



Gestión del Riesgo

Manizales - Colombia

ARMONIZACIÓN DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA CON LAS NORMAS NSR-10 E IMPLICACIONES ECONÓMICAS Y DE SEGUROS



ARMONIZACIÓN DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA CON LAS NORMAS NSR-10 E IMPLICACIONES ECONÓMICAS Y DE SEGUROS

FUNCIONES DE VULNERABILIDAD PARA LAS CLASES ESTRUCTURALES REPRESENTATIVAS DE MANIZALES

Miguel G. Mora

**INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES**

**MANIZALES
2014**



TABLA DE CONTENIDO

1	OBJETO DE LA CONSULTORÍA	1
2	OBJETIVO DEL PRESENTE INFORME	1
3	INTRODUCCIÓN.....	2
4	IDENTIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LAS CLASES ESTRUCTURALES REPRESENTATIVAS EXISTENTES EN MANIZALES.....	3
4.1	ESTUDIOS PREVIOS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO	3
4.2	CLASES ESTRUCTURALES	5
5	IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS A LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE CADA UNA DE LAS CLASES ESTRUCTURALES REPRESENTATIVAS.....	7
5.1	DEMANDA SÍSMICA	7
5.1.1	<i>Método aproximado para la estimación de demandas de deformación inelástica (Miranda, 1999)</i>	<i>7</i>
5.2	CARACTERÍSTICAS DE VULNERABILIDAD	9
6	PROPUESTA DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD EN TÉRMINOS DE ACELERACIÓN ESPECTRAL PARA CADA UNA DE LAS CLASES ESTRUCTURALES.....	11
6.1	REPRESENTACIÓN.....	11
6.1.1	<i>Valor esperado del daño.....</i>	<i>12</i>
6.1.2	<i>Incertidumbre del daño</i>	<i>12</i>
6.2	PROCESO DE CÁLCULO.....	13
6.3	PARÁMETROS DE DAÑO	14
6.4	FUNCIONES DE VULNERABILIDAD PROPUESTAS	16
6.5	ASIGNACIÓN DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD	17
7	REFERENCIAS	19
ANEXO 1.	FICHAS DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD	1

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: CLASES ESTRUCTURALES IDENTIFICADAS EN INMUEBLES PÚBLICOS.....	3
FIGURA 2: CLASES ESTRUCTURALES IDENTIFICADAS EN INMUEBLES PRIVADOS	4
FIGURA 3: DISTRIBUCIÓN DE EDIFICACIONES POR CLASE ESTRUCTURAL	5
FIGURA 4: DISTRIBUCIÓN DE EDIFICACIONES POR NÚMERO DE PISOS.....	6
FIGURA 5: DISTRIBUCIÓN DE EDIFICACIONES POR NÚMERO DE PISOS Y CLASE ESTRUCTURAL.....	6
FIGURA 6 REPRESENTACIÓN DE UNA FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD	11
FIGURA 7: PROCESO PARA LA EVALUACIÓN DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD	14
FIGURA 8: FICHA FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD	16
FIGURA 9: ALGORITMO DE ASIGNACIÓN DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD	17

ÍNDICE TABLAS

TABLA 1: PARÁMETROS ESTRUCTURALES	9
TABLA 2: PARÁMETROS EVALUACIÓN DE DAÑO EN TÉRMINOS DE DERIVA - ECUACIÓN(2)	14

1 OBJETO DE LA CONSULTORÍA

Identificación, categorización de clases estructurales representativas existentes en la ciudad de Manizales, así como la identificación de las características principales de comportamiento ante demandas sísmicas y cálculo de funciones de vulnerabilidad sísmica en términos de aceleración espectral para cada una de las clases. De igual forma, realizar asignación de funciones de vulnerabilidad a la base de elementos expuestos de la ciudad de Manizales.

2 OBJETIVO DEL PRESENTE INFORME

El presente informe incluye la *“Identificación y categorización de las clases estructurales representativas existentes en Manizales.”*, a la vez que la *“Identificación de características asociadas a la vulnerabilidad sísmica de cada una de las clases estructurales representativas”* y *“Propuesta de funciones de vulnerabilidad en términos de aceleración espectral para cada una de las clases estructurales.”* que da cumplimiento a los objetivos específicos A, B, C, D y E de la orden contractual de prestación de servicios 326 de 2013.

3 INTRODUCCIÓN

Desde el año 2002 la ciudad de Manizales ha sido objeto de de múltiples estudios que han tenido directamente la intención de hacer estimaciones de pérdidas por eventos sísmicos en los inmuebles de la ciudad ya sean públicos o privados, o con diferentes objetos como la atención y manejo de emergencias, protección fiscal de la ciudad y aseguramiento colectivo de inmuebles privados.

Los anteriores estudios tienen información de diversas fuentes y resolución, es el caso del informe *“Evaluación Preliminar De Retención Y Transferencia De Riesgo Sísmico En Colombia”* donde Manizales hace parte de un caso de estudio para el cual se utilizó información parcial de la ciudad, pero fue hasta el año 2004 cuando la Alcaldía de Manizales realiza estudios detallados incluyendo información de todas las edificaciones del municipio tanto del área rural como urbana y de los sectores público y privado como los que se mencionan y son la base fundamental para el desarrollo para la caracterización de edificaciones, asignación de parámetros de vulnerabilidad y propuesta de las funciones de vulnerabilidad contenidas en el presente informe.

4 IDENTIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LAS CLASES ESTRUCTURALES REPRESENTATIVAS EXISTENTES EN MANIZALES.

4.1 Estudios previos de vulnerabilidad y riesgo

Se han revisado informes previos de riesgo realizados en la ciudad de Manizales entre los que se enumeran los siguientes

- *DNP, ACCI, Banco Mundial. (2004). Base de datos de inmuebles públicos localizados en la ciudad de Manizales para efectos de análisis de riesgo.*

En dicho estudio se realizaron visitas de inspección a los inmuebles públicos (municipales, departamentales y nacionales) el cuales se recopilaron diferentes características de la edificación en base a un formulario e inspección, entre dichas características se encuentran el número de pisos, año de construcción, sistema estructural y estado de la edificación entre otras.

