

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LA VULNERABILIDAD DE EDIFICIOS

RESUMEN

Aquí se presenta una metodología para evaluar la vulnerabilidad de edificios de uno a seis pisos de hormigón armado. Se utilizará la metodología presentada en capítulos anteriores con la intención de aplicar todo lo que se ha investigado en este estudio.

Adicionalmente se habla sobre la relación entre un índice de daño con el porcentaje de daño esperado, tema que se topó en anterioridad. Cabe realizar una pequeña explicación para que no exista confusión posteriormente.

Finalmente se hace una comparación entre la metodología propuesta en este trabajo con la utilizada por Hazus, cabe indicar que esta última es la que se utiliza en nuestro país por falta de metodologías propias que sean aplicables a nuestra realidad constructiva.

4.1. MÉTODOS PARA ESTIMAR LA VULNERABILIDAD DE EDIFICACIONES

Los métodos para el estudio de la vulnerabilidad de edificaciones existentes se dividen en dos grandes grupos: los métodos "exactos" o analíticos y los métodos "aproximados", cualitativos o subjetivos.

4.1.1. MÉTODOS ANALITICOS

La evaluación de vulnerabilidad de edificios existentes por medio de métodos analíticos está fundamentada en los mismos principios utilizados para el diseño de construcciones sismo resistentes. Es decir, se considera como una evaluación por medio de un método analítico a la arrojada por un modelo previamente calibrado, el cual tiene en cuenta un análisis dinámico inelástico que permite conocer el proceso de plastificación paso a paso y el posterior colapso de la estructura.

Cabe anotar que estos métodos no son del todo analíticos, ya que la fase de calibración del modelo requiere de muchos ensayos de laboratorio, los cuales permiten conocer el estado de los materiales y predecir, con un poco más de exactitud, su respuesta ante sollicitaciones sísmicas.

Es por esto que la aplicabilidad de estos métodos es discutible por varias razones:

- La alta complejidad del modelo que sólo justifica su utilización en casos muy especiales como el de edificaciones esenciales, o para estructuras que después de ser evaluadas con un método cualitativo hayan mostrado tener serias falencias ante una sollicitación sísmica.
- La necesidad de realizar el análisis utilizando varios tipos de registros de sismos para cubrir las diferentes posibilidades de acción sobre la estructura.

A continuación se enuncia los tres métodos analíticos más utilizados en la actualidad.

- METODO NSR - 98
- METODO ATC – 21
- METODO FEMA – 273

4.1.2. MÉTODOS CUALITATIVOS

Los métodos cualitativos son desarrollados en base a investigaciones, experimentos y ensayos, los mismos que ayudan a que los resultados que se obtengan de su utilización sean lo más aproximados a su realidad. Pero un punto muy importante es que la mayoría de estos estudios realizados para los métodos ya propuestos, son enfocados al lugar en donde fueron realizados, es así que el método de Hazus que es uno de los más utilizados en la actualidad, funciona de una manera muy satisfactoria, pero hay que tomar en cuenta que este método fue desarrollado en los Estados Unidos y por este motivo todos los ensayos y experimentos que se llevaron a cabo para su elaboración, debieron considerar las características de los materiales, y las formas constructivas de ese país.

Tomando en consideración lo mencionado, la utilización de estas metodologías no serían aplicables a nuestro país, ya que las formas constructivas entre el Ecuador y los EEUU son muy diferentes, haciendo que los resultados obtenidos de su aplicación no sean los más correctos. De esta manera es necesaria la elaboración de un método que esté basado en estudios y ensayos que se adapten a nuestra realidad constructiva. A continuación se enuncia los métodos cualitativos más utilizados en la actualidad.

- MÉTODO ATC-14
- MÉTODO NAVFAC
- MÉTODO FEMA-178 = FEMA-310
- MÉTODO DEL I.S.T.C.

4.2. CÁLCULO DEL DRIFT MÁXIMO

Utilizando los resultados obtenidos de los capítulos anteriores, se presenta una metodología cualitativa para evaluar la vulnerabilidad de edificios de 1 a 6 pisos de hormigón armado en el Ecuador, por lo que: para edificaciones de 1 y 2 pisos sus vigas deben estar pérdidas en la losa y para edificios de tres pisos en adelante se procurará que las vigas sobresalgan de la losa lo menos posible.

De esta manera, lo primero que se debe determinar es el drift máximo de piso utilizando la ecuación (4.1), la misma que ya fue analizada en capítulos anteriores.

$$\gamma = \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 \beta_5 T^2}{4 \pi^2 N h} S_a = \beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 \beta_5 \frac{S_d}{H} \quad (4.1)$$

De tal forma que para su utilización, el primer paso que se debe realizar es la determinación de cada uno de sus coeficientes β .

Entonces para determinar el valor de β_1 es necesario considerar el número de pisos que tenga la edificación en análisis. Esto sirve para la utilización de la tabla 4.1, la misma que es recomendada por Aguiar(2005) para estructuras construidas a base de vigas y columnas de hormigón armado.

Tabla 4.1. Valores recomendados de β_1 para edificios en base a vigas y columnas.

Piso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
β_1	1.00	1.06	1.15	1.24	1.32	1.38	1.43	1.48	1.51	1.55

Hay que tomar en cuenta que este coeficiente β_1 es un factor de amplificación que permite encontrar el desplazamiento lateral máximo en el tope de un edificio a partir del desplazamiento lateral máximo de un sistema de un grado de libertad, 1gdl. De tal manera que se lo puede calcular de una manera más exacta para cada caso específico, pero la intención de esta metodología es la de poderlo determinar de una manera rápida.

Para el coeficiente β_2 se presenta la ecuación que fue obtenida luego de un trabajo de investigación realizado por parte de Gonzalo Huidobro, el mismo que se explico en el capitulo anterior. De esta manera para la determinación de β_2 se utilizará también en el número de pisos que tenga la estructura, para así aplicar la ecuación (4.2)

$$\beta_2 = -0.0231 N^2 + 0.3018 N + 0.6759 \tag{4.2}$$

La determinación del parámetro β_3 se la realizará utilizando las ecuaciones propuestas por Paúl Guerrero que se enuncian a continuación.

$$\beta_3 = \frac{\mu}{[c(\mu - 1) + 1]^{1/c}} \tag{4.3}$$

$$c(T, \alpha) = \frac{T^{2.07}}{1 + T^{2.07}} + \frac{0.381}{T} \quad \text{para } \alpha = 0.0 \tag{4.4}$$

$$c(T, \alpha) = \frac{T^{1.247}}{1 + T^{1.247}} + \frac{0.248}{T} \quad \text{para } \alpha = 0.05 \tag{4.5}$$

El coeficiente β_4 por el momento mantiene su obtención por medio de la ecuación propuestas por Miranda(1997), en la que cual sólo se necesita el numero de pisos de la estructura y el valor de su ductilidad.

$$\beta_4 = 1 + \frac{\mu}{30} + \frac{N}{200} \tag{4.6}$$

Finalmente el coeficiente β_5 toma en consideración la degradación de la rigidez y se lo toma de la tabla (4.2) que depende de la demanda de la ductilidad.

Tabla 4.2. Valores de β_5 en función de la demanda de ductilidad.

Ductilidad	1	2	3	4	5	6
β_5	1.00	1.14	1.17	1.19	1.22	1.23

Una vez que se ha determinado los coeficientes β , sólo se necesitan dos parámetros más para poder aplicar la ecuación (4.1), es decir S_d y H .

El primero de estos parámetros S_d , corresponde al desplazamiento espectral elástico para un período determinado, que para este caso sería el que se desea evaluar. Este valor de desplazamiento espectral se lo obtiene del espectro de desplazamiento elástico de acuerdo al sismo que se desee considerar, para ello se puede utilizar el programa DEGTRA A4 como se lo hizo para el presente trabajo.

El cálculo del periodo fundamental efectivo T_e para una estructura se lo puede realizar aplicando la ecuación (4.7) que se presenta a continuación.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (4.7)$$

Donde T_i es el periodo de vibración de la estructura en el rango elástico y se lo calcula como $0.1 N$, siendo N el número de pisos del edificio. K_i es la rigidez inicial, es decir es la tangente en el inicio de la curva de capacidad del edificio en análisis. K_e corresponde a la rigidez elástica y es secante a la curva, que si se utiliza el programa CEINCI2 pasa por el punto 0.6 de V_y , recomendado por algunos investigadores entre ellos Bertero (1997). Este valor de K_e es menor al de K_i , pero no se puede definir exactamente la diferencia, de tal manera que resulta muy complicada su obtención para la aplicación de la metodología que se esta presentando, por lo tanto se toma en consideración lo expuesto y se trabajará con la siguiente ecuación.

$$T_e = 0.11 * N \quad (4.8)$$

Donde N es el número total de pisos del edificio en análisis.

Finalmente H corresponde a la altura total de nuestra edificación, y así se puede aplicar la ecuación antes enunciada obteniendo de una manera rápida y sencilla la distorsión de piso.

4.3. CÁLCULO DE LOS NIVELES DE DAÑO CON CURVAS DE FRAGILIDAD OBTENIDAS

La distorsión de piso o Drift, es el parámetro estructural utilizado para la elaboración de las curvas de fragilidad presentadas en este trabajo. Si se desea conocer el daño esperado en la estructura analizada, se deberá hacer uso de las curvas propuestas en este trabajo.

De esta forma para poder utilizar las curvas de fragilidad, se requiere que la distorsión de piso se encuentre en porcentaje, es decir al valor de drift obtenido anteriormente, se lo multiplicara por 100, para así poder ingresar a las curvas.

A continuación se muestra un ejemplo con el cual se explica el uso de las curvas propuestas.

