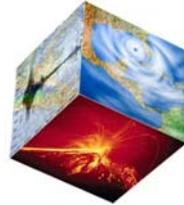


Evaluación de Riesgos Naturales
- América Latina -
Consultores en Riesgos y Desastres



CAPRA

CENTRAL AMERICA PROBABILISTIC RISK ASSESSMENT
EVALUACIÓN PROBABILISTA DE RIESGOS EN CENTRO AMÉRICA

EL SALVADOR

TOMO II
METODOLOGÍA DE MODELACIÓN PROBABILISTA DE
RIESGOS NATURALES

INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T1-3
PROPUESTA DE INDICADORES Y
FUNCIONES DE VULNERABILIDAD





Evaluación de Riesgos Naturales
- América Latina -
Consultores en Riesgos y Desastres

Consortio conformado por:

Colombia

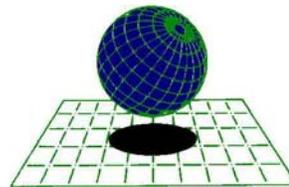
Carrera 19A # 84-14 Of 504
Edificio Torrenova
Tel. 57-1-691-6113
Fax 57-1-691-6102
Bogotá, D.C.



INGENIERIA TECNICA Y CIENTIFICA LTDA

España

Centro Internacional de Métodos Numéricos
en Ingeniería - CIMNE
Campus Nord UPC
Tel. 34-93-401-64-96
Fax 34-93-401-10-48
Barcelona



C I M N E

México

Vito Alessio Robles No. 179
Col. Hacienda de Guadalupe Chimalistac
C.P.01050 Delegación Álvaro Obregón
Tel. 55-5-616-8161
Fax 55-5-616-8162
México, D.F.



[ERN Ingenieros Consultores, S. C.](#)

ERN Evaluación de Riesgos Naturales - América Latina
www.ern-la.com

Dirección y Coordinación de Grupos de Trabajo Técnico – Consorcio ERN América Latina

Omar Darío Cardona A.
Dirección General del Proyecto

Luis Eduardo Yamín L.
Dirección Técnica ERN (COL)

Gabriel Andrés Bernal G.
Coordinación General ERN (COL)

Mario Gustavo Ordaz S.
Dirección Técnica ERN (MEX)

Eduardo Reinoso A.
Coordinación General ERN (MEX)

Alex Horia Barbat B.
Dirección Técnica CIMNE (ESP)

Martha Liliana Carreño T.
Coordinación General CIMNE (ESP)

Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo

Miguel Genaro Mora C.
Especialista ERN (COL)

Carlos Eduardo Avelar F.
Especialista ERN (MEX)

Mabel Cristina Marulanda F.
Especialista CIMNE(ESP)

César Augusto Velásquez V.
Especialista ERN (COL)

Benjamín Huerta G.
Especialista ERN (MEX)

Jairo Andrés Valcárcel T.
Especialista CIMNE(ESP)

Karina Santamaría D.
Especialista ERN (COL)

Mauro Pompeyo Niño L.
Especialista ERN (MEX)

Juan Pablo Londoño L.
Especialista CIMNE(ESP)

Sergio Forero Acevedo
Especialista ERN (COL)

Isaías Martínez A.
Asistente Técnico ERN (MEX)

René Salgueiro
Especialista CIMNE(ESP)

Mauricio Cardona O.
Asistente Técnico ERN (COL)

Edgar Osuna H.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Nieves Lantada
Especialista CIMNE(ESP)

Andrés Mauricio Torres C.
Asistente Técnico ERN (COL)

José Juan Hernández G.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Álvaro Martín Moreno R.
Asesor Asociado (COL)

Diana Marcela González C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Marco Torres
Asesor Asociado (MEX)

Mario Díaz-Granados O.
Asesor Asociado (COL)

Yinsury Sodel Peña V.
Asistente Técnico ERN (COL)

Johner Venicio Correa C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Liliana Narvaez M.
Asesor Asociado (COL)

Andrei Garzón B.
Asistente Técnico ERN (COL)

Juan Pablo Forero A.
Asistente Técnico ERN (COL)