Se identificaron cerca de 400 edificaciones clasificadas en 13 clases estructurales donde el 80% tienen entre uno y dos pisos.

Figura 1: Clases estructurales identificadas en inmuebles públicos

TIPO	VALOR
1	Muros de adobe o tapia pisada
2	Mampostería simple
3	Mampostería confinada
4	Mampostería reforzada
5	Pórticos de concreto
6	Pórticos de concreto con muros de mampostería
7	Pórtico y muros de concreto
8	Reticular celulado
9	Prefabricado de concreto
10	Muros y losas planas de concreto
11	Pórticos de acero
12	Gyplac - Superboard
13	Bodega

- *DNP, ACCI, Banco Mundial. (2004). Base de datos de inmuebles privados localizados en la ciudad de Manizales para efectos de análisis de riesgo.*

En dicho estudio se basó en información catastral existente suministrada por la Oficina Municipal de Prevención y Atención de Desastres – OMPAD, siendo la más importante del análisis la base de datos catastral del IGAC (Registro 1 y 2) de donde se identificaron cerca de 86.000 registros desagregados en inmuebles exentos (18%) y no exentos (82%) del impuesto predial. En base a otras fuentes de información fue posible inferir características estructurales como el número de pisos, fecha de construcción y sistema estructural, al igual que el valor expuesto de cada edificación. De los inmuebles privados de la ciudad se identificó que cerca del 95% de los exentos tienen entre uno y dos pisos mientras que los no exentos solo el 29%.

Figura 2: Clases estructurales identificadas en inmuebles privados

Sistema Estructural	Descripción
1	Casas de tapia
2	Casas de bahareque
3	Mampostería sin confinar sin refuerzo con entrepiso en madera
4	Mampostería sin confinar sin refuerzo con entrepiso en concreto
5	Mampostería confinada con entrepiso en madera
6	Mampostería confinada con entrepiso en concreto
7	Mampostería reforzada
8	Pórticos con entrepisos en una dirección y con defectos (frágiles)
9	Pórticos en concreto reforzado con rellenos de mampostería (dúctiles)
10	Sistema reticular celulado
11	Sistema industrializado de muros de concreto reforzado
12	Muros prefabricados de concreto
13	Muros de asbesto-cemento y similares
14	Bodegas con luces medianas y cubierta liviana
15	Pórticos de acero, estructuras metálicas

- *Alcaldía de Manizales, OMPAD. (2004). Estudio de riesgo sísmico de las edificaciones públicas de propiedad del municipio de Manizales.*

En el cual se identifican resultados de riesgo e implicaciones económicas desagregación de riesgo en la ciudad por clase estructural, así como y estimaciones de amenaza y vulnerabilidad a la fecha del informe.

4.2 Clases estructurales

A partir de los estudios previos de riesgo y de la información de exposición en el marco del presente proyecto de armonización de la microzonificación sísmica de la ciudad de Manizales fue posible identificar 12 clases estructurales y para las cuales a continuación se presenta la distribución de cada clase por número de pisos y composición de la base de datos de edificaciones de la ciudad.

Se observa de la Figura 3 alta concentración del sistema de mamposterías confinada y semiconfinada que acumulan el 54% de las edificaciones de la ciudad, así como clases estructurales como pórticos de concreto con muros de mampostería y sistemas losa columna que acumulan el 20% de las edificaciones. De igual manera es sorprendente la alta participación de la clase bahareque que iguala al último grupo y ha de ser un valor a verificar en la base de datos final.

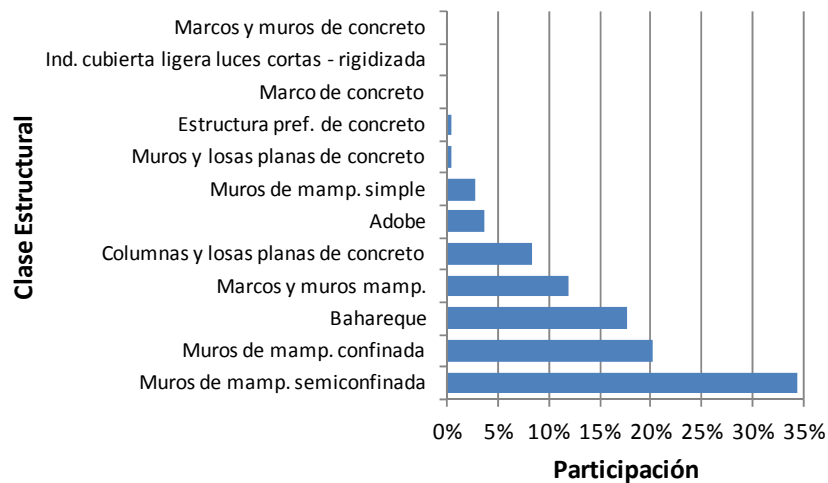


Figura 3: Distribución de edificaciones por clase estructural

Por el lado de la participación de clases estructurales por número de pisos se observa en la Figura 4 que el 86% de las edificaciones de la ciudad tiene menos de 3 pisos de altura, siendo coherente este resultado con el encontrado en la distribución por tipos estructurales.

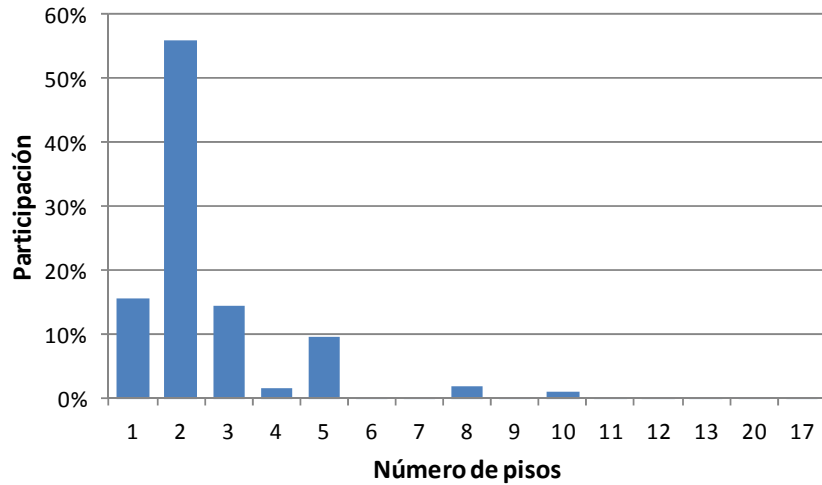


Figura 4: Distribución de edificaciones por número de pisos

En la Figura 5 se observa de igual manera la coherencia de la asignación de de clases estructurales por número de pisos. Esta figura presenta la distribución del número de pisos por tipo estructural.