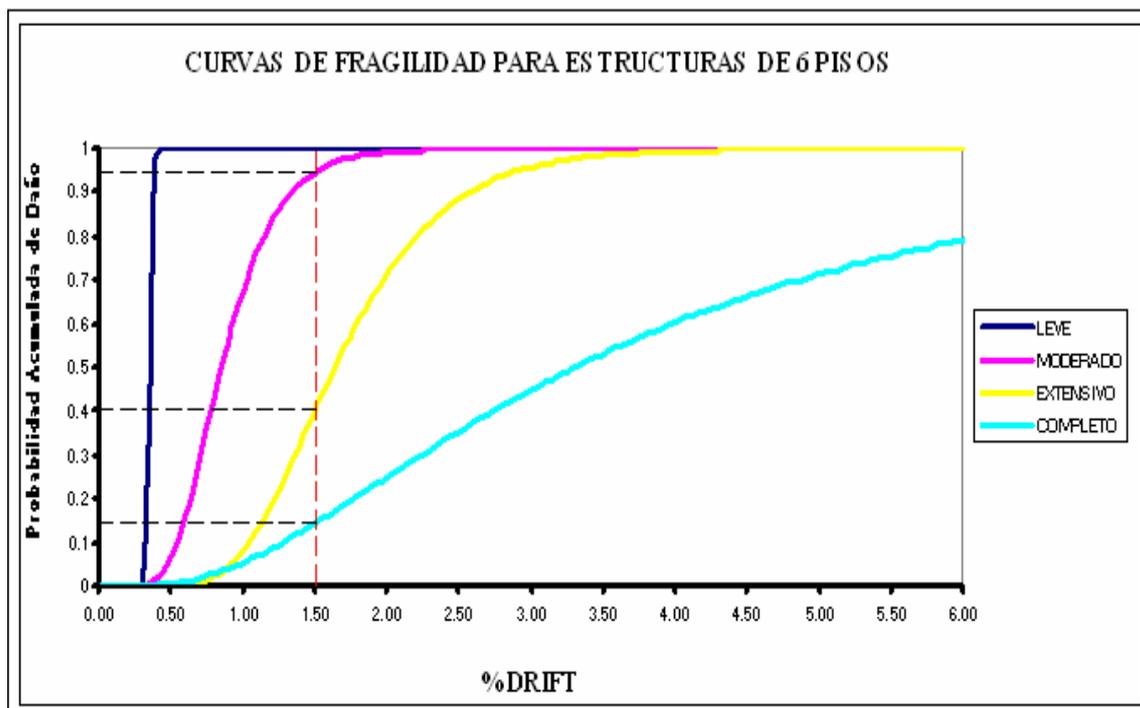


Figura 4.1 Curvas de Fragilidad para edificios de 6 pisos

Para este ejemplo se asume un Drift = 0.015, que multiplicado por 100 es igual a 1.5, valor que ya permite ingresar a las curvas. Como se puede observar, se debe

cortar a las curvas mediante un línea vertical paralela al eje de las ordenadas, partiendo del valor de drift requerido. De los puntos producto del corte de esta línea se debe trazar otra perpendicular que corte al eje de las ordenadas, indicando el porcentaje de daño, en este ejemplo los resultados se los presenta en la tabla (4.3)

Tabla 4.3. Resultados de las curvas para el ejemplo

RESULTADOS	
LEVE	100%
MODERADO	95%
EXTENSIVO	40%
COMPLETO	15%

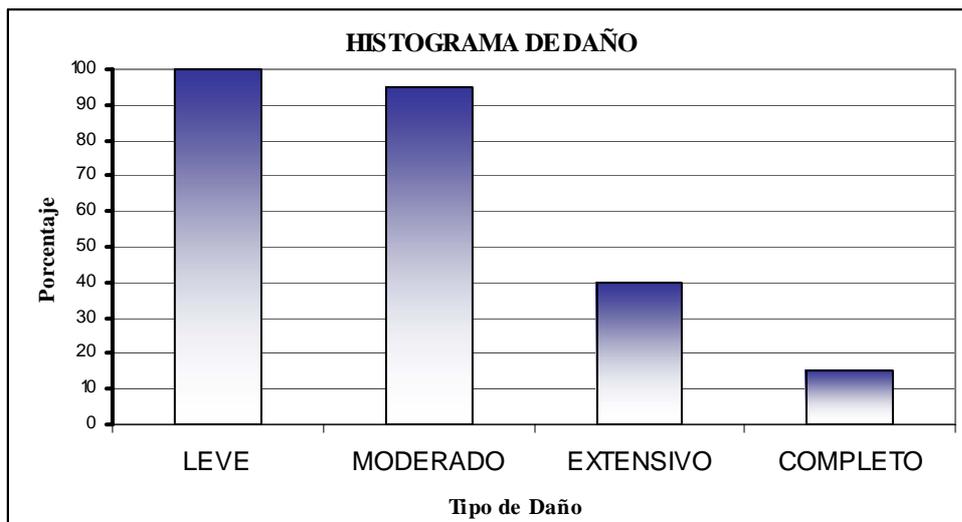


Figura 4.2 Histograma de daño presentado para el ejemplo

En la figura (4.2) se puede apreciar que existe un 100% de daño leve, esto quiere decir que si la estructura tiene 100 elementos que se pueden dañar, los 100 presentan grietas ligeramente visibles menor de 0.3 mm. Para el daño moderado se tiene un porcentaje de daño igual al 95%, de tal forma que de los 100 elementos anteriores que se mencionaron 95 presentan grietas menores a 1mm., y también quiere decir que el acero de refuerzo empieza a entrar a su estado de fluencia.

A nivel de daño extensivo, se reporta un 40 por ciento, es decir que 40 de los cien elementos empiezan a perder el recubrimiento y presentan fisuras entre 1 y 2mm.; finalmente para el daño completo se tiene un 15 por ciento reprobabilidad acumulada. Visto esto de otra forma, 15 de sus elementos presenta grietas mayores a 2mm y mayor pérdida de su recubrimiento.

De esta manera se puede estimar de una manera rápida y sencilla el daño de una edificación para una determinada intensidad sísmica.

En la tabla siguiente se presentan los resultados de análisis para el ejemplo utilizado.

Tabla 4.4. Resultados de daño esperado para el ejemplo

	LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO
%	100	95	40	15
Cuantificación de daño esperado	Grieta menor de 0.3 mm.	Grietas menores de 1mm.	Grietas entre 1 y 2mm.	Grietas mayores de 2 mm.

4.4.RELACIÓN ENTRE INDICE DE DAÑO Y PORCENTAJE DE DAÑO ESPERADO

Para poder entender cual es la diferencia entre un Índice de Daño y un porcentaje de daño acumulado esperado, es necesario definir a estos y comprender a que se refiere cada uno de ellos.

4.4.1 INDICE DE DAÑO

Los índices de daño sísmico en estructuras porticadas de hormigón armado que es el caso al cual nos referimos en este trabajo, se encargan de cuantificar mediante un número el grado de deterioro de un elemento, de un grupo de elementos o de una estructura, ante la acción de un sismo determinado.

Esta es una tarea sumamente difícil por la gran cantidad de elementos estructurales y no estructurales que conforman un edificio, motivo por el cual existen varias formas de basarse para poder determinarlos, de tal forma que a continuación se presenta los distintos criterios para evaluar el daño sísmico de una estructura.

- Relación entre demanda sísmica y la capacidad de deformación de la estructura
- Relación entre la demanda sísmica y la capacidad de resistencia de la estructura
- Relación entre la demanda sísmica y la capacidad de energía disipada por la estructura
- Relación entre la demanda sísmica y la capacidad de carga o deformación o energía disipada, de la estructura. Es una combinación de las variables mencionadas.
- Relación entre la demanda sísmica y la capacidad evaluada en forma de sumatoria, las variables: deformación carga o energía, ya sea trabajando individualmente con una de ellas o con una combinación de las mismas.
- Evaluación basada en parámetros vibratoriales.

De esta manera los investigadores que se han dedicado analizar estos casos y han obtenidos resultados satisfactorios de sus estudios, han podido presentar los distintos métodos existentes para la obtención de estos índices.

Hay que tomar en cuenta que los tres primeros criterios para evaluar el daño están enmarcados en el grupo de evaluación que relaciona la demanda con la capacidad, demanda generada por los sismos comparada con la capacidad resistente de la estructura expresada en términos de carga, deformaciones o energías. Los índices de daño que se evalúan de esta manera son a nivel local de elementos y para encontrar el daño global de la estructura, se utiliza un criterio de combinación, normalmente se lo hace en términos energéticos como los utilizados por Park et.

Este método es utilizado por el programa IDARC empleado en el estudio, y sus resultados constan en las tablas de resultados como una base de datos del estudio.

En la actualidad existen un sinnúmero de modelos presentados por distintos investigadores de todo el mundo, pero para poderlos compara sus índices de daño es necesario normalizarlos de alguna manera, de tal forma que si un elementos encuentra en el rango elástico, el índice de daño es igual a cero ($I_D = 0$), y si el elemento colapsa el valor del índice de daño será de uno ($I_D = 1$).

Tabla 4.5 Interpretación del Índice de Daño (Park et al., 1986).

Degradación del daño	Apariencia Física	Índice de daño	Estado del edificio
Colapso	Parcial o total colapso del edificio	>1	perdida del edificio
Severo	Extensas rupturas del concreto, curvatura del acero de refuerzo	0,4 - 1,0	irreparable
Moderado	Fisuras largas extensas	< 0,4	reparable
Menor	Pequeñas fisuras, aplastamiento del concreto en columnas	0.15	--
Leve	fisuras esporádicas	0.05	--

Por lo tanto si se tiene un $ID = 0.5$ a nivel de miembro, este presenta extensas grietas en el concreto, y el acero tiende a curvarse, es decir este daño es evidente luego del análisis. Lo mismo sucede si se trabaja con un ID global en una estructura, de tal manera que el índice de daño por medio de un valor cuantifica el daño que se presenta en un elemento o estructura.

4.4.2 PORCENTAJE DE DAÑO ESPERADO

Al hablar en el presente trabajo de porcentaje de daño, se refiere al porcentaje acumulado de daño esperado producto de la utilización de las curvas de fragilidad propuestas. De esta manera al igual que el índice de daño este se encarga de cuantificar el daño esperado para la estructura en análisis, pero este daño no es un hecho, es un valor de acuerdo a estadísticas de un conjunto de estructuras sometidas a distintos eventos sísmicos que presentaron un tipo de daño específico, como se puede ver, el porcentaje de daño es un valor que fue determinado de acuerdo a una probabilidad, es decir que no hay la seguridad que este se presente, pero que las estadísticas dicen que es lo más probable.

Este es un valor que da una referencia para estimar el daño de una estructura ante un determinado evento sísmico a partir de un parámetro estructural, además este valor es más certero cuanto más grande es la base de datos que fue utilizada para determinar este valor.

