

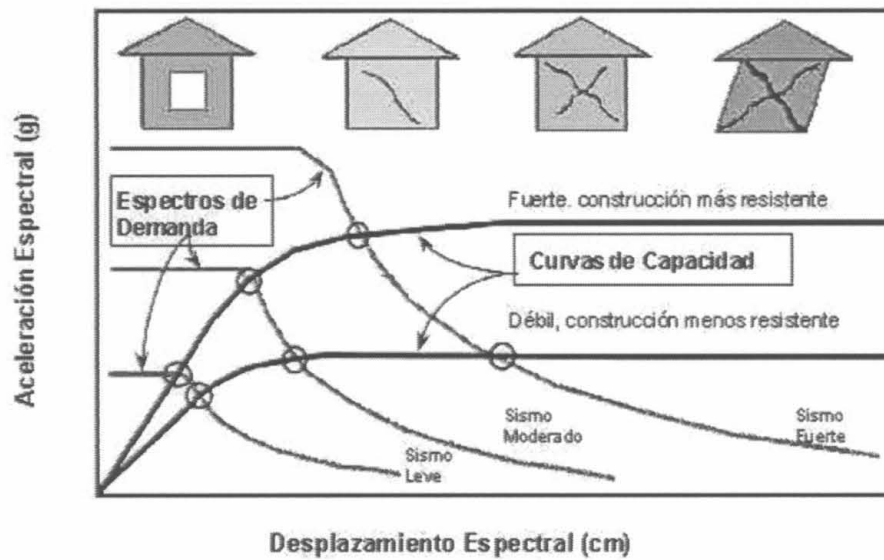


Figura 5.4.: Intersección entre espectros de demanda y curvas de capacidad (Kircher *et al.*, 1997).

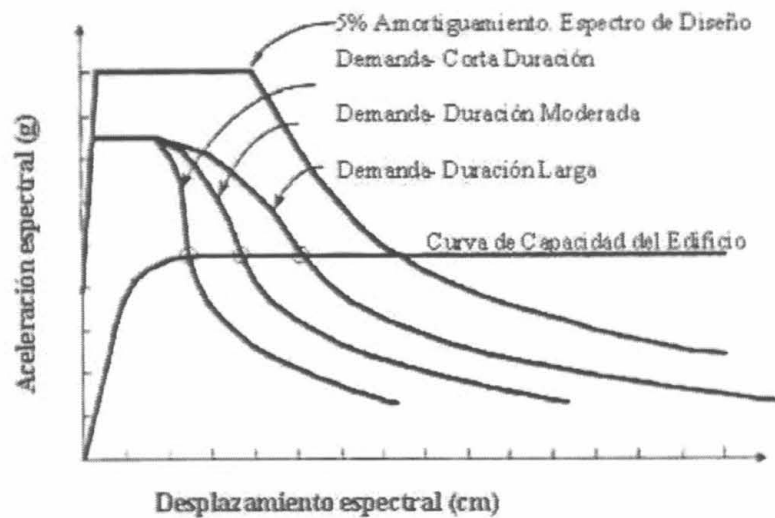


Figura 5.5: Espectros de demanda para diferentes duraciones de sismo (Kircher *et al.*, 1997).

5.4. Escenarios riesgo sísmico urbano

Uno de los campos que recientemente ha tomado mayor interés dentro de la ingeniería sísmica mundial ha sido la evaluación anticipada de pérdidas y daños que pueden esperarse de sismos en el futuro, dada la importancia que un análisis de esta naturaleza tiene para una ciudad, una región o un país. Estimar las pérdidas potenciales que puede producir un terremoto es una tarea difícil pero fundamental para estimular y

generar medidas de prevención y mitigación. Un amplio número de métodos ha sido propuesto para estimar pérdidas de futuros terremotos entre los cuales pueden encontrarse inconsistencias significativas. Sin embargo, aunque no es posible predecir actualmente con "precisión" cuándo y dónde va a ocurrir un terremoto, cuántas víctimas causará y qué daños causará en la amplia variedad de edificios de diferentes edades y características, sí es posible realizar aproximaciones y estimativos que indiquen la naturaleza y la magnitud del problema que tendrá que afrontar una ciudad o una región, razón por la cual este tipo de estudios se han convertido en ineludibles y necesarios para la planificación en zonas propensas (FEMA, 1989). Estos estudios, conocidos corrientemente como métodos para la evaluación del riesgo sísmico de centros urbanos, consideran diferentes maneras para evaluar la amenaza sísmica y utilizan matrices o funciones de vulnerabilidad empírica o teórica para diversos tipos de edificios y componentes de la infraestructura de una ciudad. En general, las técnicas propuestas para la evaluación de escenarios de riesgo se pueden clasificar en probabilistas y deterministas, dependiendo del enfoque y propósito del estudio.