Asesores Nacionales

Osmar E. Velasco
Guatemala

Sandra Zúñiga
Nicaragua

Alonso Brenes
Costa Rica

Banco Mundial – Gestión de Riesgo de Desastres / Región Latinoamérica y el Caribe

Francis Ghesquiere
Coordinador Regional

Joaquín Toro
Especialista

Edward C. Anderson
Especialista

Oscar A. Ishizawa
Especialista

Fernando Ramírez C.
Especialista

Stuart Gill
Especialista

Banco Interamericano de Desarrollo – Medio Ambiente / Desarrollo Rural / Desastres Naturales

Flavio Bazán
Especialista Sectorial

Cassandra T. Rogers
Especialista Sectorial

Hori Tsuneki
Consultor Interno

Tabla de contenido

1	Generalidades	1-1
2	Clasificación de tipos constructivos.....	2-1
2.1	Procedimiento de clasificación	2-1
2.2	Tipos constructivos representativos.	2-2
2.2.1	Clasificación por sistema estructural	2-2
2.3	Resumen de tipos constructivos característicos.....	2-6
3	Asignación de funciones de vulnerabilidad	3-1
3.1	Vulnerabilidad sísmica	3-1
3.2	Vulnerabilidad ante viento	3-4
3.3	Definición y delimitación de zonas homogéneas	3-7
3.4	Distribución de tipos constructivos por zonas homogéneas.....	3-9
4	Vulnerabilidad indicativa de infraestructura urbana y nacional	4-1
4.1	Subestaciones de energía más redes anexas urbanas y nacionales	4-1
4.2	Tanques y plantas de acueducto y alcantarillado.....	4-2
4.3	Presas	4-2
4.4	Redes de acueducto, alcantarillado y gas.....	4-3
4.5	Aeropuertos	4-4
4.6	Muelles.....	4-4
4.7	Puentes urbanos, nacionales vías principales y secundarias	4-5
4.8	Plantas térmicas y geotérmicas	4-6
4.9	Sector de hidrocarburos	4-6
	ANEXO ERN-CAPRA-T2-2-1	4-8
	Resumen de la información de parámetros asignados a cada tipo constructivos característico	4-8

Índice de figuras

FIGURA 2-1 FORMATO DE CARACTERIZACIÓN DE TIPOS CONSTRUCTIVOS (PARTE 1) ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 2-2 FORMATO DE CARACTERIZACIÓN DE TIPOS CONSTRUCTIVOS (PARTE 2) ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, A-SPSB-1	3-1
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, B-SLFB-1.....	3-1
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, CP-FLSB-2.....	3-2
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, MC-RCSM-4	3-2
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, MC-RCSM-5	3-2
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, MC-RLSB-2.....	3-2
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, MR-RCSB-2.....	3-2
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, MR-RLSB-2.....	3-2
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, MR-SLSB-1.....	3-3
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, MS-SLSB-1	3-3
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, PAA-SLSB-B.....	3-3
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, PCR-RCSM-5	3-3
FIGURA 3-13 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, W-SLFB-1	3-3
FIGURA 3-26 FUNCIONES DE VULNERABILIDAD SISMICA.....	3-4
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE VIENTO, CS1.....	3-5
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE VIENTO, CS2.....	3-5
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE VIENTO, CS4.....	3-5
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE VIENTO, CS5.....	3-5
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE VIENTO, LF1	3-5
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE VIENTO, LF2	3-5
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE VIENTO, LS1	3-6
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE VIENTO, LS2	3-6
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE VIENTO, LS3	3-6
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE VIENTO, PF1	3-6
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE VIENTO, PF2	3-6
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE VIENTO, PS1	3-6
FIGURA 3-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE VIENTO, PS2	3-7
FIGURA 3-26 FUNCIONES DE VULNERABILIDAD ANTE VIENTO.....	3-7
FIGURA 3-27 DISTRIBUCIÓN DE ZONIFICACIÓN PROPUESTA	3-9
FIGURA 3-28 PARTICIPACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES EN LA ZONA HOMOGÉNEA 1.....	3-10
FIGURA 3-29 PARTICIPACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES EN LA ZONA HOMOGÉNEA 2.....	3-10
FIGURA 3-30 PARTICIPACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES EN LA ZONA HOMOGÉNEA 3.....	3-10
FIGURA 3-31 PARTICIPACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES EN LA ZONA HOMOGÉNEA 4.....	3-10
FIGURA 3-32 PARTICIPACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES EN LA ZONA HOMOGÉNEA 5.....	3-10
FIGURA 3-33 PARTICIPACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES EN LA ZONA HOMOGÉNEA 6.....	3-10
FIGURA 3-34 PARTICIPACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES EN LA ZONA HOMOGÉNEA 7.....	3-11
FIGURA 4-1 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD PARA SUBESTACIONES ELÉCTRICAS	4-1
FIGURA 4-2 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD PARA TANQUES	4-2
FIGURA 4-3 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD PARA PRESAS.....	4-3
FIGURA 4-4 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD PARA TUBERÍAS	4-3
FIGURA 4-5 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD PARA AEROPUERTOS	4-4
FIGURA 4-6 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD PARA MUELLES.....	4-5
FIGURA 4-7 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD PARA PUENTES	4-6