Por otro lado al tener un porcentaje de daño no se puede precisar que elementos específicos son los que se prevé sufran el daño esperado, es decir, que para el caso de edificios compuestos de vigas y columnas no se puede decir que vigas y que columnas son las que se espera presenten el tipo de daño esperado. A diferencia que si se realiza un análisis no lineal paso a paso para un determinado evento sísmico, calculando así el índice de daño para cada elemento específico del mismo, pudiendo así obtener un índice general de daño global de la estructura.

Es así que la diferencia entre el índice de daño y el porcentaje de daño esperado, radica en la veracidad y exactitud de determinar el daño en una edificación ante la acción de un determinado sismo.

4.5.COMPARACIÓN CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR HAZUS

Para poder comparar la metodología propuesta en este trabajo, es necesario presentar primero lo que Hazus realiza en su metodología, para ello se presenta a manera de resumen la parte que se puede aplicar para la comparación.

4.5.1 DETERMINACIÓN DEL DAÑO EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO

La metodología de Hazus trabaja en función al desplazamiento lateral de la edificación. Parámetro que permite la obtención de curvas de fragilidad para el daño estructural y el daño no estructural por distorsión de piso. Por otra parte, con la capacidad de aceleración S_{am} , también se puede encontrar el daño en elementos no estructurales que son sensibles a la aceleración y a caerse o desprenderse. Este punto no será desarrollado para no desviarnos del análisis.

Hazus al igual que la mayoría de investigadores, no recomienda determinar un solo valor de daño, motivo por el cual utiliza un rango de variación donde estaría el daño, el mismo que quedará definido por un límite inferior de daño, límite superior y un valor medio.

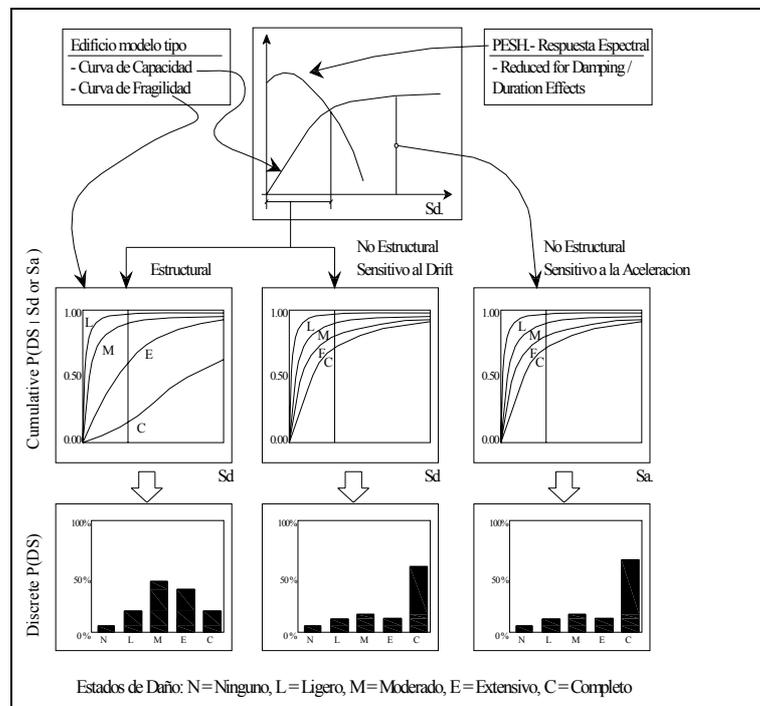


Figura 4.3 Proceso de Estimación del daño en Edificios (Hazus)

Para sus curvas de fragilidad Hazus considera en las abscisas el desplazamiento espectral S_d o la capacidad de aceleración espectral S_a ; de tal forma que estas curvas de fragilidad representa la probabilidad de alcanzar o sobrepasar un cierto rango de daño estructural para un desplazamiento espectral S_d o una aceleración espectral S_a .

Las curvas de fragilidad evalúan el daño en forma probabilística, como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, pero se debe tomar en cuenta que para la elaboración de estas curvas es necesario tener una buena base de datos constituida por un conjunto de estructuras. Hazus para ello ha investigado 36 tipologías distintas de estructuras, obteniendo una base de datos muy amplia. De esta manera se presenta a continuación los diferentes modelos con que se trabajaron para la obtención de la base de datos de Hazus.

Tabla 4.6 Modelos tipo de edificios

No.	Nivel	Descripción	ALTURA			
			RANGO		TÍPICAMENTE	
			ELEVACION	PISOS	PISOS	PIES
1	W1	Pared, Luz del Marco (≤ 5000 p2)		1-2	1	14
2	W2	Pared, Comercial e Industrial (>5000 p2)		TODOS	2	24
3	S1L	Marco de acero resistente a momento	BAJA	1-3	2	24
4	S1M		MEDIA	4-7	5	60
5	S1H		ALTA	8+	13	156
6	S2L	Marco atirantado de acero	BAJA	1-3	2	24
7	S2M		MEDIA	4-7	5	60
8	S2H		ALTA	8+	13	156
9	S3	Marco de acero		TODOS	1	15
10	S4L	Marco de acero con paredes de corte de concreto	BAJA	1-3	2	24
11	S4M		MEDIA	4-7	5	60
12	S4H		ALTA	8+	13	156
13	S5L	Marco de acero con paredes internas de mampostería no reforzada	BAJA	1-3	2	24
14	S5M		MEDIA	4-7	5	60
15	S5H		ALTA	8+	13	156
16	C1L	Marcos de concreto resistente a momento	BAJA	1-3	2	20
17	C1M		MEDIA	4-7	5	50
18	C1H		ALTA	8+	12	120
19	C2L	Paredes de corte de concreto	BAJA	1-3	2	20
20	C2M		MEDIA	4-7	5	50
21	C2H		ALTA	8+	12	120

22	C3L	Marco de concreto con paredes internas de mampostería no reforzada	BAJA	1-3	2	20
23	C3M		MEDIA	4-7	5	50
24	C3H		ALTA	8+	12	120
25	PC1	Paredes de concreto pre-fabrica.		TODOS	1	15
26	PC2L	Marco de concreto pre-fábrica. con paredes de corte de hormigón armado	BAJA	1-3	2	20
27	PC2M		MEDIA	4-7	5	50
28	PC2H		ALTA	8+	12	120
29	RM1L	Estruc. con mampostería reforzada y con diafragmas.	BAJA	1-3	2	20
30	RM1M		MEDIA	4+	5	50
31	RM2L	Estruc. con mampostería reforzada y con diafragmas de concreto-Prefabricado	BAJA	1-3	2	20
32	RM2M		MEDIA	4-7	5	50
33	RM2H		ALTA	8+	12	120
34	URML	Mampostería no reforzada	BAJA	1-2	1	15
35	URMM		MEDIA	3+	3	35
36	MH	Casas Móviles		TODOS	1	10

4.5.2 DAÑO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Hazus realiza una clasificación de edificios tipo en los que elabora una serie de análisis tanto de daño como de pérdidas económicas debidas a éste tabla (4.5). A continuación se presenta las relaciones de deriva de piso (drift), que determinan el límite del estado de daño tabla (4.6)

Tabla 4.7 Relaciones de deriva en el umbral de Daño Estructural

Nivel de diseño Sísmico	Tipo de Edificio	Relaciones de Deriva en el umbral de Daño Estructural			
		LIGERO	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO
ALTO	W1/W2 C1L, S2L RM1L/RM2L, PC1/PC2L	0.004	0.012	0.040	0.100
		0.005	0.010	0.030	0.080
		0.004	0.008	0.024	0.070
MODERADO	W1/W2 C1L, S2L RM1L/RM2L, PC1/PC2L	0.004	0.010	0.031	0.075
		0.005	0.009	0.023	0.060
		0.004	0.007	0.019	0.053
BAJO	W1/W2 C1L, S2L RM1L/RM2L, PC1/PC2L URML,C3L,S5L	0.004	0.010	0.031	0.075
		0.005	0.008	0.031	0.050
		0.004	0.006	0.016	0.044
		0.003	0.006	0.015	0.035
PRE-CÓDIGO	W1/W2 C1L, S2L RM1L/RM2L, PC1/PC2L URML,C3L,S5L	0.003	0.008	0.025	0.060
		0.004	0.006	0.016	0.040
		0.003	0.005	0.013	0.035
		0.002	0.005	0.012	0.028

- **Daño ligero.**- Se observan pequeñas fisuras en los extremos de los elementos. Estas fisuras se deben a la flexión y al corte de las columnas y vigas. Las fisuras por flexión

son verticales, en cambio las fisuras de corte son inclinadas con un ángulo aproximado a los 45 grados. En términos del diagrama “momento curvatura” se puede indicar que los elementos han sobrepasado el punto *A* de agrietamiento pero están distantes del punto *Y* de fluencia.

- **Daño moderado.**- Se observa que la mayor parte de vigas y columnas en sus extremos presentan fisuras en general. Adicionalmente, en pórticos dúctiles se observa que algunos elementos han alcanzado el punto de fluencia *Y*. Es decir llegaron al máximo límite elástico, por este motivo las fisuras son pronunciadas.
- **Daño extensivo.**- Algunos de los elementos estructurales llegan al punto *U*, que corresponde al punto en el cual el hormigón llega a la máxima deformación útil a la compresión. En los elementos que no son dúctiles se observa que han fallado por cortante, se observa además que la armadura de algunos elementos ha sufrido gran deformación o se ha roto. En estas condiciones la estructura está sumamente dañada.
- **Daño Completo.**- La estructura ha colapsado o está en peligro inminente de colapso. Si permanece en pie después del sismo, debe ser derrocada por el gran daño que presenta.

De esta manera Hazus tiene una base de datos para las 36 topologías de estructuras, de acuerdo al nivel de diseño sísmico que se considere. Para facilitar sus resultados se tiene tablas en las cuales constan sus valores medios y desviaciones estándares para cada caso.

Hazus para poder generar sus curvas de fragilidad utiliza la función de distribución normal del logaritmo natural del desplazamiento espectral o aceleración, es decir el mismo procedimiento que se aplicó para obtención de las curvas que aquí se proponen.