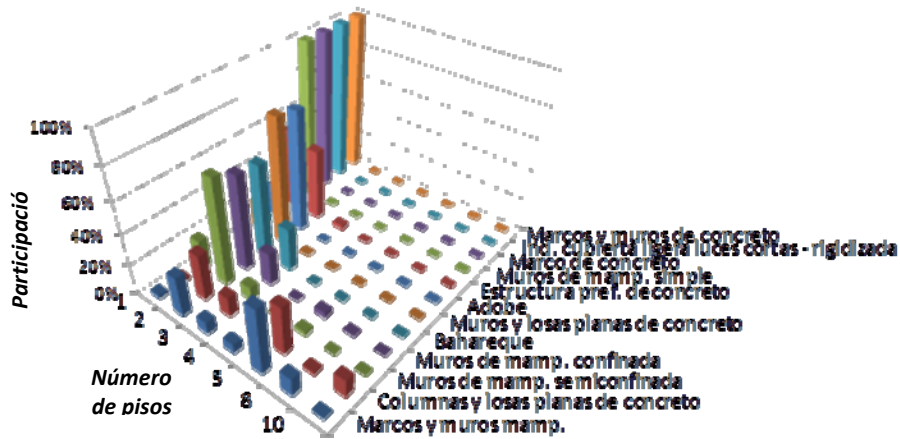


Figura 5: Distribución de edificaciones por número de pisos y clase estructural

5 IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS A LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE CADA UNA DE LAS CLASES ESTRUCTURALES REPRESENTATIVAS

5.1 Demanda sísmica

La demanda sobre una edificación consiste en estimar las deformaciones o fuerzas a las que es sometida la estructura de resistencia sísmica tras la imposición de un desplazamiento o aceleración a causa de un evento sísmico. Dicha demanda puede representarse en diversas intensidades entre las que se encuentran el desplazamiento horizontal piso a piso, la deriva máxima de entrepiso o la aceleración máxima horizontal de respuesta en la base de la edificación. Un número importante de estudios concluyen que la deriva de entrepiso, razón entre el desplazamiento relativo de dos niveles o placas de piso contiguas respecto de la altura de entrepiso, presenta la mejor correlación con el daño estructural registrado (Bertero et al., 1991; Priestley, 1997; Sözen, 1997). En el presente informe se utiliza el método aproximado para la estimación de demandas de deformación lateral propuesto por Miranda (1999) y que se explica a continuación.

5.1.1 Método aproximado para la estimación de demandas de deformación inelástica (Miranda, 1999)

A partir de la aceleración espectral es posible determinar la máxima deriva de entrepiso γ (demanda inelástica) con la expresión (1) donde cada uno de los parámetros se explican a continuación.

$$\gamma_i = \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 (\eta N^\rho)^2}{4 \pi^2 N h} S_a(T) \quad T = \eta N^\rho \quad (1)$$

β_1 es la razón entre el *máximo desplazamiento lateral en la azotea* y el *desplazamiento espectral* S_a del modelo elástico lineal. Depende de la clase estructural y del número de pisos N de la estructura.

β_2 es la razón entre la *máxima distorsión de entrepiso* y la *distorsión global de la estructura*. Tiene en cuenta el hecho que en general las deformaciones laterales durante un sismo intenso no se distribuyen uniformemente con la altura de la edificación y que hay una concentración de deformaciones en algunos niveles.

β_3 es la razón entre el *máximo desplazamiento lateral inelástico* y el *máximo desplazamiento elástico*. Este factor depende de la demanda de ductilidad al desplazamiento μ , el periodo fundamental de vibración T de la estructura y del tipo de suelo donde se localiza la edificación. Teniendo en cuenta la interacción dinámica suelo-estructura.

β_4 es la razón entre los factores β_2 elástico e inelástico. Este factor tiene en cuenta que la distribución de la carga lateral con la altura es diferente en el modelo elástico y en el inelástico. Este factor depende del número de pisos N y del nivel de deformación inelástica de la estructura o demanda de ductilidad μ al desplazamiento.

h es la altura de entrepiso de la estructura; η y ρ son factores para estimar el periodo fundamental de la estructura a partir del número de pisos N .

$Sa(T)$ es la aceleración espectral, que depende del periodo fundamental de vibración, el amortiguamiento de la estructura y la amenaza sísmica en el sitio.

El cálculo de los parámetros β_1 y β_2 se realiza por la estimación del perfil de deformaciones de la edificación en base a un sistema compuesto simple de viga de corte y de flexión donde el grado de participación de las *deformaciones laterales de corte y de flexión* en el sistema es función de un parámetro α que depende del sistema estructural que se representa, p.e. en un edificio flexible de pórticos de concreto (sin muros estructurales ni arriostramiento) dominan las deformaciones laterales de corte, mientras que en uno con muros de concreto reforzado, las deformaciones de flexión son las predominantes. Así valores de α cercanos a cero representan un modelo de deformaciones de flexión pura mientras que valores al infinito representan un modelo de deformaciones de corte.

Por otro lado, el perfil de deformaciones de la edificación depende de la distribución de las cargas laterales la forma es controlada por el parámetro α donde valores cercanos a cero corresponden a cargas de forma triangular y valores al infinito a cargas uniformes.

5.2 Características de vulnerabilidad

Los valores de las características de vulnerabilidad para cada una de las clases se presentan en las fichas de funciones de vulnerabilidad (ver Figura 8) del Anexo 1, que incluye todas las combinaciones de clase estructural y número de pisos descritas en el numeral 4.2 del presente informe.