FIGURA 4-8 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD PARA PLANTAS TÉRMICAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA..... 4-6
FIGURA 4-9 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD PARA TUBERÍAS 4-7

Índice de tablas

TABLA 2-1 DESCRIPCIÓN DE TIPOS CONSTRUCTIVOS REPRESENTATIVOS.	2-2
TABLA 2-2 TIPOS CONSTRUCTIVOS CARACTERÍSTICOS.....	2-6
TABLA 3-1 PARÁMETROS DE CAPACIDAD Y DAÑO PARA CADA TIPO CONSTRUCTIVO.....	3-2
TABLA 3-2 PARÁMETROS DE MIRANDA PARA CADA TIPO CONSTRUCTIVO.	3-1
TABLA 3-3 PARÁMETROS DE VIENTO PARA CADA TIPO CONSTRUCTIVO.	3-4
TABLA 3-3 ZONAS HOMOGÉNEAS IDENTIFICADAS EN GUATEMALA.	3-9

1 Generalidades

Este capítulo propone una clasificación general de los tipos estructurales dominantes en San Salvador con especial énfasis en la ciudad de San Salvador para efectos de la calificación de la vulnerabilidad para los diferentes tipos de amenazas y su distribución en las zonas homogéneas de la ciudad.

El procedimiento para la calificación de la vulnerabilidad de los diferentes componentes del sistema fue el siguiente:

- (a) Tipificación de los tipos constructivos dominantes en las obras de infraestructura a analizar, con base en la información existente y en los conceptos aportados por los grupos de trabajo locales.
- (b) Visitas de campo para realizar la tipificación de los sistemas constructivos principales y caracterizar cada uno de los sistemas que resulten significativos.
- (c) Calcular las funciones de vulnerabilidad de los tipos constructivos característicos. Para este efecto se desarrollaron algunos modelos analíticos o se utilizaron algunas funciones aplicables ya publicadas según experiencias nacionales e internacionales previas. Las funciones de vulnerabilidad propuestas se calculan utilizando la herramienta de software ERN-Vulnerabilidad.
- (d) Conformación de la base de datos de los tipos constructivos dominantes y sus funciones de vulnerabilidad correspondientes para los diferentes tipos de amenaza.
- (e) Zonificación general de la ciudad o de las zonas de interés en zonas homogéneas según la distribución de tipos constructivos dominantes y usos asignados. Asignación en cada zona de los porcentajes aproximados de cada uno de los tipos constructivos.
- (f) Para bases de datos con información predio a predio, asignación de un tipo constructivo característico a cada uno de los componentes y asignación correspondiente de la función de vulnerabilidad.

Una vez caracterizada la vulnerabilidad de cada uno de los elementos, se procede al análisis general del riesgo de los mismos frente a la acción de cada una de las amenazas incluidas en los análisis.

2 Clasificación de tipos constructivos

2.1 Procedimiento de clasificación

La clasificación de cada uno de los tipos constructivos dominantes en la ciudad y en el país, se realizó mediante visitas de inspección y documentación previamente existente. Para cada uno de los tipos identificados se realiza un levantamiento detallado de información en edificaciones representativas mediante formatos que resumen las características principales, fotografías y descripciones de los elementos principales y sus conexiones.