Pero las curvas que en este trabajo se obtuvieron fueron de acuerdo al parámetro estructural de la distorsión de piso (drift), lo cual hace imposible su comparación, por este motivo se generaron curvas que están en función del

desplazamiento espectral, procedimiento empleado en el capítulo II. A continuación se presentan los resultados para cada piso y sus curvas.

Tabla 4.8 Desplazamientos máximos para 1 piso [cm].

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS PARA 1 PISO				
LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO	
0,1091	1,7122	3,6148	12,2524	
0,1108	3,1068	3,4035	13,4288	
0,1121	1,6896	3,9337	10,8486	
0,1129	3,1395	3,4281	12,2829	
0,1379	3,2830	4,1905	13,6123	
0,1095	1,6522	3,4194	11,4125	
0,1375	3,0380	3,5210	10,9500	
0,1073	1,6375	3,8791	11,9947	
0,1366	3,2218	4,0862	13,8300	
0,1049	2,3940	3,6934	10,8227	
0,1353	3,2548	3,5852	11,8372	
0,1021	2,4464	3,3474	14,1415	
0,1378	3,2685	3,4761	10,4468	
0,1086	3,2028	3,5835	10,7678	
0,1372	2,3930	6,7328	10,7678	
0,1062	3,1574	3,5351	13,5244	
0,1360	2,4693	3,3569	14,5317	
0,1035	2,8222	6,6379	10,7015	
0,1344	2,3105	3,4313	14,0238	
0,1006	2,6579	3,3143	14,0238	
0,0859	2,7213	5,0757	14,3708	
	2,9913		13,4739	
	2,6254		12,8728	
	2,6826		13,3419	
	3,0276		13,4943	
	2,6306			
	3,0174			
	2,7157			
Media =	0,1174	2,6882	3,9641	12,5502
Desv. Est. =	0,0164	0,5155	0,9895	1,3842

Tabla 4.9 Desplazamientos máximos para 2 pisos [cm].

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS PARA 2 PISOS			
LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO
1,8697	4,4330	8,8894	21,5906
2,0147	3,6967	7,9610	21,3803
2,1632	3,1950	8,0470	20,0166
2,1892	4,1776	7,5001	23,0205
2,3284	4,0745	11,9647	18,7792
2,4804	3,6366	10,8080	22,2836
2,9459	3,1849	8,1352	22,5104
2,5745	4,2161	9,7811	20,6524
2,5748	3,8343	12,3723	20,1800
2,6025	3,6566	10,7159	20,6434
2,7853	3,5604	9,8762	18,5712
2,5659	4,0845	10,4414	17,5450
2,7546	3,6111	10,0526	18,6312
2,5451	3,6672		22,7669
1,3667	3,9675		20,6624
1,3978	4,0480		19,2723
1,4204	3,7220		
1,3854	3,5869		
1,3431	3,7589		
2,0551	3,7915		
	3,3196		
	3,6761		
	4,3593		
	3,6439		
	3,1061		
	3,7020		
	4,5953		
	3,5060		
	3,7159		
	4,9098		
	3,8271		
	2,9743		
	3,6064		
	4,2808		
	3,3251		
	2,8403		
	3,7662		
	5,0019		
	3,1783		
	3,7979		
	5,6839		
	3,0500		
	3,8267		
	6,4070		
	2,6565		
Media =	2,1954	3,8331	10,4608
Desv. Est. =	0,5979	0,7096	1,2490

Tabla 4.10 Desplazamientos máximos para 3 pisos [cm].

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS PARA 3 PISOS				
LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO	
2,781	4,78589	13,67065	21,10802	
2,28524	4,12998	10,93804	16,71904	
3,30068	5,84515	9,64758	16,59892	
2,66958	4,11486	8,25572	16,21528	
2,19815	5,51861	9,87637	19,38201	
3,47429	4,725	9,18559	17,83429	
2,55666	5,92196	7,45889	20,55478	
2,14195	3,95349	9,80602	17,72378	
3,680775	6,47126	10,48665	20,54699	
2,958285	8,28619	10,205625	17,76461	
2,419095	6,03367	10,53412	16,97874	
3,24704	6,03367	14,03626	16,92137	
2,63046	4,41095	8,34169		
2,20011	5,40939	8,53394		
2,57966	7,91632	8,00011		
2,14957	5,27905	8,01073		
2,58582	2,75336	9,49311		
2,04989	4,46533	11,25876		
3,49921	5,05331	8,10804		
2,57781	7,80477	7,50776		
2,12309	5,40243	7,50201		
3,38446	4,56273			
2,60065	5,17409			
2,12913	6,7283			
2,59822	3,94652			
2,03947	5,75711			
2,59137	7,58735			
1,90067	5,20783			
1,90067	3,67883			
2,59561	4,74181			
1,99959	5,35834			
2,6887875	7,72529			
	7,72529			
	3,96856			
	4,38384			
	7,40809			
	4,96602			
	3,75334			
	4,52896			
	5,5446			
	3,8530275			
Media =	2,5793	5,3882	9,5647	18,1957
Desv. Est. =	0,4984	1,3696	1,8479	1,7394

Tabla 4.11 Desplazamientos máximos para 4 pisos [cm].

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS PARA 4 PISOS				
LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO	
3,00822	7,68109	14,85289	21,25807	
3,94808	5,45057	15,56656	24,86634	
2,77803	8,23977	11,80397	25,8026	
3,31778	6,59168	15,98639	20,90928	
2,95146	8,32631	15,69795	26,07833	
4,09516	6,75921	10,48761	22,37016	
3,02737	5,60166	10,97896	23,7369	
2,92952	8,69325	14,18826	22,23493	
4,21673	5,37951	10,59764	22,80683	
2,54194	9,11095	13,45964		
3,22405	7,85157			
2,94955	6,21874			
4,11728	6,91264			
2,67397	8,27947			
3,2819	7,42603			
2,9762	5,65979			
4,01427	6,78912			
2,69801	6,78912			
3,04681	7,43877			
2,92336	5,85796			
4,1993	7,17216			
2,57408	7,93316			
3,27601	5,48735			
2,77821	8,96485			
4,34374	7,93916			
2,2477	6,09291			
3,07452	6,99614			
2,88927	8,18974			
4,25637	7,11607			
2,47803	5,55145			
3,1319	4,65933			
2,93478	6,36897			
4,04143	8,32853			
2,65532	7,1763			
3,13524	5,75491			
2,84923	6,97624			
4,28135	8,089264			
2,41649				
3,40095				
2,68176				
2,23928				
3,22742				
2,80434				
4,3211				
2,28024				
3,16508				
Media =	3,1805	6,9864	11,9424	23,3404
Desv. Est. =	0,6448	1,1527	1,7463	0,6785

Tabla 4.12 Desplazamientos máximos para 5 pisos [cm].

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS PARA 5 PISOS				
	LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO
	3,68179	8,63011	16,07554	24,43632
	5,33658	9,03211	13,75539	22,21525
	5,1138	8,85918	16,81514	21,41701
	4,07307	7,32411	16,14463	22,14095
	3,49349	5,96372	14,73432	23,08094
	4,99262	7,27063	16,17155	23,62942
	4,9387	8,01062	16,42999	22,9705
	4,12104	7,72767	13,36249	24,75431
	3,17101	8,69781	14,41301	23,44676
	5,22498	7,17132		
	5,08636	5,97869		
	4,10168	7,10413		
	3,36809	8,86379		
	4,08721	7,43772		
	3,46568	7,5176		
	5,04576	7,83668		
	4,99023	7,72637		
	4,12285	6,818975		
	3,19655			
	4,75783			
	4,63547			
	4,07336			
	3,16537			
	3,10447			
	2,92954			
	4,2696			
	2,60035			
	5,27419			
	5,0788			
	4,12354			
	3,24502			
	4,87005			
	4,8105			
	4,11392			
	3,16622			
	4,54459			
	4,32146			
	4,02474			
	3,53776			
	4,77677			
	4,68626			
	4,09305			
	3,17526			
	2,695433333			
Media =	4,0867	7,4300	15,2093	23,1213
Desv. Est. =	0,7726	0,8102	1,2297	0,8645

Realizando una distribución lognormal se generaron las curvas de 1 a 6 pisos utilizando el desplazamiento, las cuales se indican a continuación.