En cada ficha del Anexo 1 se presentan de mejor manera múltiples características, más de las enumeradas en la Tabla 1, entre las que se incluyen las constantes del método Miranda (1999), participación de las *deformaciones laterales de corte y de flexión* α , parámetro de control de la *distribución de cargas laterales* α , los perfiles de deformación y deriva de la edificación y los parámetros γ_0 y ε para ajustar la función de vulnerabilidad, según la ecuación (2), a los daños esperados para ciertos valores de deriva estimados como se presenta en el siguiente capítulo.

En la Tabla 1 se presentan los principales parámetros para las edificaciones identificadas y categorizadas en el numeral 4 del presente informe. Se presentan los valores de θ_1 y θ_2 así como el periodo de vibración estructural para las combinaciones identificadas entre clases estructurales y número de pisos.

Tabla 1: Parámetros estructurales

Sistema Estructural	Número de pisos	Altura de entrepiso	$\beta_1:\beta_2$	Periodo estructural
Muros_01_1	1	2.5	1.00:1.00	0.08
Muros_01_2	2	2.5	1.20:1.02	0.13
Muros_01_3	3	2.5	1.27:1.25	0.18
Muros_01_4	4	2.5	1.30:1.26	0.22
Muros_01_5	5	2.5	1.32:1.27	0.25
Muros_01_6	6	2.5	1.34:1.29	0.29
Muros_01_7	7	2.5	1.35:1.27	0.32
Muros_01_8	8	2.5	1.36:1.29	0.35
Muros_01_9	9	2.5	1.37:1.29	0.38
Muros_01_11	11	2.5	1.38:1.30	0.44
Marcos_01_1	1	2.9	1.00:1.00	0.23
Marcos_02_1	1	2.85	1.00:1.00	0.15
LosaPlana_01_1	1	2.7	1.00:1.00	0.27
LosaPlana_01_2	2	2.7	1.14:1.39	0.45
LosaPlana_01_3	3	2.7	1.19:1.43	0.59
LosaPlana_01_4	4	2.7	1.21:1.41	0.72
LosaPlana_01_5	5	2.7	1.22:1.48	0.85
LosaPlana_01_6	6	2.7	1.23:1.55	0.96

Sistema Estructural	Número de pisos	Altura de entrepiso	$\beta_1:\beta_2$	Periodo estructural
LosaPlana_01_7	7	2.7	1.24:1.58	1.07
LosaPlana_01_8	8	2.7	1.24:1.60	1.17
LosaPlana_01_9	9	2.7	1.25:1.61	1.28
LosaPlana_01_10	10	2.7	1.25:1.61	1.37
LosaPlana_01_11	11	2.7	1.25:1.61	1.47
LosaPlana_01_12	12	2.7	1.25:1.60	1.56
LosaPlana_01_13	13	2.7	1.25:1.61	1.65
LosaPlana_01_20	20	2.7	1.26:1.62	2.23
LosaPlana_04_1	1	2.7	1.00:1.00	0.14
LosaPlana_04_2	2	2.7	1.21:1.19	0.23
LosaPlana_04_3	3	2.7	1.29:1.19	0.3
Prefabricada_01_1	1	3	1.00:1.00	0.24
Prefabricada_01_2	2	3	1.17:1.26	0.39
Prefabricada_01_3	3	3	1.21:1.25	0.52
Muros_02_1	1	2.5	1.00:1.00	0.09
Muros_02_2	2	2.5	1.20:1.02	0.14
Muros_02_3	3	2.5	1.27:1.25	0.19
Muros_02_5	5	2.5	1.32:1.27	0.27
Muros_02_8	8	2.5	1.36:1.29	0.38
Industrial_02_1	1	4.8	1.00:1.00	0.36
Marcos_07_1	1	2.9	1.00:1.00	0.23
Marcos_07_2	2	2.9	1.15:1.36	0.38
Marcos_07_3	3	2.9	1.19:1.37	0.5
Marcos_07_4	4	2.9	1.22:1.40	0.61
Marcos_07_5	5	2.9	1.23:1.51	0.72
Marcos_07_6	6	2.9	1.24:1.57	0.82
Marcos_07_7	7	2.9	1.24:1.59	0.91
Marcos_07_8	8	2.9	1.25:1.59	1
Marcos_07_9	9	2.9	1.25:1.58	1.08
Marcos_07_10	10	2.9	1.25:1.57	1.17
Marcos_07_11	11	2.9	1.26:1.59	1.25
Marcos_07_13	13	2.9	1.26:1.60	1.4
Marcos_07_17	17	2.9	1.26:1.60	1.69

6 PROPUESTA DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD EN TÉRMINOS DE ACELERACIÓN ESPECTRAL PARA CADA UNA DE LAS CLASES ESTRUCTURALES.

6.1 Representación

La función de vulnerabilidad representa la forma como determinado elemento expuesto se comporta ante la amenaza en consideración. La función de vulnerabilidad se presenta en la Figura 6 donde la línea continua (línea azul) representa el *valor esperado* del pérdida $E(\beta/\gamma_i)$, y las líneas verticales representan la desviación $\sigma^2(\beta/\gamma_i)$ para cada valor esperado de pérdida β (línea gris).

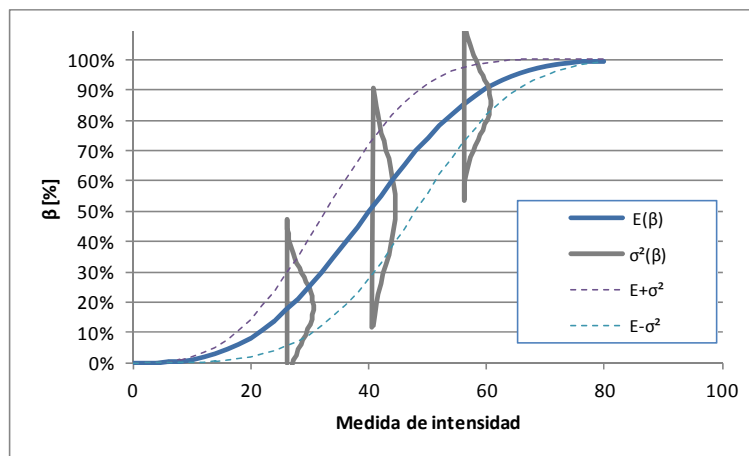


Figura 6 Representación de una función de vulnerabilidad

Las funciones de vulnerabilidad tienen características básicas como por ejemplo: son ascendentes, pues naturalmente en la razón que la medida de intensidad γ_i aumenta, así lo harán el valor esperado de pérdidas $E(\beta/\gamma_i)$, aunque no en el mismo grado, por lo cual frecuentemente la relación entre pérdida β e intensidad γ_i no es una relación constante; son acotadas, pues naturalmente no es posible perder más del valor expuesto del componente bajo análisis, al menos cuando se pretende estimar el valor de las pérdidas, pues otro asunto es hablar de valores de reposición. Aquí es necesario puntualizar que la plataforma CAPRA es exclusivamente enfocada al análisis de riesgo físico y humano.