Para evaluar un escenario de riesgo sísmico urbano por técnicas probabilistas o deterministas, en su orden deben seguirse las siguientes etapas:

- a) Evaluación de la amenaza sísmica a escala global y local.
- b) Identificación de los elementos expuestos o amenazados.
- c) Definición de funciones de vulnerabilidad que relacionen las pérdidas específicas con la amenaza sísmica para los elementos expuestos.
- d) Evaluación de las pérdidas específicas de cada elemento expuesto y determinar su factor de participación en el efecto total de los bienes existentes.
- e) Evaluación de la totalidad del riesgo sísmico para la región considerada.

Los elementos expuestos son el contexto social, material y ambiental representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden verse afectados con la ocurrencia de un evento. Corresponden a las actividades humanas, todos los sistemas realizados por el hombre tales como edificios, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, servicios, la gente que los utiliza y el medio ambiente. En general, dada la participación de los edificios y de la infraestructura de servicios públicos o líneas vitales en la conformación de los escenarios urbanos, ha sido común que las metodologías solamente consideren para la estimación del riesgo sísmico físico el inventario de edificios y las redes de líneas vitales (Cardona 1986a).

Usualmente, los estudios probabilistas se utilizan para la estimación de pérdidas económicas acumuladas o para el cálculo de la pérdida máxima probable desde la perspectiva de la industria de los seguros. Estos métodos parten de un manejo probabilista de la amenaza sísmica, al igual como se estiman los sismos de diseño para la aplicación de códigos o normas sismorresistentes, e incluso en algunos casos la vulnerabilidad de los edificios también se trata como una variable probabilista, debido a la dispersión que esta variable también puede presentar.

En general, en el enfoque utilizado en los métodos probabilistas la amenaza sísmica H está definida como una probabilidad de que la intensidad sísmica I sea excedida en un periodo de T años. Bajo el término de intensidad se puede definir, como una medida del fenómeno, cualquier parámetro cualitativo o cuantitativo relacionado con la magnitud M de los sucesos, tales como la intensidad de la escala modificada de Mercalli, la aceleración pico del suelo, la respuesta espectral, etc. Para un sitio determinado la amenaza es una

función de la sismicidad o probabilidad de ocurrencia $p(M)$ y de la atenuación o pérdida de la energía sísmica con la distancia $p(I/M)$

$$H = p(I) = \int p(I/M)p(M)dM \quad [5.8]$$

y el riesgo sísmico específico S es función de la amenaza sísmica H y de la vulnerabilidad específica $p(D/I)$, que es el nivel de daño D esperado que puede presentarse sobre una clase de construcción como consecuencia de la manifestación de un evento dado

$$S = p(D) = \int p(D/I)p(I)dI \quad [5.9]$$

Por lo tanto, el riesgo sísmico total R es la cuantificación de las pérdidas, conocida la vulnerabilidad de todos los tipos de edificios $p(P/D)$ y el riesgo sísmico específico de cada uno de los tipos individualmente

$$R = p(P) = \int p(P/D)p(D)dD \quad [5.10]$$

$p(P)$, debe entenderse ampliamente como la cuantificación de las pérdidas o como la cuantificación de la inversión realizada con anterioridad al evento con el fin de mitigar la pérdida total que causaría el desastre (Whitman *et al.* 1973).

En general, se puede adoptar el uso de un índice de vulnerabilidad como un valor simple derivado de un procedimiento eficiente de inspección de los elementos expuestos. En este caso, considerando solamente la intensidad, el daño y el índice de vulnerabilidad, las cuales son variables aleatorias puesto que se pueden considerar continuas en su rango de definición, la probabilidad del daño o pérdida puede expresarse como

$$p(P) = \iiint p(P/V, I)p(V)p(I)dIdVdP \quad [5.11]$$

donde $p(P)$ es el valor de la distribución acumulada de la pérdida para $P=P$; $p(P/V, I)$ es la función de densidad condicional del daño bajo el índice de vulnerabilidad y la intensidad; y $p(V)$ y $p(I)$ son respectivamente las funciones de densidad para el índice de vulnerabilidad y la intensidad. Estas dos variables son estadísticamente independientes.