Para realizar la clasificación básica se utiliza como referencia la información relevante para la vulnerabilidad sísmica que incluye en general información relacionada con el sistema estructural, el material dominante en dicho sistema, y características generales tales como tipo de entresijos y cubierta, altura, luces típicas, geometría y otras. Una vez caracterizados los tipos estructurales dominantes desde este punto de vista, se realiza una subclasificación para efectos de la vulnerabilidad ante fuerzas de viento. Esta incluye además de lo anterior la descripción del tipo de fachada, el tipo de cubierta y detalles de conexiones de estos elementos a la estructura. También se realiza una subclasificación adicional para efectos de la vulnerabilidad ante inundación (de carácter lento) la cual incluye el material y tipos de acabados en pisos, paredes y cubiertas, y descripción de los contenidos.

En resumen, con la información contenida en los formatos para cada tipo constructivo dominantes es posible establecer una clasificación general para asignación de vulnerabilidad ante sismos, vientos, inundaciones, caída de ceniza, deslizamientos y demás fenómenos analizados.

En el análisis anterior, solo se caracterizan tipos constructivos dominantes que se presentan frecuentemente en cada zona ó que representen al menos un 10% o 20% de las construcciones de dicha zona.

Cada uno de los tipos constructivos se caracteriza de acuerdo con:

- Características generales de la edificación (rango tipo de número de pisos, luces típicas, luces máximas de cubierta, otras).
- Sistema estructural y material de la estructura principal.
- Material y sistema de entresijo.
- Material y tipo de cubierta.
- Material y tipo de fachada.
- Número de pisos

En las Figura 2-1 y 2-2 se presenta el formato completo utilizado para caracterizar cada uno de para uno de los tipos constructivos representativos.

2.2 Tipos constructivos representativos.

A continuación se presenta la descripción de los tipos constructivos representativos encontrados de acuerdo a los parámetros básicos de clasificación. Cada uno de estos tipos constructivos está descrito en un formato que se adjunta en el ANEXO ERN-CAPRA-T2-2-1

2.2.1 Clasificación por sistema estructural

El primer criterio para seleccionar el tipo constructivo es el sistema estructural y material de la estructura principal. En algunos casos, el material indica directamente el tipo de estructura, como es el caso del adobe, los bloques de arcilla o concreto (en estructuras de pocos niveles), y el bahareque.

*Tabla 2-1
Descripción de tipos constructivos representativos.*

TIPO CONSTRUCTIVO	CÓD.	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
MUROS DE MADERA	W	<p>Es una tipología en la que predomina la madera como elemento estructural principal, están conformados un esqueleto en madera cubierto con láminas de madera, aunque en algunos casos pueden ser láminas de otro material. Las edificaciones de madera corresponden en general a edificaciones de uno o dos pisos con entrepiso de diafragma flexible conformado por vigas de madera o acero y losa en madera. La cubierta generalmente es una cubierta ligera conformada por vigas de acero o madera y lamina de zinc.</p> <p>Se encuentra principalmente en zonas suburbanas, barrios antiguos y asentamientos. En la actualidad se emplea muy rara vez.</p>	

Tabla 2-1

Descripción de tipos constructivos representativos de acuerdo al sistema estructural.

TIPO CONSTRUCTIVO	CÓD.	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
ADOBE.	A	<p>Son edificaciones antiguas de máximo dos pisos, en las cuales la estructura principal está conformada por muros en bloques de arcilla cocidos al sol, unidos con barro, sin elementos de liga. La cubierta generalmente son vigas de madera apoyadas en largueros o directamente sobre los muros, sobre las cuales descansa una estructura en caña que sirve de apoyo a tejas de arcilla cocidas, en algunos casos pueden observarse cubiertas livianas en otros materiales. Para las edificaciones de dos pisos en la mayoría de los casos el entrepiso es madera y se comporta como diafragma flexible.</p> <p>Las edificaciones de adobe corresponden en general a edificaciones con relativa alta vulnerabilidad sísmica. Esto significa que es de esperarse daño estructural importante para niveles de aceleración relativamente bajos. Para este tipo de construcciones la falla del sistema normalmente ocurre por colapso parcial o total en dirección perpendicular a los muros y por pérdida de apoyo de los elementos de cubierta.</p> <p>En la actualidad la construcción con este tipo de material es muy limitada.</p>	
BAHAREQUE.	B	<p>Es un sistema estructural de muros conformados por un esqueleto en madera o bambú cubierto con un revoque de mortero de barro que puede apoyarse en una esterilla de bambú o madera entrelazada con sogá y/o alambre. El espacio entre las esterillas se rellena con piedras, barro, residuos de teja o piedras en conjunto con un mortero a base de cal y lodo.</p> <p>Generalmente son estructuras de máximo 2 pisos con altura de entrepiso de aproximadamente 3.00m. Las cubiertas consisten en esterillas de madera o caña apoyadas en vigas de madera que soportan cubiertas livianas y/o tejas de barro.</p> <p>Se pueden encontrar en antiguos barrios de Managua aunque en la actualidad no se emplea este tipo de construcción.</p>	