6.1.1 Valor esperado del daño

La estimación del valor esperado del daño para cada elemento expuesto depende del tipo de amenaza que se quiera analizar. Para cada amenaza se propone un modelo de comportamiento o evaluación de los efectos causados sobre los elementos expuestos (edificaciones). Evaluado el comportamiento de la edificación, es posible estimar el valor esperado desde el daño nulo hasta el daño total, en un rango de 0 a 1 respectivamente, según la siguiente expresión (Navarro, 2005; Ordaz, 2000):

$$E(\beta | \gamma_i) = 1 - \exp \left[\ln 0.5 \left(\frac{\gamma_i}{\gamma_0} \right)^\varepsilon \right] \quad (2)$$

Donde β corresponde al valor de daño, γ_i al valor de intensidad de la amenaza, γ_0 intensidad base para un daño equivalente al 0.5 y ε es una constante para el control del incremento del daño. Los anteriores parámetros han de ser ajustados de acuerdo al modelo de comportamiento según la amenaza de interés.

6.1.2 Incertidumbre del daño

En forma complementaria a la estimación del *valor esperado de pérdida* $E(\beta/\gamma_i)$ como función de la medida de intensidad de la amenaza, se debe evaluar la varianza $\sigma^2(\beta/\gamma_i)$. Para efectos de esta estimación se propone la utilización de la densidad de probabilidades de la pérdida se considera de tipo Beta y está dada por la siguiente ecuación:

$$p_{\beta | \gamma_i}(\beta) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \beta^{a-1} (1-\beta)^{b-1} \quad (3)$$

Donde a y b son parámetros que pueden calcularse a partir de la media y el coeficiente de variación del daño, $C(\beta)$, de la siguiente manera

$$a = \frac{1 - E(\beta | \gamma_i) - E(\beta | \gamma_i) C^2(\beta)}{C^2(\beta)} \quad b = a \left[\frac{1 - E(\beta | \gamma_i)}{E(\beta | \gamma_i)} \right] \quad C^2(\beta) = \frac{\sigma_{\beta}^2(\beta | \gamma_i)}{E(\beta | \gamma_i)} \quad (4)$$

Existe poca información para determinar la varianza (o el coeficiente de variación) del daño/pérdida. Sin embargo, es un hecho que no hay dispersión para un valor nulo de pérdida $\sigma^2(\beta=0/\gamma) = 0$, Al igual que no hay dispersión para el máximo valor esperado pérdida o pérdida total $\sigma^2(\beta=1/\gamma) = 0$. Lo anterior corresponde a las condiciones de frontera para la evaluación de la función de distribución de probabilidad de la pérdida.

Para fijar la variación de la dispersión o varianza de la pérdida, se ha utilizado la expresión de la distribución de probabilidad usada en el estudio ATC-13 (ATC-13, 1985) cuya varianza tiene la siguiente forma funcional:

$$\sigma_{\beta}^2(\beta | \gamma_i) = Q \left(E(\beta | \gamma_i) \right)^{r-1} \left(1 - E(\beta | \gamma_i) \right)^{s-1} \quad (5)$$

$$Q = \frac{V_{max}}{D_0^{r-1} \left(1 - D_0 \right)^{s-1}} \quad s = \frac{r-1}{D_0} - r + 2 \quad (6)$$

V_{max} , D_0 y r son parámetros que dependen del tipo estructural. V_{max} es la varianza máxima, D_0 es la pérdida para la cual ocurre la varianza máxima, y r ha sido tomado igual a tres. Determinados el valor esperado $E(\beta | \gamma)$ y la varianza $\sigma^2(\beta | \gamma)$ de la pérdida queda completamente definida la distribución de probabilidades del daño bruto dado un valor de intensidad sísmica.

6.2 Proceso de cálculo

El proceso de cálculo adoptado para la evaluación de funciones de vulnerabilidad es como se describe a continuación y se presenta en la Figura 7.

Para la evaluación de vulnerabilidad en primera instancia se estiman los parámetros de comportamiento estructural como se presentan en la Tabla 1. Luego, en base a la clase estructural se estima el umbral de deriva de entrepiso para el cual el daño sobre la edificación alcanza un 50% del valor de la misma, el umbral de deriva para el cual los daños en la edificación son nulos y el umbral de deriva para el cual los daños son totales. Definidos los umbrales de daño se ajusta los parámetros de la ecuación (2).

Los pasos anteriores definen la función de vulnerabilidad en términos de deriva, por lo cual en base a la ecuación (1) se realiza un muestreo entre los valores de medidas de intensidad de aceleración espectral y deriva, para esquematizar la función de vulnerabilidad en términos de la primera medida de intensidad.