Para el desarrollo de mapas que ilustren las probabilidades de daño esperado la ecuación anterior podría discretizarse en diferentes rangos de nivel de daño. La ecuación tendría que ser evaluada para los dos extremos de cada rango utilizando una expresión en forma discretizada mediante el uso de sumatorias

$$p(P_i < P < P_{i+1}) = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m p(P_j < P < P_{j+1} / V_j < V < V_{j+1}, I_k < I < I_{k+1}) p(V_j < V < V_{j+1}) p(I_k < I < I_{k+1}) \quad [5.12]$$

Los métodos deterministas se caracterizan, a diferencia de lo anterior, porque el análisis se lleva a cabo para uno o más terremotos específicos, postulados sin considerar en forma explícita la probabilidad con que dichos eventos puedan ocurrir. Comúnmente se utiliza el terremoto más fuerte conocido que haya ocurrido en la región, también llamado máximo terremoto histórico. Esta modalidad se basa en la premisa geológica e intuitiva, bastante convincente, de que si un terremoto ha ocurrido una vez no hay razón para pensar que éste no se presentará de nuevo. Estas técnicas se utilizan de manera

común para evaluar las pérdidas que puede causar un terremoto de una fuente sismogénica específica, con fines de reducción anticipada de los daños y para la preparación y planificación de la respuesta en caso de emergencia.

5.4.1. Daños en edificios

Una vez estimado el comportamiento de varios tipos de estructuras expuestas a diferentes intensidades de excitación del suelo puede realizarse un pronóstico de los daños esperados que pueden ocurrir en tales estructuras en futuros eventos. Por esta razón las funciones de vulnerabilidad derivadas para la estimación de las pérdidas específicas de los elementos expuestos pueden utilizarse como información básica para la evaluación del riesgo desde una perspectiva del daño físico potencial, pues conocida la amenaza sísmica y la vulnerabilidad de las estructuras por convolución de estas dos variables se puede estimar el riesgo sísmico en términos físicos.

Una de las metodologías más ampliamente conocidas y sencillas ha sido el ATC-13 (ATC 1985), la cual se basó en el enfoque originalmente propuesto por Whitman (1973). Esta metodología consiste en una serie de matrices de probabilidad de daño obtenidas mediante el método Delphi. Cada especialista, con base en sus observaciones empíricas o de sus apreciaciones obtenidas de relacionar la demanda contra la capacidad en términos de rigidez, resistencia y disipación de energía, participó aportando su experiencia y conocimientos. Los estados de daño usados por esta metodología se presentan en la tabla 5.3.

Tabla 5.4: Estados de daño según ATC-13

Caracterización de Daño	Rango de Daño %	Índice de Daño	Descripción
NINGUNO	0	0	Sin daño
LEVE	(0-1)	0.5	Daño mínimo que no requiere reparación.
LIGERO	(1-10)	5	Daño menor localizado en algunos elementos que no requiere siempre reparación.
MODERADO	(10-30)	20	Daño menor localizado en muchos elementos que debe ser reparado.
FUERTE	(30-60)	45	Daño extensivo que requiere reparaciones mayores.
SEVERO	(60-100)	80	Daño grave generalizado que puede significar demolición de la estructura.
DESTRUCCIÓN	100	100	Destrucción total o colapso.

Ahora bien, la evaluación de funciones o matrices de vulnerabilidad física usualmente se ha llevado a cabo teniendo en cuenta la información histórica de los daños que han sufrido los edificios por terremotos en el pasado (Whitman 1976). Sin

embargo, dicha información está íntimamente ligada a los tipos de construcción y a la tecnología de edificación del área que se estudia. Por esta razón, en rigor, datos obtenidos en ciertos lugares del mundo no son fácilmente utilizables con el mismo objetivo en otros sitios. Por otra parte, la información histórica no siempre es muy confiable debido a la falta de buenos inventarios de daños. La baja frecuencia de sucesos en un área hace que la información de daños en las construcciones sea escasa y que sea difícil hacer estimaciones adecuadas de la intensidad de eventos pasados.