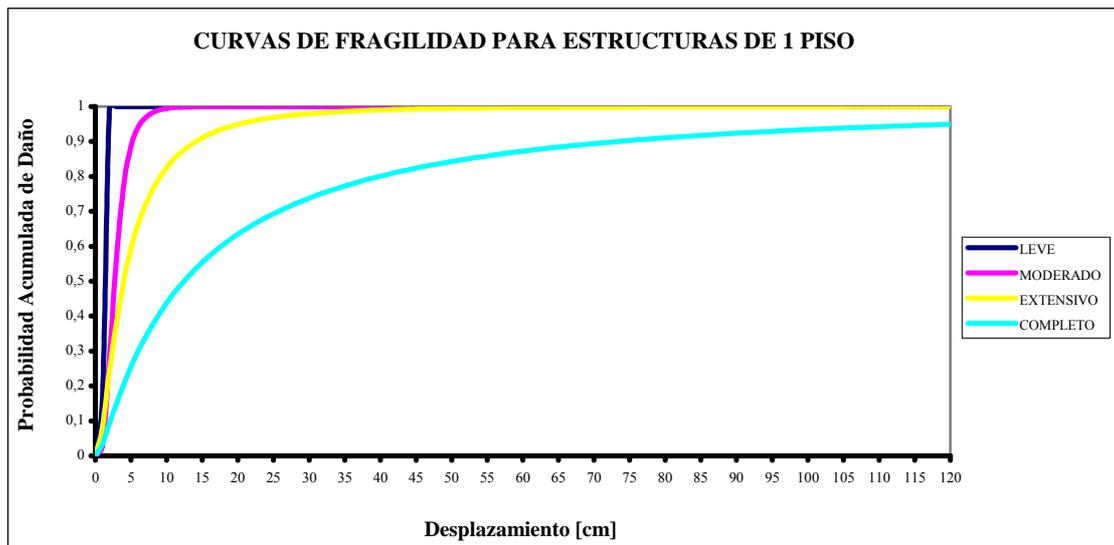


Figura 4.4 Curva de fragilidad para 1 piso

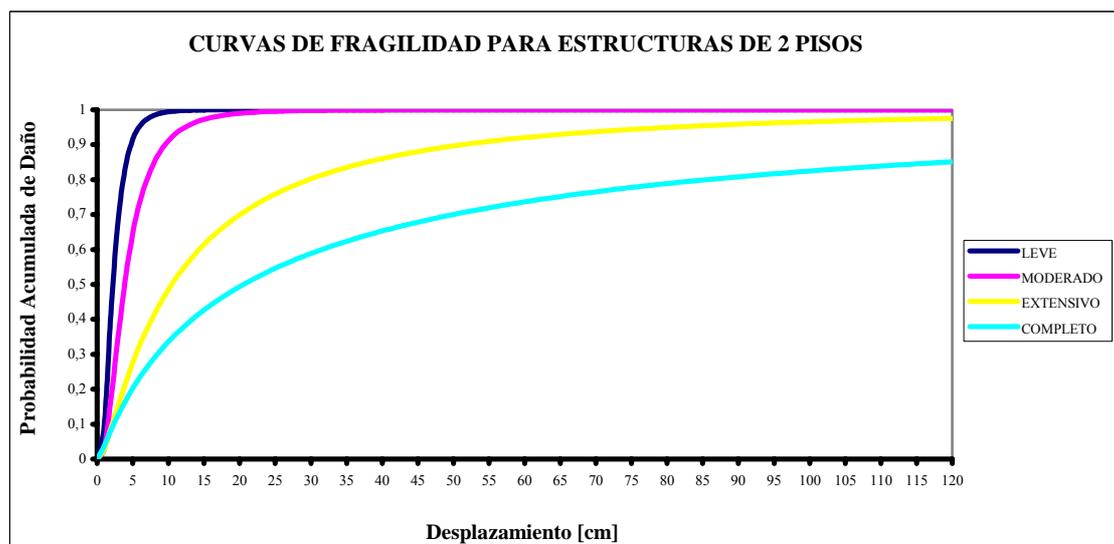


Figura 4.5 Curva de fragilidad para 2 pisos

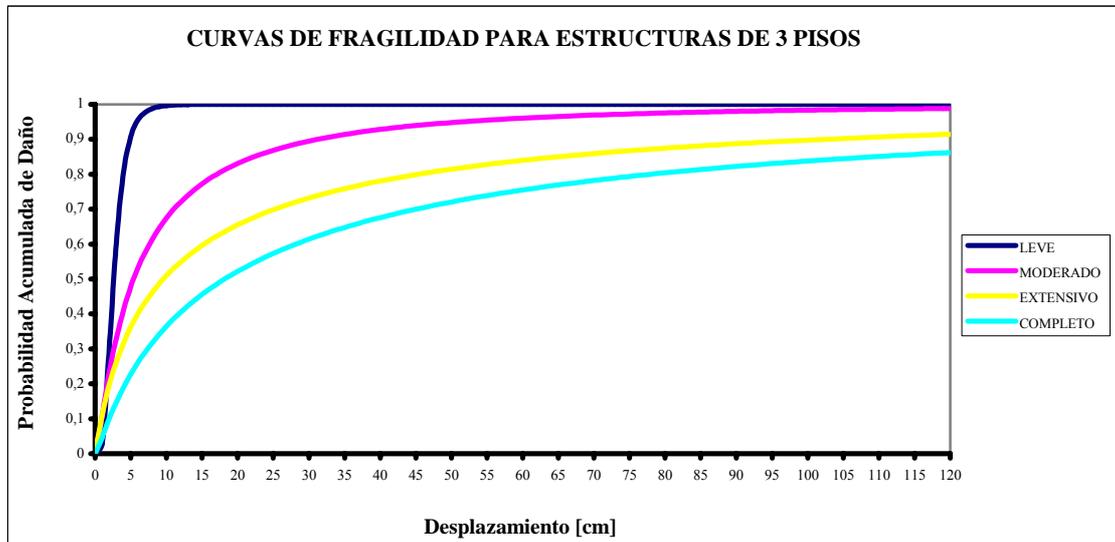


Figura 4.6 Curva de fragilidad para 3 pisos

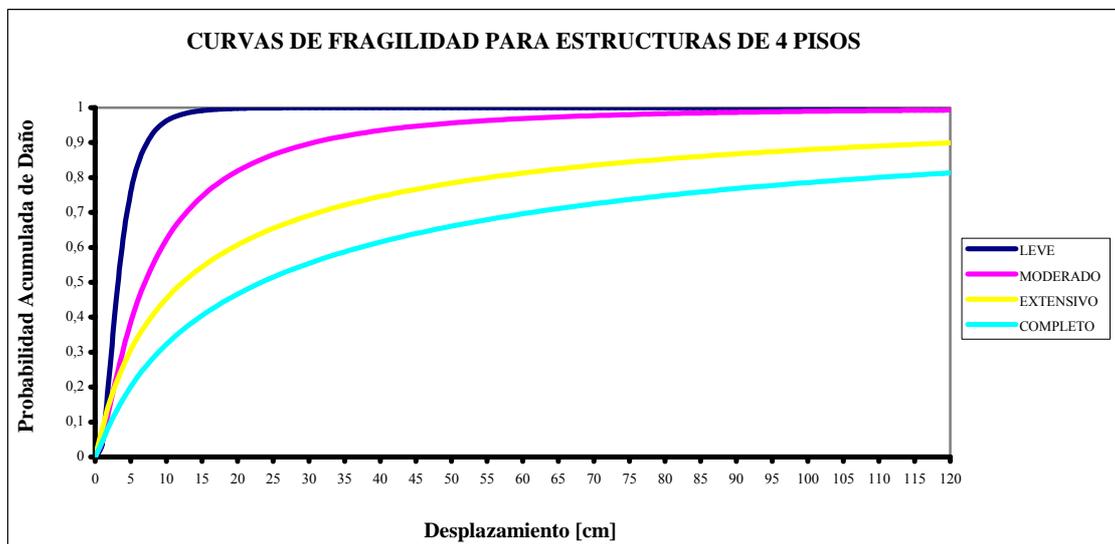


Figura 4.7 Curva de fragilidad para 4 pisos

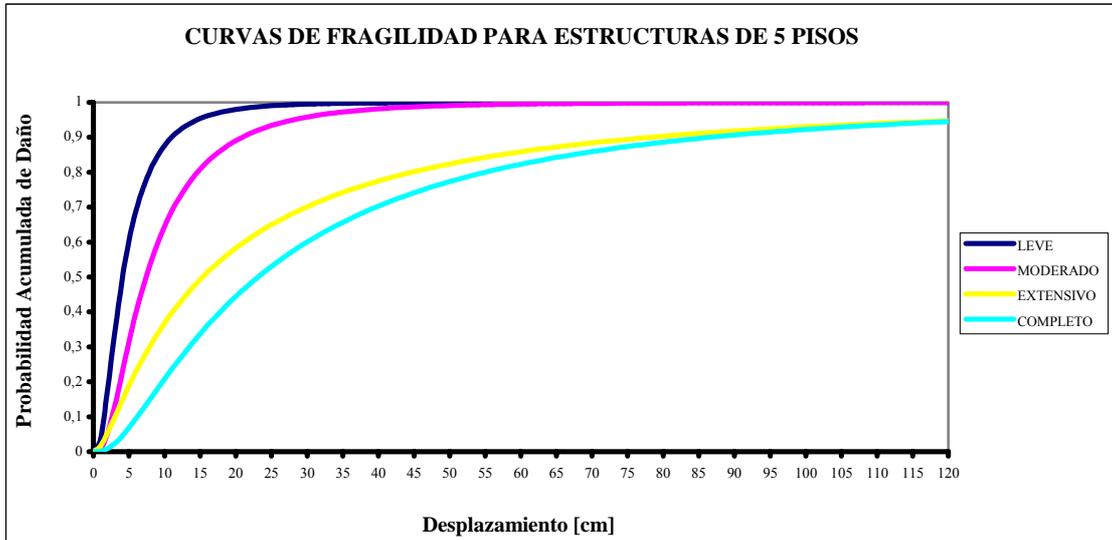


Figura 4.8 Curva de fragilidad para 5 pisos

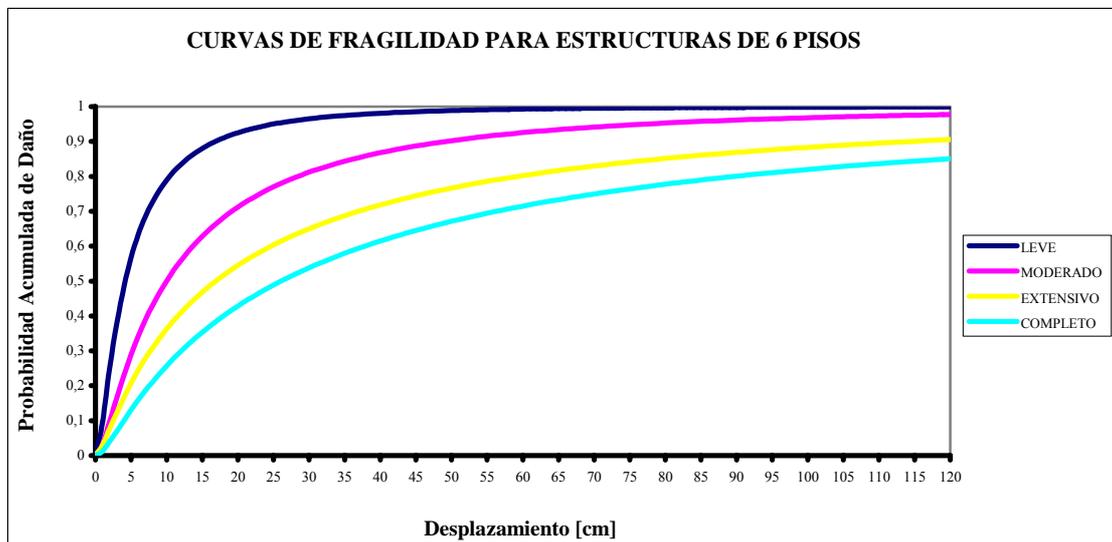


Figura 4.9 Curva de fragilidad para 6 pisos

De esta manera se proponen dos graficas que contienen curvas de fragilidad, una para edificios de 1 a 3 pisos y otra para edificios de 4 a 6, las mismas que se obtuvieron realizando un promedio entre las de 1 a 3 y las de 4 a 6. De esta manera se presenta a continuación los resultados de este promedio.