Tabla 2-1

Descripción de tipos constructivos representativos de acuerdo al sistema estructural.

TIPO CONSTRUCTIVO	CÓD.	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
MAMPOSTERÍA SIMPLE	MS	<p>Las edificaciones de mampostería simple están conformadas por muros en ladrillo, bloque de concreto, bloques de piedra que pueden estar colocados sin ningún material de unión, con mortero cementoso o de cualquier otro tipo de material. Las mayoría de las edificaciones encontradas en este tipo constructivo son de 1 y 2 pisos con cubiertas ligeras conformadas por correas metálicas y tejas en lamina de zinc. También se pueden observar cubiertas en teja de barro y placas de concreto.</p> <p>Para las edificaciones de 2 pisos se observa en la mayoría de los casos diafragmas de entrepiso flexibles conformados por vigas en madera o metálicas con losa de entrepiso en madera.</p> <p>Estas edificaciones presentan vulnerabilidad sísmica alta, con niveles de daño estructural importante. Para este tipo de construcciones la falla del sistema ocurre normalmente por fisuración avanzada en dirección paralela al plano de los muros principales y deterioro progresivo consecuente de los muros de mampostería.</p> <p>Se encuentra principalmente en zonas barrios antiguos y asentamientos. En la actualidad se emplea muy rara vez.</p>	
MAMPOSTERÍA CONFINADA	MC	<p>La mampostería confinada consiste en muros de mampostería simple con elementos de concreto reforzado (columnas de amarre, vigas) en su perímetro construidos luego de la construcción de un muro de mampostería simple, a modo de refuerzo.</p> <p>La cubierta en la mayoría de los casos es una cubierta liviana pero también se observan cubiertas en placa de concreto. Las placas de entrepiso en la mayoría de los casos están conformadas por entrepisos flexibles de vigas de madera o acero y losa de madera.</p> <p>El comportamiento esperado de este sistema estructural puede variar según el tipo de diafragma y la disposición de elementos de confinamiento en concreto reforzado.</p>	

Tabla 2-1
Descripción de tipos constructivos representativos de acuerdo al sistema estructural.

TIPO CONSTRUCTIVO	CÓD.	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
MAMPOSTERÍA REFORZADA.	MR	<p>Las edificaciones de mampostería reforzada están conformadas por muros en bloque de concreto o arcilla perforados con algunas celdas rellenas de concreto y con acero de refuerzo, generalmente son edificaciones de 1 o 2 pisos con cubierta ligera en la mayoría de los casos.</p> <p>Las edificaciones de 2 o más pisos presentan en la mayoría de los casos diafragmas de entrepiso rígidos conformados por vigas metálicas con losa en concreto. También se observan casos de diafragmas de entrepiso flexibles conformados por vigas en madera o metálicas con losa en madera.</p>	
MUROS EN CONCRETO PREFABRICADO	CP	<p>Es un sistema de muros estructurales prefabricados en concreto sobre los cuales se apoyan placas prefabricadas también de concreto.</p> <p>Se encuentran estructuras de 1 o 2 niveles con cubiertas ligeras. En estructuras de 2 niveles el diafragma de entrepiso se idealiza como diafragma flexible.</p>	
PÓRTICOS DE ACERO RESISTENTES A MOMENTO SIN ARRIOSTRAMIENTO	PAR	<p>Estructuras cuyo sistema estructural principal es a base de pórticos de acero conformados por vigas y columnas resistentes a momento sin arriostramiento. En algunos casos estos pórticos se rellenan con muros de concreto o de mampostería a manera de elementos de cerramiento.</p>	
PÓRTICOS EN CONCRETO RESISTENTES A MOMENTO	PCR	<p>Este sistema estructural está conformado por vigas y columnas en concreto unidas monolíticamente. Se pueden observar en edificaciones de uno o más pisos, en cuyo caso las placas de entrepiso son en concreto y las cubiertas que pueden ser ligeras, pesadas o losas de concreto.</p> <p>El comportamiento de las construcciones de pórticos de concreto reforzado se caracteriza por la flexibilidad asociada a la disposición de los elementos que la conforman sin tener algún tipo de contravientos o riostras. Estas edificaciones son en general de vulnerabilidad intermedia.</p>	