En lo posible la determinación de las matrices de vulnerabilidad debería realizarse en términos probabilistas, debido a las incertidumbres y la aleatoriedad inherente de factores como la energía y el contenido frecuencial del movimiento del suelo, la duración de la fase fuerte, la evolución no estacionaria de las señales, entre otros. También hay que tener en cuenta la diversidad de los tipos de estructuras y de los parámetros mecánicos de los modelos estructurales (resistencia, rigidez, ductilidad, etc.). Ante esta circunstancia, una manera de superar esta falta de información o de evitar usar datos que pueden no ser realistas, es utilizar técnicas de simulación que permitan generar de manera sintética una muestra de los diferentes estados de daño en modelos de edificios que puedan considerarse como representativos de los tipos estructurales que se han construido en el sitio en diferentes épocas. Estas técnicas no son más que otra aplicación del denominado método de Monte Carlo. Por este camino han seguido algunos investigadores recientemente (Barbat *et al.* 1996; Singhal y Kiremidjian 1996; Abrams y Shinozuka 1998) debido a sus claras ventajas, como su capacidad de explotar el conocimiento consolidado de las diferentes disciplinas de la ingeniería sísmica para producir funciones sintéticas de vulnerabilidad para diferentes zonas urbanas. Una técnica de este tipo propuesta por Cardona y Hurtado (2000b), que utiliza la simulación de Monte Carlo, sigue los siguientes pasos con el fin de generar funciones de vulnerabilidad para edificios:

- a) Selección de los modelos representativos de construcciones de los diferentes períodos de urbanización en área considerada y determinación de su ubicación geográfica.
- b) Definición estocástica del modelo estructural mediante la selección de variables aleatorias que afectan su comportamiento estructural en caso de sismo y por lo tanto la asignación de sus funciones de densidad de probabilidad. Esta tarea se facilita por la disponibilidad de información estadística acerca de los materiales de construcción como el hormigón, el acero, la madera, entre otros (Sundararajan, 1995).
- c) Generación de muestras aleatorias de cada variable (Rubinstein 1981) y combinación de las mismas usando técnicas eficientes, como el Latin Hypercubo, el Muestreo Descriptivo, etc. (Hurtado y Barbat 1998).
- d) Definición estocástica del movimiento del suelo, el cual idealmente debe ser modelado como un proceso aleatorio evolutivo a partir de un espectro estacionario de potencia o un espectro de respuesta objetivo (Vanmarcke 1976). Esta última alternativa puede seguirse con el fin de preservar la coherencia con estudios de microzonificación sísmica ya elaborados. El cálculo de los acelerogramas asociados a cada fila de la matriz de variaciones aleatorias (Latin Hypercubo) puede realizarse con técnicas actualmente bien conocidas (Shinozuka 1987). Por ejemplo, el espectro evolutivo propuesto por Yeh y Wen (1989), dado por la ecuación 5.13

$$G(\omega, t) = \frac{a^2(t)}{f'(t)} H\left(\frac{\omega}{f'(t)}\right) \quad [5.13]$$

donde $H(\cdot)$ es una densidad espectral de potencia del proceso estacionario subyacente, $a(t)$ es una función de modulación de amplitudes y $f(t)$ es una función de modulación de frecuencias en unidades de tiempo, que se obtiene de acelerogramas registrados en el área de interés. Finalmente, ω es la frecuencia angular y la prima denota la derivada con respecto al tiempo.

- e) Análisis no lineal estructural de varios modelos aleatorios, con el fin de determinar el daño estructural. Por ejemplo, utilizando el índice propuesto por Park and Ang (1985) para el caso de edificios de hormigón armado. En el caso de un elemento i de hormigón el índice está definido por la ecuación 5.14

$$d_i = \frac{e}{m} + \frac{z}{Fm} \int dE \quad | \quad [5.14]$$

donde e y m son la deformación última bajo sismo y cargas monotónicas, respectivamente, F es la resistencia de fluencia, E es la energía disipada y z es un factor empírico. El índice de daño estructural para el edificio completo esta dado por la ecuación 5.15

$$D = \frac{\sum d_i E_i}{\sum E_i} \quad [5.15]$$

donde la sumatoria se realiza en todos los entrepisos del edificio.