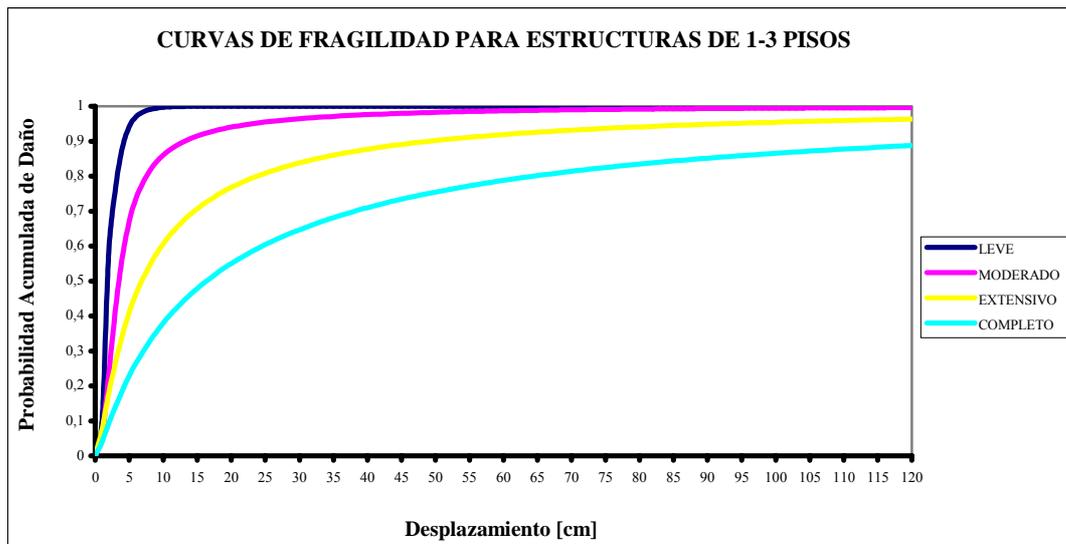


Figura 4.10 Curva de fragilidad para edificios de 1-3 pisos.

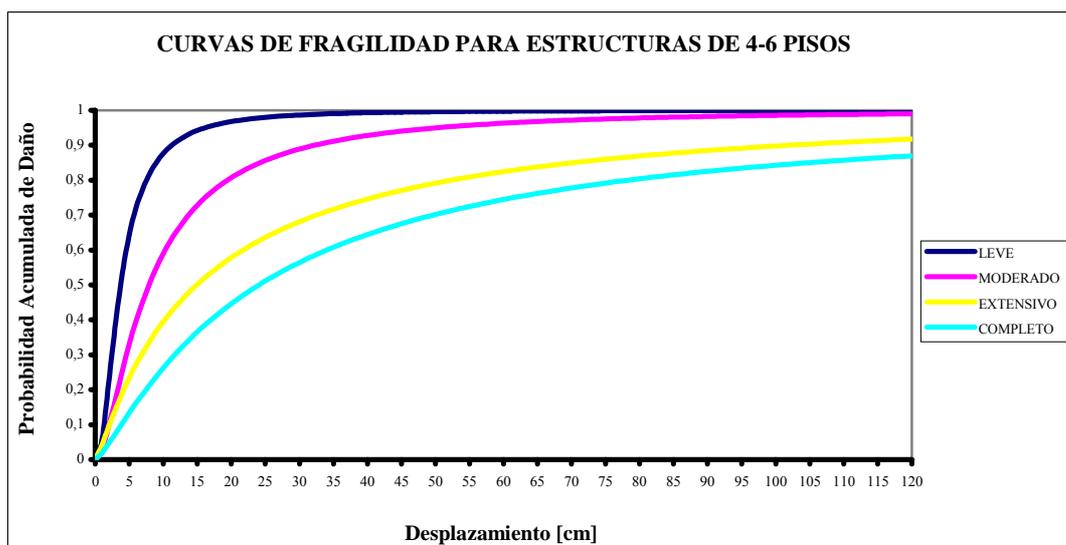


Figura 4.11 Curva de fragilidad para edificios de 4-6 pisos.

Para poder comparar estas curvas con las de Hazus, es necesario generar las curvas de Hazus tomando sus valores medios para cada daño y su desviación estándar respectiva. De esta manera se podrá comprobar diferencias existentes entre los dos métodos.

A continuación se presenta en una tabla los valores con que se trabajó para la generación de las curvas.

Tabla 4.14 Parámetros que definen las Curvas de Fragilidad para un nivel de daño sísmico bajo (C1L)

Ligero		Moderado		Extensivo		Completo	
Media	Beta	Media	Beta	Media	Beta	Media	Beta
0,90	0,95	1,44	0,91	3,60	0,85	9,00	0,97

Tabla 4.15 Parámetros que definen las Curvas de Fragilidad para un nivel de daño sísmico bajo (C1M)

Ligero		Moderado		Extensivo		Completo	
Media	Beta	Media	Beta	Media	Beta	Media	Beta
1,50	0,70	2,40	0,74	6,00	0,86	15,00	0,98

Donde:

C1L = Pórticos de vigas y columnas de hormigón armado de 1 a 3 pisos, con una altura promedio de 20 pies.

C1M = Pórticos de vigas y columnas de hormigón armado de 4 a 7 pisos, con una altura promedio de 50 pies.

Como se puede ver Hazus trabaja en pulgadas, para esta comparación se realizaron las respectivas transformaciones de manera que no exista incoherencia de unidades entre los dos métodos.

A continuación se presenta las tablas de generación de las Curvas propuestas por Hazus aplicando una distribución normal del logaritmo natural.

Tabla 4.16 Tabla de generación de curvas de fragilidad propuestas por Hazus de 1-3 pisos.

Desplaz.	DAÑOS			
	LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO
0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
1,00	0,27101	0,08837	0,00340	0,00097
2,00	0,53601	0,26474	0,02639	0,00793
3,00	0,69145	0,41822	0,06861	0,02218
4,00	0,78539	0,53713	0,12168	0,04219
5,00	0,84517	0,62766	0,17913	0,06617
6,00	0,88495	0,69692	0,23697	0,09269
7,00	0,91242	0,75053	0,29294	0,12065
8,00	0,93198	0,79253	0,34589	0,14927

9,00	0,94626	0,82586	0,39528	0,17802
10,00	0,95693	0,85261	0,44097	0,20650
11,00	0,96503	0,87430	0,48301	0,23446
12,00	0,97130	0,89207	0,52156	0,26170
13,00	0,97621	0,90675	0,55686	0,28813
14,00	0,98011	0,91897	0,58915	0,31367
15,00	0,98323	0,92923	0,61868	0,33828
16,00	0,98577	0,93789	0,64569	0,36194
17,00	0,98784	0,94525	0,67042	0,38467
18,00	0,98955	0,95154	0,69308	0,40646
19,00	0,99097	0,95694	0,71385	0,42735
20,00	0,99216	0,96161	0,73292	0,44736
21,00	0,99316	0,96566	0,75044	0,46652
22,00	0,99401	0,96919	0,76656	0,48486
23,00	0,99473	0,97227	0,78141	0,50241
24,00	0,99534	0,97498	0,79510	0,51922
25,00	0,99587	0,97737	0,80774	0,53530
26,00	0,99633	0,97947	0,81942	0,55070
27,00	0,99673	0,98134	0,83024	0,56545
28,00	0,99708	0,98301	0,84026	0,57958
29,00	0,99738	0,98449	0,84955	0,59311
30,00	0,99764	0,98581	0,85818	0,60608
31,00	0,99787	0,98700	0,86620	0,61852
32,00	0,99808	0,98807	0,87366	0,63044
33,00	0,99826	0,98903	0,88062	0,64188
34,00	0,99842	0,98990	0,88710	0,65286
35,00	0,99857	0,99068	0,89315	0,66339
36,00	0,99869	0,99139	0,89880	0,67351
37,00	0,99881	0,99204	0,90409	0,68323
38,00	0,99891	0,99262	0,90903	0,69258
39,00	0,99900	0,99316	0,91367	0,70156
40,00	0,99908	0,99364	0,91801	0,71019
41,00	0,99916	0,99409	0,92209	0,71850
42,00	0,99923	0,99450	0,92592	0,72650
43,00	0,99929	0,99487	0,92951	0,73420
44,00	0,99934	0,99522	0,93290	0,74161
45,00	0,99939	0,99553	0,93608	0,74875
46,00	0,99944	0,99582	0,93908	0,75563
47,00	0,99948	0,99609	0,94191	0,76227
48,00	0,99952	0,99634	0,94458	0,76867
49,00	0,99955	0,99657	0,94709	0,77484
50,00	0,99958	0,99678	0,94947	0,78080
51,00	0,99961	0,99697	0,95172	0,78655
52,00	0,99964	0,99715	0,95385	0,79210
53,00	0,99966	0,99732	0,95586	0,79746
54,00	0,99969	0,99748	0,95776	0,80264
55,00	0,99971	0,99762	0,95956	0,80765
56,00	0,99973	0,99776	0,96128	0,81249
57,00	0,99974	0,99789	0,96290	0,81717
58,00	0,99976	0,99800	0,96444	0,82169
59,00	0,99978	0,99811	0,96590	0,82607
60,00	0,99979	0,99822	0,96729	0,83031