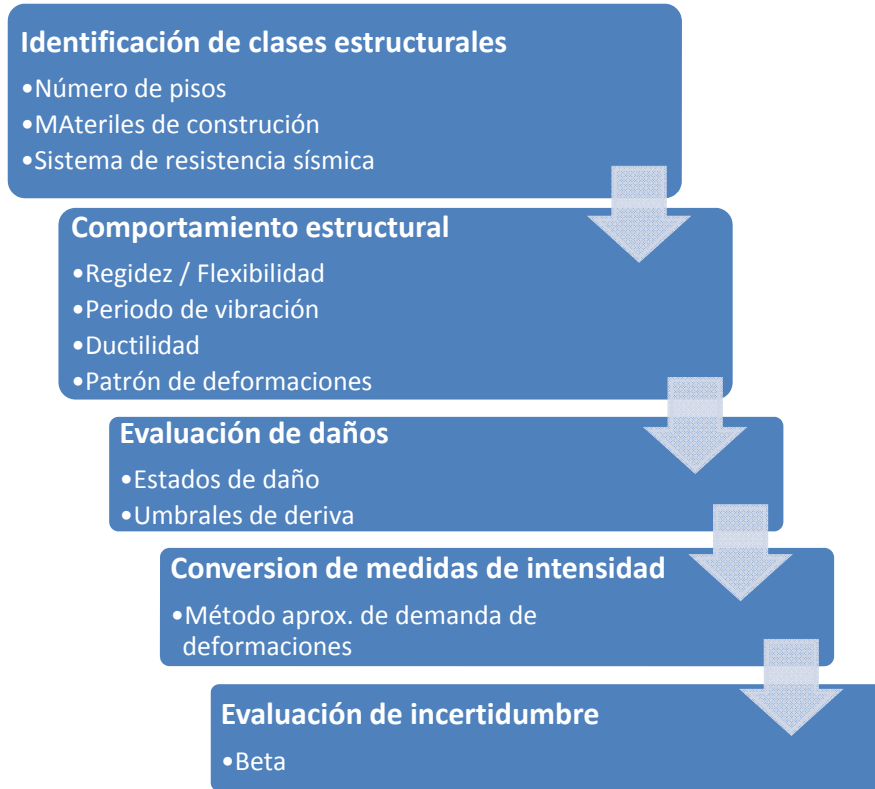


Figura 7: Proceso para la evaluación de funciones de vulnerabilidad

6.3 Parámetros de daño

Los parámetros de daño para la evaluación de vulnerabilidad según lo expresado en la ecuación (2) se presentan en la siguiente tabla en donde además de los valores γ_0 y ϵ se incluyen las derivas esperadas γ_i para los tres estados de daño nulo ($E(\delta | \gamma_i)=0\%$), medio ($E(\delta | \gamma_i)=50\%$) y total ($E(\delta | \gamma_i)=100\%$)

Tabla 2: Parámetros evaluación de daño en términos de deriva - ecuación(2)

Sistema Estructural	Deriva Daño=0%	Deriva Daño=50%	Deriva Daño=100%	γ_0	ϵ
Muros_01_1	0.08%	0.40%	1%	0.004	2.325
Muros_01_2	0.08%	0.40%	1%	0.004	2.325
Muros_01_3	0.08%	0.40%	1%	0.004	2.325
Muros_01_4	0.08%	0.40%	1%	0.004	2.325
Muros_01_5	0.08%	0.40%	1%	0.004	2.325
Muros_01_6	0.09%	0.40%	1%	0.004	2.325
Muros_01_7	0.07%	0.40%	1%	0.004	2.325
Muros_01_8	0.08%	0.40%	1%	0.004	2.325
Muros_01_9	0.08%	0.40%	1%	0.004	2.325

Sistema Estructural	Deriva Daño=0%	Deriva Daño=50%	Deriva Daño=100%	γ_0	ϵ
Muros_01_11	0.09%	0.40%	1%	0.004	2.325
Marcos_01_1	0.21%	1.66%	4%	0.017	1.813
Marcos_02_1	0.13%	1.24%	3%	0.012	1.647
LosaPlana_01_1	0.32%	1.53%	3%	0.015	2.033
LosaPlana_01_2	0.32%	1.53%	3%	0.015	2.033
LosaPlana_01_3	0.39%	1.53%	3%	0.015	2.033
LosaPlana_01_4	0.24%	1.53%	3%	0.015	2.033
LosaPlana_01_5	0.26%	1.53%	3%	0.015	2.033
LosaPlana_01_6	0.28%	1.53%	3%	0.015	2.033
LosaPlana_01_7	0.30%	1.53%	3%	0.015	2.033
LosaPlana_01_8	0.32%	1.53%	3%	0.015	2.033
LosaPlana_01_9	0.33%	1.53%	3%	0.015	2.033
LosaPlana_01_10	0.35%	1.53%	3%	0.015	2.033
LosaPlana_01_11	0.36%	1.53%	3%	0.015	2.033
LosaPlana_01_12	0.38%	1.53%	3%	0.015	2.033
LosaPlana_01_13	0.39%	1.53%	3%	0.015	2.033
LosaPlana_01_20	0.47%	1.53%	3%	0.015	2.033
LosaPlana_04_1	0.16%	0.86%	2%	0.009	2.155
LosaPlana_04_2	0.14%	0.86%	2%	0.009	2.155
LosaPlana_04_3	0.18%	0.86%	2%	0.009	2.155
Prefabricada_01_1	0.28%	1.41%	3%	0.014	2.335
Prefabricada_01_2	0.32%	1.41%	3%	0.014	2.335
Prefabricada_01_3	0.26%	1.41%	3%	0.014	2.335
Muros_02_1	0.09%	0.32%	1%	0.003	3.000
Muros_02_2	0.09%	0.32%	1%	0.003	3.000
Muros_02_3	0.09%	0.32%	1%	0.003	3.000
Muros_02_5	0.10%	0.32%	1%	0.003	3.000
Muros_02_8	0.09%	0.32%	1%	0.003	3.000
Industrial_02_1	0.29%	1.33%	3%	0.013	2.199
Marcos_07_1	0.21%	1.66%	4%	0.017	1.813
Marcos_07_2	0.21%	1.66%	4%	0.017	1.813
Marcos_07_3	0.26%	1.66%	4%	0.017	1.813
Marcos_07_4	0.29%	1.66%	4%	0.017	1.813
Marcos_07_5	0.32%	1.66%	4%	0.017	1.813
Marcos_07_6	0.18%	1.66%	4%	0.017	1.813
Marcos_07_7	0.20%	1.66%	4%	0.017	1.813
Marcos_07_8	0.21%	1.66%	4%	0.017	1.813
Marcos_07_9	0.22%	1.66%	4%	0.017	1.813
Marcos_07_10	0.23%	1.66%	4%	0.017	1.813
Marcos_07_11	0.24%	1.66%	4%	0.017	1.813
Marcos_07_13	0.26%	1.66%	4%	0.017	1.813
Marcos_07_17	0.29%	1.66%	4%	0.017	1.813

6.4 Funciones de vulnerabilidad propuestas

Se han evaluado funciones de vulnerabilidad sísmica para 12 clases estructurales identificadas en base a los informes de riesgo previos de la ciudad para los cuales se han asignado los valores a los parámetros de vulnerabilidad descritos en el numeral 5 del presente informe. Cada una de las funciones propuestas es presentada en una ficha de vulnerabilidad donde se describen los valores numéricos de los parámetros y la función de vulnerabilidad correspondiente, el formato tipo se presenta en la Figura 8 y el total de funciones se incluye en el Anexo 1.