- d) Análisis estadístico de los resultados. En particular, es importante construir funciones bien definidas de distribución de probabilidades del índice de daño global del edificio, correspondiente a cada nivel de amenaza, para cada clase de edificio.
- e) Categorización del índice de daño estructural, con el fin de expresar el grado de pérdidas en los edificios, incluyendo sus elementos estructurales y no-estructurales. Por ejemplo, como lo presenta la tabla 5.4 (Singhal and Kiremidjian, 1996):

Tabla 5.5: Niveles de daño según valor de índice

Nivel de Daño	Rango de D
Bajo	0.1 a 0.2
Medio	0.2 a 0.5
Severo	0.5 a 1.0
Colapso	> 1.0

Desde el punto de vista del procesamiento electrónico el método de Monte Carlo ha sido una técnica costosa, por lo que ha sido usual que para el análisis probabilista de estructuras se utilice sólo como una técnica de fuerza bruta con el propósito de verificar la precisión de otras técnicas menos costosas. Sin embargo, la aplicación del método de Monte Carlo actualmente se facilita por el progreso de la computación paralela. De hecho, este método es intrínsecamente paralelo y modelos aleatorios diferentes pueden calcularse en equipos independientes (a esto se le denomina paralelismo *coarse-grain*) bajo el control de un nodo maestro, el cual realiza la generación de variables aleatorias, ordena los procesos y lleva a cabo la evaluación estadística final.

Un ejemplo de aplicación de esta metodología es el realizado por Bonett *et al.* (2001). Para este caso las curvas de fragilidad para el daño global estructural se realizaron utilizando la deriva máxima de entrepiso. La elección de éste parámetro se debe al interés de poder interpretar las curvas de acuerdo con los umbrales definidos en

la metodología HAZUS (FEMA 1999) para los diferentes niveles de daño: leve, moderado, severo y colapso. Estos niveles permiten asociar un valor máximo de la deriva entre pisos con una descripción cualitativa del daño, para un modelo estructural dado, y sus valores dependen a su vez del nivel de diseño sísmico utilizado. En este caso, el modelo identificado fue el CIM (Estructura de hormigón armado de elevación media) según la clasificación del HAZUS. Estos valores dependen a su vez del nivel de diseño sísmico utilizado, por lo cual, se eligieron para efectos de comparación los niveles “Pre-code” y “Moderate” por su correspondencia con el modelo antes y después del código Colombiano, respectivamente. Los valores se indican en la tabla 5.5.

Tabla 5.6: Definición de niveles de daño según deriva

Niveles de Daño	Valor de la deriva δ en el umbral del nivel de daño	
	Pre-Norma	Pos-Norma
Leve	0.0027	0.0033
Moderado	0.0043	0.0058
Severo	0.0107	0.0156
Colapso	0.0267	0.0400

La figura 5.6 muestra los valores de la deriva máxima obtenidos a partir del análisis dinámico no lineal utilizando el programa IDARC-2D y las funciones de distribución ajustadas para cada una de las aceleraciones definidas.