61,00	0,99980	0,99831	0,96861	0,83442
62,00	0,99981	0,99840	0,96986	0,83839
63,00	0,99983	0,99849	0,97106	0,84224
64,00	0,99984	0,99856	0,97219	0,84597
65,00	0,99984	0,99864	0,97328	0,84958
66,00	0,99985	0,99871	0,97431	0,85309
67,00	0,99986	0,99877	0,97529	0,85648
68,00	0,99987	0,99883	0,97623	0,85978
69,00	0,99988	0,99889	0,97712	0,86297
70,00	0,99988	0,99895	0,97798	0,86607
71,00	0,99989	0,99900	0,97879	0,86908
72,00	0,99990	0,99905	0,97957	0,87200
73,00	0,99990	0,99909	0,98031	0,87484
74,00	0,99991	0,99913	0,98102	0,87759
75,00	0,99991	0,99917	0,98170	0,88027
76,00	0,99992	0,99921	0,98235	0,88287
77,00	0,99992	0,99925	0,98298	0,88539
78,00	0,99992	0,99928	0,98357	0,88785
79,00	0,99993	0,99931	0,98414	0,89024
80,00	0,99993	0,99934	0,98469	0,89256
81,00	0,99994	0,99937	0,98521	0,89481
82,00	0,99994	0,99940	0,98572	0,89701
83,00	0,99994	0,99943	0,98620	0,89914
84,00	0,99994	0,99945	0,98666	0,90122
85,00	0,99995	0,99948	0,98710	0,90324
86,00	0,99995	0,99950	0,98753	0,90521
87,00	0,99995	0,99952	0,98794	0,90713
88,00	0,99995	0,99954	0,98833	0,90900
89,00	0,99996	0,99956	0,98871	0,91081
90,00	0,99996	0,99958	0,98907	0,91259
91,00	0,99996	0,99959	0,98942	0,91431
92,00	0,99996	0,99961	0,98976	0,91599
93,00	0,99996	0,99962	0,99008	0,91763
94,00	0,99997	0,99964	0,99039	0,91923
95,00	0,99997	0,99965	0,99069	0,92079
96,00	0,99997	0,99967	0,99097	0,92231
97,00	0,99997	0,99968	0,99125	0,92379
98,00	0,99997	0,99969	0,99152	0,92523
99,00	0,99997	0,99970	0,99177	0,92664
100,00	0,99997	0,99972	0,99202	0,92802
101,00	0,99997	0,99973	0,99226	0,92936
102,00	0,99998	0,99974	0,99249	0,93067
103,00	0,99998	0,99975	0,99271	0,93195
104,00	0,99998	0,99976	0,99293	0,93319
105,00	0,99998	0,99976	0,99313	0,93441
106,00	0,99998	0,99977	0,99333	0,93560
107,00	0,99998	0,99978	0,99352	0,93676
108,00	0,99998	0,99979	0,99371	0,93790
109,00	0,99998	0,99980	0,99389	0,93901
110,00	0,99998	0,99980	0,99406	0,94009
111,00	0,99998	0,99981	0,99423	0,94115
112,00	0,99998	0,99982	0,99439	0,94218

113,00	0,99998	0,99982	0,99455	0,94320
114,00	0,99999	0,99983	0,99470	0,94418
115,00	0,99999	0,99984	0,99484	0,94515
116,00	0,99999	0,99984	0,99499	0,94610
117,00	0,99999	0,99985	0,99512	0,94702
118,00	0,99999	0,99985	0,99525	0,94792
119,00	0,99999	0,99986	0,99538	0,94881
120,00	0,99999	0,99986	0,99551	0,94967

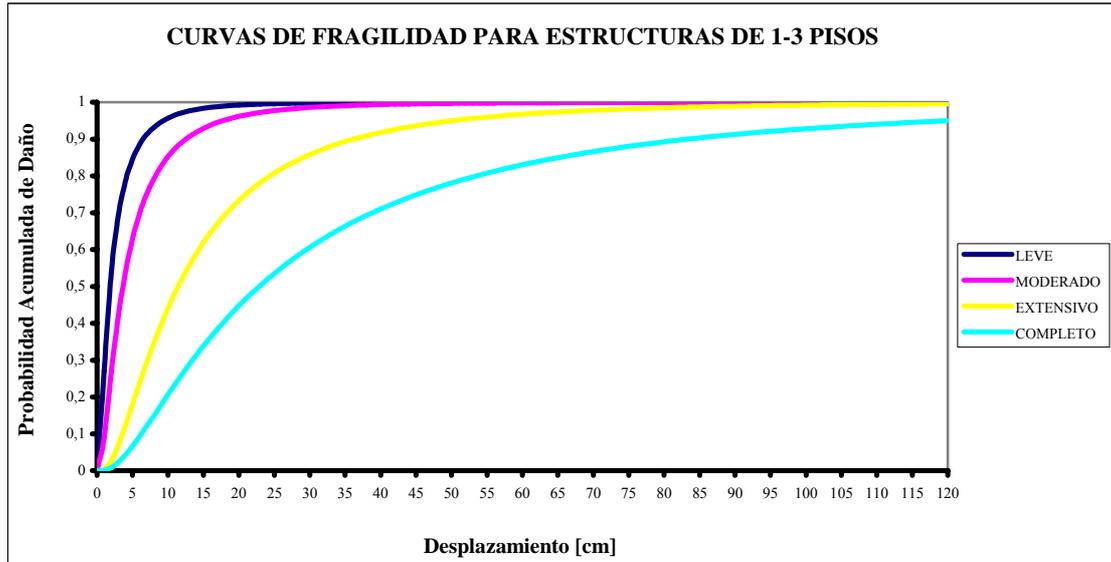


Figura 4.12 Curva de fragilidad para edificios de 1-3 pisos propuesto por Hazus

Tabla 4.17 Tabla de generación de curvas de fragilidad propuestas por Hazus de 4-7 pisos.

Desplaz.	DAÑOS			
	LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO
0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
1,00	0,02801	0,00729	0,00077	0,00010
2,00	0,17861	0,06603	0,00912	0,00132
3,00	0,36638	0,16900	0,02942	0,00475
4,00	0,52771	0,28455	0,06000	0,01073
5,00	0,65110	0,39441	0,09760	0,01912
6,00	0,74175	0,49144	0,13933	0,02964
7,00	0,80757	0,57412	0,18298	0,04192
8,00	0,85537	0,64331	0,22698	0,05562
9,00	0,89028	0,70072	0,27032	0,07045
10,00	0,91598	0,74821	0,31230	0,08614
11,00	0,93507	0,78746	0,35252	0,10246
12,00	0,94939	0,81997	0,39076	0,11922
13,00	0,96023	0,84694	0,42690	0,13627
14,00	0,96850	0,86940	0,46093	0,15349
15,00	0,97487	0,88816	0,49287	0,17075

16,00	0,97981	0,90388	0,52279	0,18799
17,00	0,98368	0,91711	0,55079	0,20512
18,00	0,98673	0,92829	0,57696	0,22209
19,00	0,98915	0,93776	0,60141	0,23886
20,00	0,99108	0,94581	0,62424	0,25539
21,00	0,99262	0,95269	0,64556	0,27164
22,00	0,99388	0,95857	0,66548	0,28761
23,00	0,99489	0,96363	0,68408	0,30327
24,00	0,99572	0,96798	0,70147	0,31861
25,00	0,99640	0,97175	0,71773	0,33362
26,00	0,99696	0,97501	0,73293	0,34830
27,00	0,99742	0,97784	0,74717	0,36264
28,00	0,99781	0,98031	0,76049	0,37665
29,00	0,99813	0,98247	0,77298	0,39032
30,00	0,99840	0,98436	0,78468	0,40366
31,00	0,99863	0,98602	0,79567	0,41666
32,00	0,99882	0,98748	0,80597	0,42935
33,00	0,99898	0,98876	0,81566	0,44171
34,00	0,99912	0,98990	0,82476	0,45376
35,00	0,99923	0,99091	0,83332	0,46550
36,00	0,99933	0,99180	0,84137	0,47693
37,00	0,99942	0,99259	0,84896	0,48808
38,00	0,99949	0,99330	0,85610	0,49893
39,00	0,99955	0,99393	0,86284	0,50950
40,00	0,99961	0,99449	0,86920	0,51980
41,00	0,99966	0,99500	0,87520	0,52983
42,00	0,99970	0,99545	0,88087	0,53961
43,00	0,99973	0,99585	0,88623	0,54913
44,00	0,99976	0,99622	0,89130	0,55840
45,00	0,99979	0,99655	0,89609	0,56743
46,00	0,99981	0,99684	0,90063	0,57624
47,00	0,99983	0,99711	0,90493	0,58481
48,00	0,99985	0,99735	0,90900	0,59317
49,00	0,99987	0,99757	0,91286	0,60131
50,00	0,99988	0,99777	0,91653	0,60925
51,00	0,99989	0,99795	0,92001	0,61698
52,00	0,99991	0,99811	0,92331	0,62452
53,00	0,99992	0,99826	0,92645	0,63187
54,00	0,99992	0,99840	0,92943	0,63904
55,00	0,99993	0,99852	0,93227	0,64603
56,00	0,99994	0,99864	0,93497	0,65284
57,00	0,99994	0,99874	0,93754	0,65949
58,00	0,99995	0,99883	0,93999	0,66597
59,00	0,99995	0,99892	0,94232	0,67229
60,00	0,99996	0,99900	0,94454	0,67846
61,00	0,99996	0,99907	0,94666	0,68448
62,00	0,99997	0,99914	0,94868	0,69036
63,00	0,99997	0,99920	0,95061	0,69609
64,00	0,99997	0,99926	0,95246	0,70169
65,00	0,99997	0,99931	0,95421	0,70715
66,00	0,99998	0,99936	0,95590	0,71248
67,00	0,99998	0,99940	0,95750	0,71769
68,00	0,99998	0,99944	0,95904	0,72278