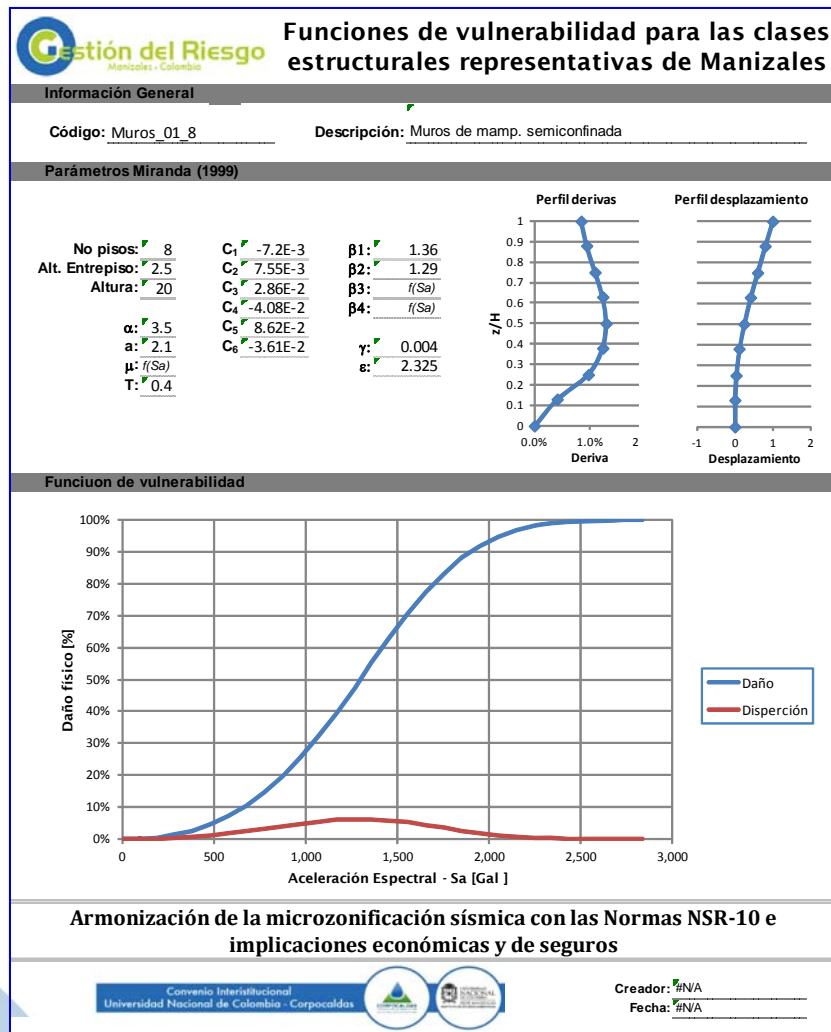


Figura 8: Ficha función de vulnerabilidad

6.5 Asignación de funciones de vulnerabilidad

Para la asignación a la base de elementos expuestos de Manizales de las funciones de vulnerabilidad correspondientes a cada clase estructural, fue necesario adoptar un procedimiento sistemático sobre la base de suministrada por el profesional encargado de la recolección, englobe, valoración económica y creación de la base de datos georeferenciada de la ciudad. Conforme a los campos y rango de valores incluidos en dicha base de datos de edificaciones, y en las metodologías incluidas en el mismo sentido en los estudios previos de riesgo citados en el numeral 4.1 del presente informe, se ajustó un algoritmo que se presenta a continuación para la asignación o definición de la función de vulnerabilidad de cada edificación incluida en la base de datos.

