como muros de carga. En edificios viejos, los muros son extensos y los esfuerzos sobre el mismo son escasos. En edificios más modernos, los muros de corte son de extensión limitada lo cual provoca un efecto torsor que da origen a fuerzas adicionales en los elementos de la periferia.

Marcos de concreto con muros de mampostería no reforzada (C3) :

Estos edificios son similares a los edificios de marcos de concreto con muros de mampostería rellena excepto porque son de concreto reforzado. En estos edificios, la resistencia a cortante de las columnas, luego del agrietamiento del relleno de la mampostería, puede limitar el comportamiento semi-dúctil del sistema.

Muros de concreto prefabricado con baldosas (PC1) :

Los edificios tienen un diafragma de madera o de metal, usualmente de gran tamaño, el cual distribuye las fuerzas laterales a muros de cortante en concreto prefabricado. Los muros son esbeltos, pero relativamente pesados, mientras que los techos son livianos. Los edificios diseñados con códigos sin requerimientos sismo-resistentes, pueden presentar longitudes de traslape inadecuadas en los muros incapaces de resistir fuerzas fuera del plano. En estos casos las conexiones entre los planos pueden ser frágiles.

Marcos de concreto prefabricado con muros de concreto (PC2) :

Estos edificios presentan diafragmas con elementos de concreto prefabricado ya sea con o sin una losa de concreto sobre ellos. Las uniones viga-columna usualmente son

coladas en sitio. Se utilizan uniones de acero soldadas para interconectar los elementos entre sí. Las cargas laterales son resistidas por muros de concreto prefabricados o colados en sitio.

Muros de Mampostería reforzada tipo cajón entrepisos livianos (RM1):

Estos edificios tienen en la periferia muros de carga de bloques de mampostería reforzada. Los muros son elementos verticales que forman parte de el sistema estructural resistente a fuerzas laterales. Los pisos y techos se soportan mediante vigas de madera. Pueden haber vigas de acero soportadas sobre columnas de acero.

Muros de mampostería reforzada tipo cajón entrepisos de concreto prefabricado (RM2) :

Estos edificios son semejantes a los anteriores, excepto porque cuentan con entrepisos de concreto prefabricado compuestos por vigas T y bloques de entrepiso, los cuales están apoyados en vigas y columnas de acero o de concreto (colado en sitio o prefabricado). Generalmente existe una losa de concreto colada en sitio.

Muros de carga de mampostería no reforzada (URM):

Estos edificios incluyen elementos estructurales que pueden variar según la edad de el edificio. En edificios construidos antes de 1900 los techos y pisos son de madera y están soportados en marcos de madera.

4.3 Daño estructural

La metodología comprende descripciones para cada uno de las 15 clasificaciones de los edificios y cada uno de los estados de daño: leve, moderado, extensivo y completo. Para la prevención de accidentes, las descripciones de daño completo incluyen la fracción de el total del área de piso de cada modelo que se prevé que colapsaría. Las fracciones de colapso están basadas en el juicio ingenieril y en la información recopilada luego de cada sismo importante.