69,00	0,99998	0,99948	0,96051	0,72775
70,00	0,99998	0,99951	0,96191	0,73260
71,00	0,99999	0,99955	0,96326	0,73734
72,00	0,99999	0,99958	0,96455	0,74197
73,00	0,99999	0,99960	0,96578	0,74650
74,00	0,99999	0,99963	0,96697	0,75092
75,00	0,99999	0,99965	0,96810	0,75525
76,00	0,99999	0,99967	0,96919	0,75947
77,00	0,99999	0,99970	0,97023	0,76361
78,00	0,99999	0,99971	0,97123	0,76765
79,00	0,99999	0,99973	0,97219	0,77160
80,00	0,99999	0,99975	0,97311	0,77546
81,00	0,99999	0,99976	0,97400	0,77924
82,00	0,99999	0,99978	0,97485	0,78294
83,00	0,99999	0,99979	0,97566	0,78655
84,00	1,00000	0,99980	0,97645	0,79009
85,00	1,00000	0,99982	0,97720	0,79355
86,00	1,00000	0,99983	0,97793	0,79694
87,00	1,00000	0,99984	0,97863	0,80026
88,00	1,00000	0,99985	0,97930	0,80350
89,00	1,00000	0,99985	0,97994	0,80668
90,00	1,00000	0,99986	0,98057	0,80979
91,00	1,00000	0,99987	0,98116	0,81284
92,00	1,00000	0,99988	0,98174	0,81582
93,00	1,00000	0,99988	0,98230	0,81875
94,00	1,00000	0,99989	0,98283	0,82161
95,00	1,00000	0,99990	0,98335	0,82441
96,00	1,00000	0,99990	0,98385	0,82716
97,00	1,00000	0,99991	0,98433	0,82985
98,00	1,00000	0,99991	0,98479	0,83249
99,00	1,00000	0,99992	0,98524	0,83507
100,00	1,00000	0,99992	0,98567	0,83760
101,00	1,00000	0,99993	0,98608	0,84008
102,00	1,00000	0,99993	0,98649	0,84252
103,00	1,00000	0,99993	0,98687	0,84490
104,00	1,00000	0,99994	0,98725	0,84724
105,00	1,00000	0,99994	0,98761	0,84953
106,00	1,00000	0,99994	0,98796	0,85178
107,00	1,00000	0,99995	0,98830	0,85399
108,00	1,00000	0,99995	0,98862	0,85615
109,00	1,00000	0,99995	0,98894	0,85827
110,00	1,00000	0,99995	0,98924	0,86035
111,00	1,00000	0,99996	0,98954	0,86239
112,00	1,00000	0,99996	0,98983	0,86440
113,00	1,00000	0,99996	0,99010	0,86636
114,00	1,00000	0,99996	0,99037	0,86829
115,00	1,00000	0,99996	0,99063	0,87018
116,00	1,00000	0,99997	0,99088	0,87204
117,00	1,00000	0,99997	0,99112	0,87387
118,00	1,00000	0,99997	0,99136	0,87566
119,00	1,00000	0,99997	0,99158	0,87741
120,00	1,00000	0,99997	0,99180	0,87914

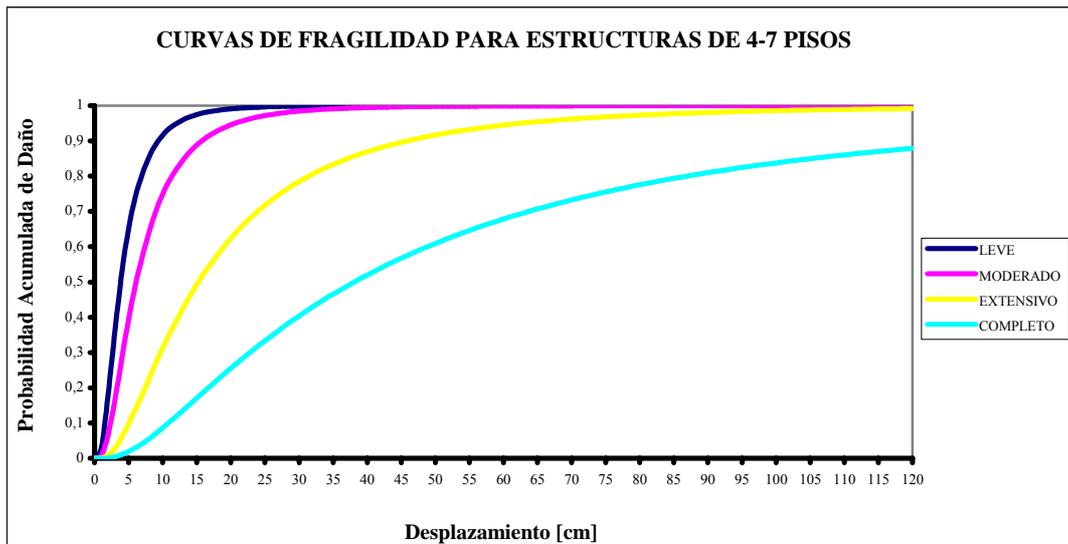


Figura 4.13 Curva de fragilidad para edificios de 4-7 pisos propuesto por Hazus

Una vez que se tienen las curvas de fragilidad de ambos métodos, es posible observar que en el caso de daño leve para los edificios de 1-4 pisos, las diferencias son mínimas al inicio, pero a partir del 80% de daño acumulado la curva de Hazus tiende a tener menor daño mientras mayor sea el desplazamiento, pero en el caso de daño moderado para este caso, ambas curvas casi son idénticas, pero casi al 90% de daño acumulado la curvas de Hazus llega un poco más rápido al 100%. con un desplazamiento menor.

Para el caso de daño extensivo y completo las curvas propuestas, tienen un valor medio mayor al igual que su desviación estándar, de tal forma que al aplicar la distribución lognormal se aprecia que las curvas propuestas al inicio necesitan mayor desplazamiento para obtener mayor porcentaje de daño, y en la parte final se invierte al llegar primero al 100% más rápido que las propuestas por Hazus. En la figura (4.14) se aprecia de mejor manera tomando en cuenta que las curvas propuestas por Hazus llevan una (H) a lado derecho del tipo de daño.

Por otro lado al comparar las curvas correspondientes a edificios de 4 a 6 pisos, se observa que se repite lo visto en las de 1 a 3 para el caso de daño moderado. Para el daño moderado y extensivo se puede apreciar que al inicio ambas curvas son iguales, pero a partir del 40% las propuestas obtienen mayor daño con un menor desplazamiento. Finalmente en el daño completo se invierte lo visto en los dos últimos

casos, ya que las curvas propuestas necesitan mayor desplazamiento para llegar al 100% lo cual se debe al valor medio que es mayor al que utiliza Hazus.

Tomando en cuenta lo expresado se puede deducir que las curvas propuestas son muy semejantes al propuestas por Hazus, lo cual permite concluir que las curvas de Hazus son aplicables en nuestro país.

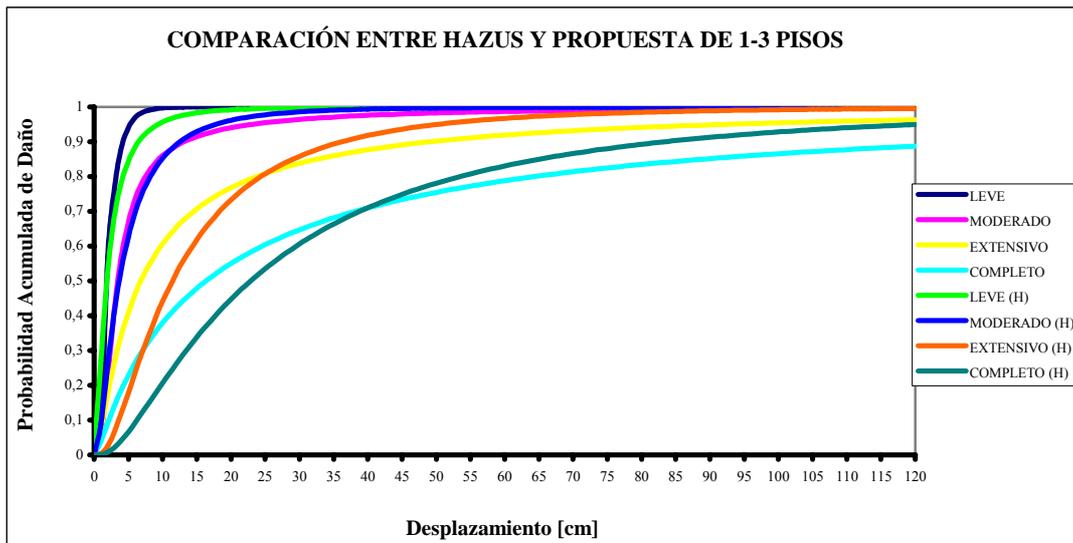


Figura 4.14 Comparación entre Hazus y Propuesta para edificios de 1-3 pisos

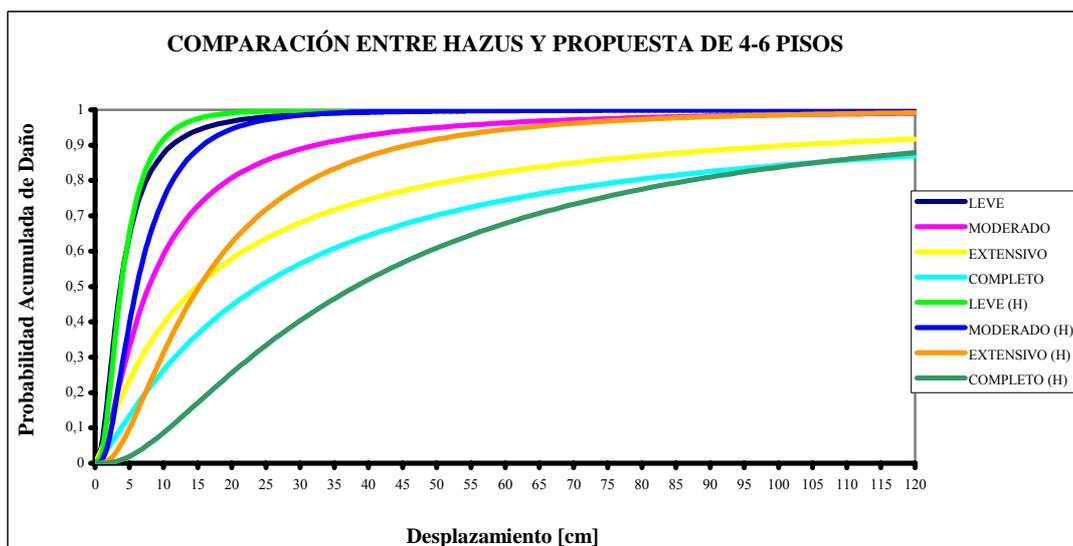


Figura 4.15 Comparación entre Hazus y Propuesta para edificios de 4-6 pisos

A continuación se presentan las tablas comparativas con los respectivos límites de rango para cada método.

Tabla 4.18 Límites de daño que utiliza Hazus en función del Drift.

Nivel de diseño Sísmico	Tipo de Edificio	Drift			
		LIGERO	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO
BAJO	W1/W2 C1L, S2L RM1L/RM2L, PC1/PC2L URML,C3L,S5L	0.004	0.010	0.031	0.075
		0.005	0.008	0.031	0.050
		0.004	0.006	0.016	0.044
		0.003	0.006	0.015	0.035

Tabla 4.19 Límites de daño que se utilizo en el método propuesto.

Drift			
LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO
0.005	0.011	0.023	0.046