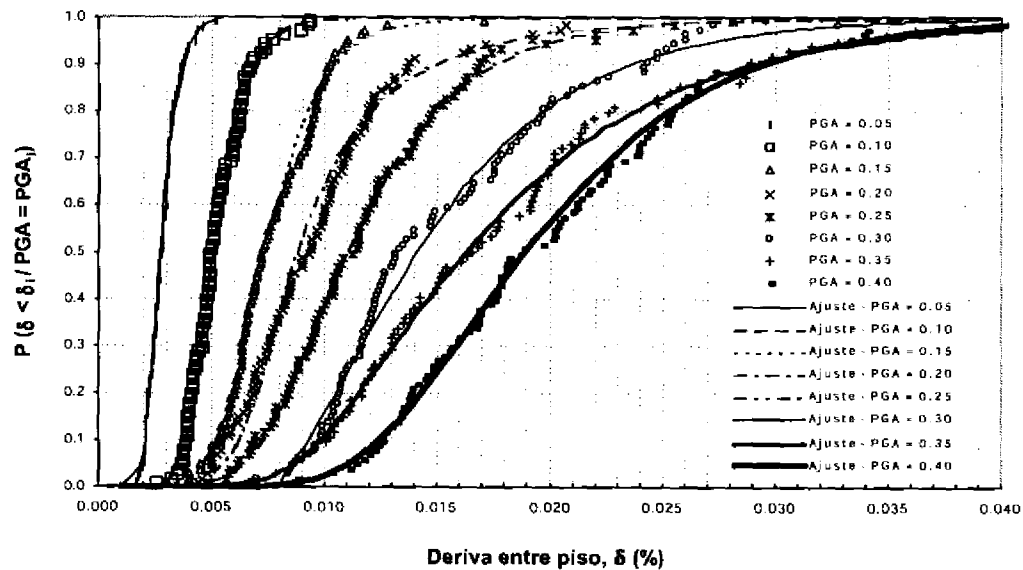


Figura 5.6 : Funciones de distribución de probabilidad ajustadas para una estructura de 5 pisos, diseñada antes de la primera normativa Colombiana.

Para el cálculo de 100 modelos por cada curva se usó el programa PROMENVIR (CASA 1997), desarrollado para realizar simulaciones de Monte Carlo de un sistema cualquiera en paralelo, lo que permitió un ahorro notable de tiempo computacional. Para cada una de las estructuras consideradas, se definió un grupo de curvas de fragilidad para cada estado discreto de daño (Figuras 5.7 y 5.8). De esta forma, un

punto sobre una curva dada, está definido como la probabilidad condicional que el daño debido a un sismo de cierta aceleración exceda el estado de daño i , esto es:

$$FD = P[ED \geq ed_i / PGA = PGA_i]$$

FD es la probabilidad que el daño causado por el sismo con aceleración PGA_i sea mayor que el estado de daño i , ED es el estado de daño causado por el sismo con aceleración PGA_i , ed_i es el estado de daño global i .

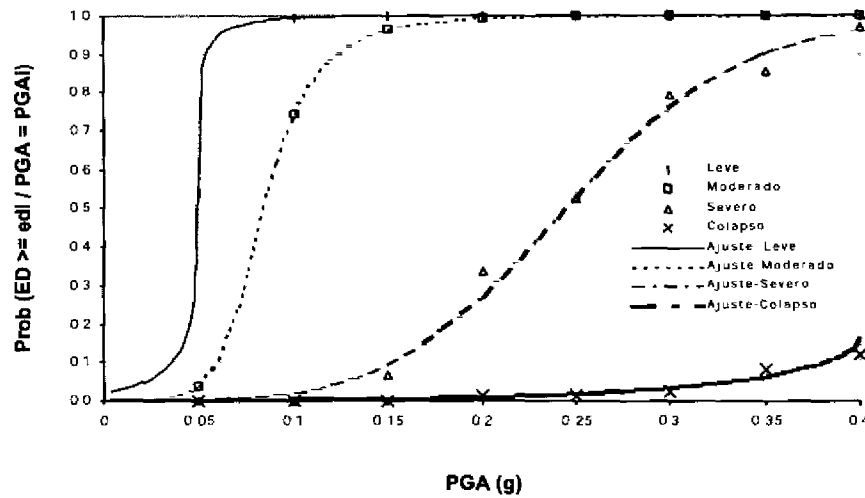


Figura 5.7: Curvas de fragilidad simuladas y ajustadas para una estructura de 5 pisos diseñada antes de la primera normativa Colombiana y para una aceleración pico efectiva PGA, en el rango 0.05 - 0.4 g.