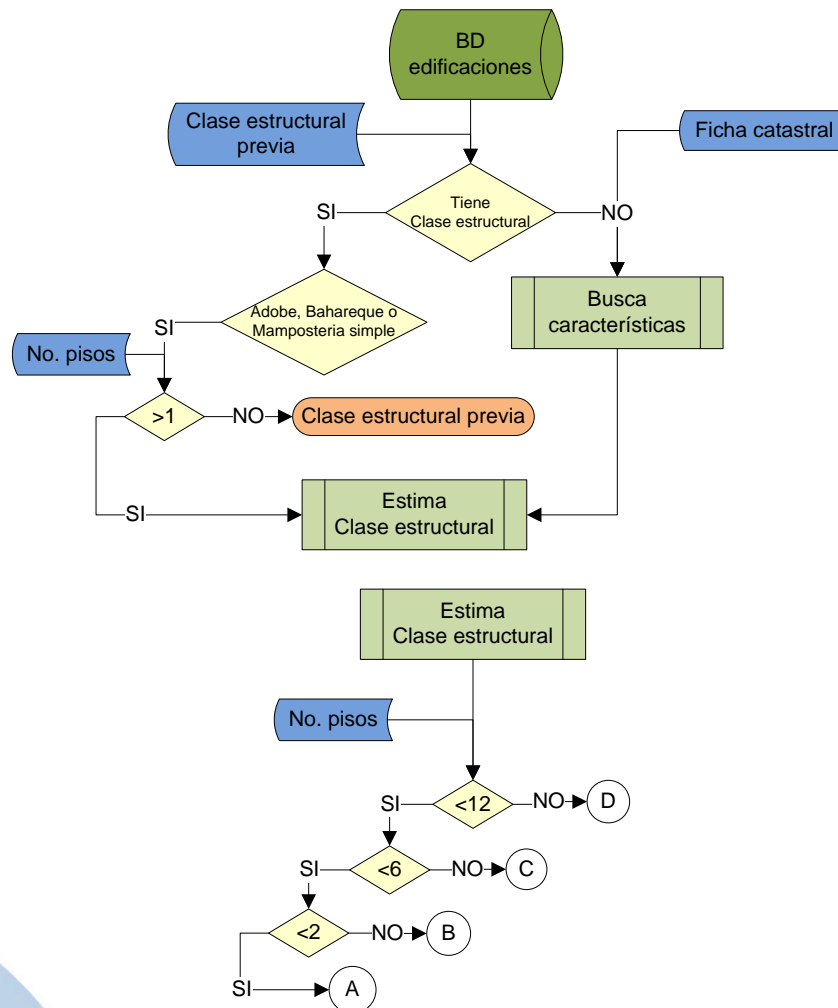


Figura 9: Algoritmo de asignación de funciones de vulnerabilidad

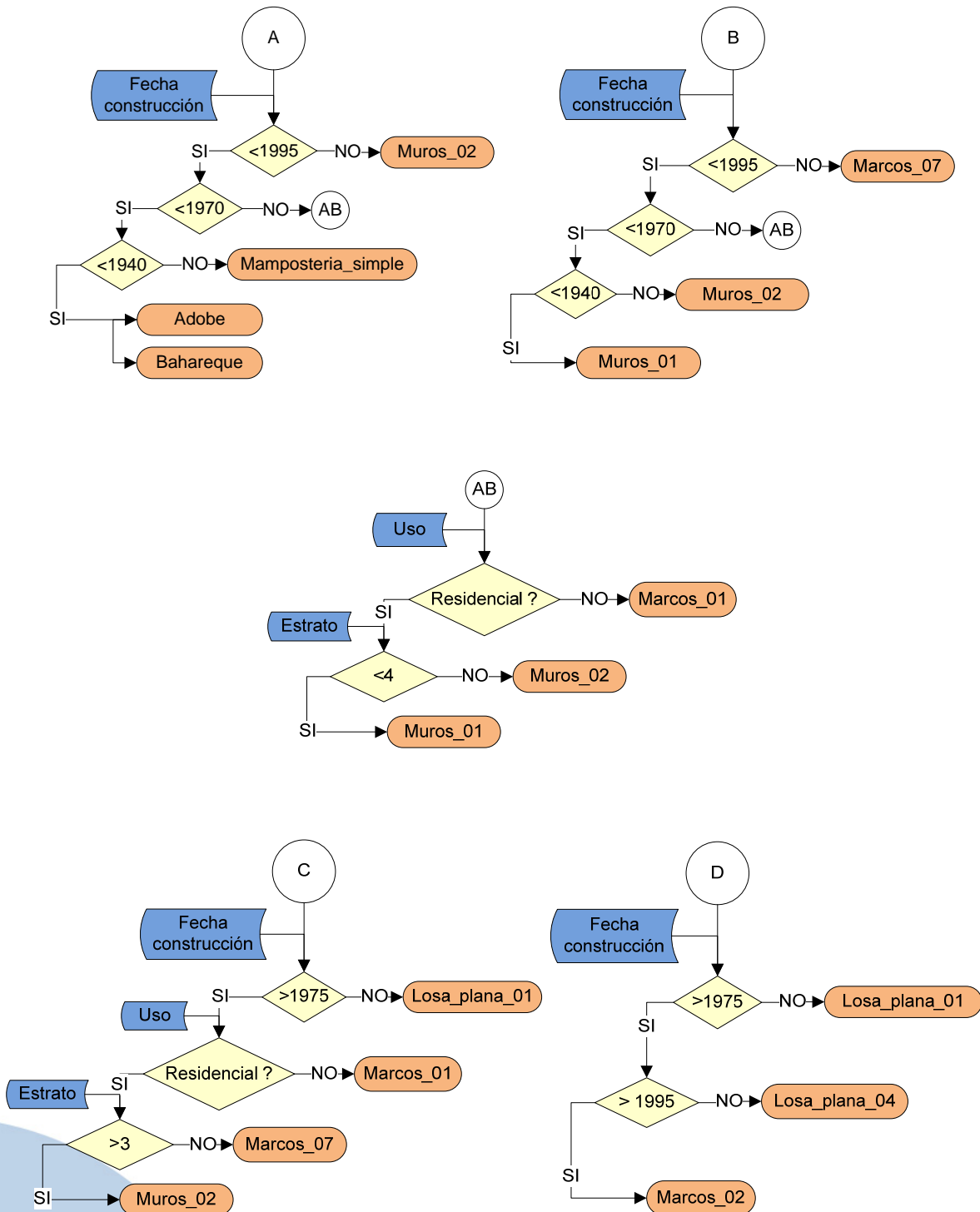


Figura 9: Algoritmo de asignación de funciones de vulnerabilidad (continuación)

7 REFERENCIAS

- ATC. (1985). *Earthquake Damage Evaluation. Data for California*. Redwood City, CA.: Applied Technology Council.
- Bertero, V. V., Anderson, J. C., Krawinkler, H., & Miranda, E. (1991). *Design guidelines for ductility and drift limits: review of state-of-the-practice and state-of-the-art in ductility and drift-based earthquake-resistant design of buildings* (No. UCB/EERC-91/15) (p. 146). Berkeley, CA: Earthquake Engineering Research Center, University of California.
- Miranda, E. (1999). Approximate seismic lateral deformation demands on multistory buildings. *J. Struct. Eng.*, 125(4), 417–425.
- Navarro, J. O. (2005). *Bases técnicas para la estimación de pérdidas con fines de seguros de terremoto*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ingeniería Civil, Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.
- Ordaz, M. G. (2000). Metodología para la evaluación del riesgo sísmico enfocada a la gerencia de seguros para terremoto. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Priestley, M. J. N. (1997). Displacement-Based Seismic Assessment of Reinforced Concrete Buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 1(1), 157–192. doi:10.1080/13632469708962365
- Sözen, M. A. (1997). Drift-Driven Design for Earthquake Resistance of Reinforced Concrete. Presented at the EERC-CUREe Symposium in Honor of Vitelmo V. Bertero, Berkeley, CA: University of California.

ANEXO 1. FICHAS DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD