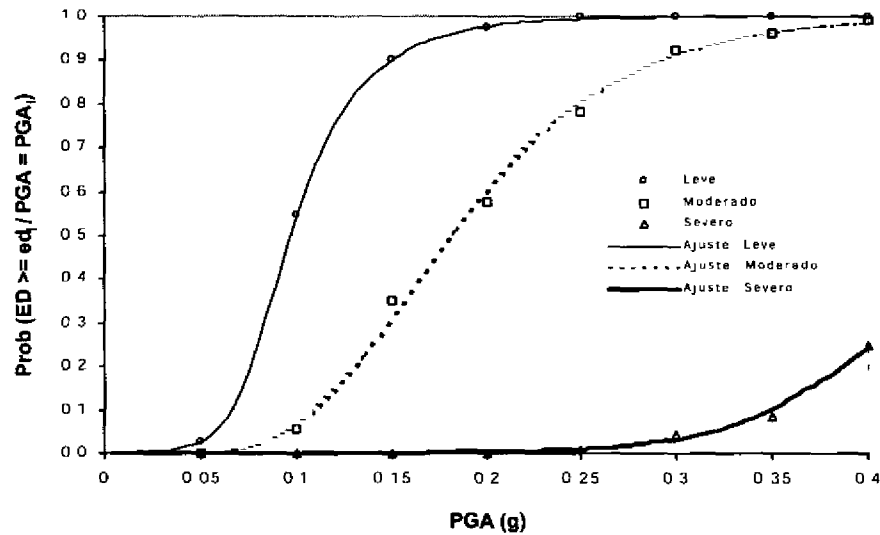


Figura 5.8: Curvas de fragilidad simuladas y ajustadas para la estructura de 5 pisos diseñada con la normativa Colombiana y con una aceleración pico efectiva PGA, en el rango 0.05 - 0.4 g.

Este ejemplo ilustra el tipo de formato de curvas de vulnerabilidad o fragilidad que actualmente se utiliza, cada vez con mayor frecuencia, para el estudio de la vulnerabilidad sísmica. Metodologías como la propuesta en HAZUS y técnicas como la descrita previamente prometen resultados más refinados para los tipos o clases de edificios que se propongan en diferentes lugares del mundo, contribuyendo a la realización de estudios de riesgo sísmico más depurados en términos físicos.

5.4.2 Daños en líneas vitales

Las líneas vitales son sistemas complejos cuya función es la distribución de recursos, el transporte de personas y bienes, así como la transmisión de información. Hasta hace poco tiempo los efectos de los sismos sobre las líneas vitales sólo se tenían en cuenta en el diseño de algunos de sus componentes. Sin embargo, las prácticas de la ingeniería han venido cambiando de manera paulatina en la medida que el comportamiento de estos sistemas se ha convertido en una preocupación desde el punto de vista del diseño sísmico, la planificación de emergencias y la necesidad de una rápida recuperación después de un sismo.

Los informes de daños posterremoto han proporcionado la mayor parte de la información existente sobre la gravedad y extensión de los daños, la paralización de los servicios y las reparaciones que son necesarias. Estos informes también han sugerido de forma indirecta la manera se puede reducir el riesgo de paralización de los servicios, a través de la planificación de emergencias y la rehabilitación posdesastre de los mismos.

En general las líneas vitales corresponden a la infraestructura de servicios públicos, que se considera básica o esencial. Una clasificación amplia de esta infraestructura es la siguiente:

- a) Energía: presas, subestaciones, líneas de fluido eléctrico, plantas de almacenamiento de combustibles, oleoductos, gasoductos.
- b) Transporte: redes viales, puentes, terminales de transporte, aeropuertos, puertos fluviales y marítimos.
- c) Agua: plantas de tratamiento, acueductos, alcantarillados, canales de irrigación y conducción.
- d) Comunicaciones: redes y plantas telefónicas, estaciones de radio y televisión, oficinas de correo e información pública.

Las líneas vitales tienen algunas características que las distinguen. A diferencia de un edificio, usualmente pueden extenderse a lo largo de muchos kilómetros y con frecuencia se localizan sobre zonas delimitadas por ley. Muchas de ellas están interconectadas y por lo general hacen parte de redes que se extienden sobre grandes áreas. El comportamiento en un sitio de la red puede estar influenciado en gran medida por las alteraciones que puedan ocurrir en otro sitio distante. Por lo tanto, las líneas vitales pueden ser afectadas de manera diferencial de acuerdo con las propiedades dinámicas del suelo y el basamento, que pueden ser muy diferentes de un sitio a otro. Estos sistemas también normalmente son interdependientes, es decir, que la pérdida de operación en uno de ellos puede afectar la operación de otro. La ruptura de las líneas de combustible, por ejemplo, puede causar incendios, y esto debe ser considerado a la hora de analizar las redes de distribución de agua. Las roturas simultáneas de las líneas de agua y desagüe pueden contaminar el agua potable. La interrupción de la energía eléctrica puede afectar las estaciones de bombeo de agua, limitando por consiguiente la

disponibilidad de agua y sobrecargando el sistema de transporte para atender las reparaciones de emergencia.

Para evaluar el funcionamiento de las líneas vitales es necesario definir algunos parámetros que relacionen el nivel de operación de la red en un determinado momento con una de sus características medibles. En ese sentido, por ejemplo, la teoría de redes se perfila como una técnica que puede facilitar la definición de algunas medidas cuantitativas para la evaluación de su nivel de funcionamiento: conectividad, flujo máximo, operatividad, porcentaje de la población servida y pérdidas económicas (ASCE, 1983/86/90; Cardona, 1993d).

Los modelos más elaborados de vulnerabilidad sísmica de líneas vitales relacionan la probabilidad acumulada de falla con la intensidad del sismo. Dichos modelos pueden reflejar los efectos de la amenaza sísmica que contribuyen más al daño de un componente (Yamín y Caicedo 1999). En general, se ha podido observar que componentes localizados sobre la superficie del suelo tienden a ser más vulnerables a los efectos vibratorios de los sismos, mientras que los componentes que se encuentran enterrados tienden a ser más vulnerables al desplazamiento permanente o deformación excesiva del suelo.

La ingeniería sísmica ha realizado progresos significativos en la estimación anticipada de daños en las líneas vitales con fines de reducción de riesgos. Ya en algunos casos se han tomado medidas concretas para reducir los daños potenciales, mediante la aplicación de soluciones convencionales de ingeniería o el buen juicio, aun cuando no se tengan evaluaciones detalladas o rigurosas de su vulnerabilidad. Sin embargo, es necesario que se realicen más investigaciones e innovaciones tecnológicas que permitan optimizar el diseño, la mitigación de los daños y refuerzo sísmico de las líneas vitales existentes.

Un estudio de carácter intermedio, cuando no se cuenta con información detallada de la microzonificación sísmica de una ciudad, sería el utilizar sismos hipotéticos factibles para determinar los niveles de intensidad equivalente del sismo máximo probable para efectos de diseño. Esta técnica permite dimensionar el orden de magnitud del problema que se presentaría, por lo tanto no significa un pronóstico preciso de los daños que podrían ocurrir, como se lograría con estudios detallados, pero sería un estudio de máxima utilidad para estimar el escenario de daños potenciales sobre la red. Una de estas técnicas es la propuesta por el ATC-13 (1985). El daño se evalúa por el número de rupturas por kilómetro para el caso de tuberías enterradas o por metros da líneas de energía caídas. El daño se relaciona con la intensidad sísmica esperada en cada uno de los tramos de la red. El concepto de "matriz de daño" es fundamental para el cálculo de la vulnerabilidad. Las matrices de daño, al igual que en el caso de los edificios, relacionan el nivel de daño (por ejemplo: leve, moderado, alto) con su probabilidad de ocurrencia para diferentes niveles de intensidad del suceso sísmico. La probabilidad de ocurrencia se calcula con base en la opinión de expertos. En la tabla 5.5 se presenta una matriz de daño típica.

La tabla del Estado de Daño relaciona una descripción lingüística del daño con el valor de la pérdida económica esperada. Las matrices de daño calibradas mediante la consulta de expertos se combinan con las de intensidad sísmica esperada para determinar la distribución de daños en una ciudad. Las matrices de daño más conocidas han sido las propuestas en el ATC-13 (1985), que posteriormente fueron modificadas de acuerdo con los procedimientos descritos en el ATC-25 (1991), dependiendo de la edad, el mantenimiento, la calidad de los materiales y la calidad de la construcción.

Tabla 5.7: Matriz de daño para líneas de distribución (# 55 ATC-13)

FACTOR CENTRAL DE DAÑO	INTENSIDAD MMI						
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0.00	94.10	6.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	5.90	78.80	51.00	2.90	0.00	0.00	0.00
5.00	0.00	14.30	48.00	96.30	63.70	10.60	0.50
20.00	0.00	0.00	0.00	0.80	36.30	82.70	39.00
45.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.70	59.20
80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30
100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FACTOR DE DAÑO MEDIO	0.03	1.11	2.66	4.99	10.45	20.09	35.51

Más recientemente nuevos enfoques se han desarrollado dentro de los cuales se puede destacar la metodología HAZUS que promueve FEMA (1999) en los Estados Unidos. También, con la misma orientación en Europa se adelanta un proyecto con alcances similares apoyado por la Unión Europea que se le ha denominado Risk-EU.