2.3 Resumen de tipos constructivos característicos.

El análisis anterior sirve para establecer la siguiente clasificación de tipos constructivos característicos. La Tabla 2-2 resume los tipos constructivos característicos y la referencia de cada uno de ellos.

Tabla 2-2
Tipos constructivos característicos

ID TIPO	CARACTERÍSTICAS
A-SPSB-1	Adobe - Sin Diafragma, Cubierta Pesada, Fachada Frágil sin dilatar, Bajos - 1
B-SLFB-1	Bahareque - Sin Diafragma, Cubierta Ligera, Fachada Flexible, Bajos - 1
CP-FLSB-2	Muros en Concreto prefabricado - Flexible, Cubierta Ligera, Fachada Frágil sin dilatar, Bajos - 2
MC-RCSM-4	Mampostería confinada - Rígido, Cubierta en concreto, Fachada Frágil sin dilatar, Medios - 4
MC-RCSM-5	Mampostería confinada - Rígido, Cubierta en concreto, Fachada Frágil sin dilatar, Medios - 5
MC-RLSB-2	Mampostería confinada - Rígido, Cubierta Ligera, Fachada Frágil sin dilatar, Bajos - 2
MR-RCSB-2	Mampostería reforzada - Rígido, Cubierta en concreto, Fachada Frágil sin dilatar, Bajos - 2
MR-RLSB-2	Mampostería reforzada - Rígido, Cubierta Ligera, Fachada Frágil sin dilatar, Bajos - 2
MR-SLSB-1	Mampostería reforzada - Sin Diafragma, Cubierta Ligera, Fachada Frágil sin dilatar, Bajos - 1
MS-SLSB-1	Mampostería Simple - Sin Diafragma, Cubierta Ligera, Fachada Frágil sin dilatar, Bajos - 1
PAA-SLSB-B	Porticos en acero arriostrados - Sin Diafragma, Cubierta Ligera, Fachada Frágil sin dilatar, Bodega - B
PCR-RCSM-5	Porticos en concreto RM - Rígido, Cubierta en concreto, Fachada Frágil sin dilatar, Medios - 5
W-SLFB-1	Muros en madera - Sin Diafragma, Cubierta Ligera, Fachada Flexible, Bajos - 1

3 Asignación de funciones de vulnerabilidad

Para la asignación de las funciones de vulnerabilidad sísmica se emplea el procedimiento y metodología propuesta en el Informe ERN-CAPRA-T1-5 - Vulnerabilidad de Edificaciones e Infraestructura. A cada uno de los tipos constructivos característicos se les asigna una función de vulnerabilidad para efectos del sismo, viento, inundación, deslizamiento, caída de cenizas, flujo de lava y flujo piroclástico.

3.1 Vulnerabilidad sísmica

Cada uno de los sistemas anteriores se caracteriza desde el punto de vista de las variables que afectan la asignación de vulnerabilidad sísmica. Los formatos que se presentan en el Anexo T2-2-1 resumen la información de parámetros asignados a cada tipo constructivos característico.

Además la Tabla 3-1 resume los parámetros principales que permiten asignar una función particular de vulnerabilidad para cada tipo.

Tabla 3-1
Parámetros de capacidad y daño para cada tipo constructivo.

TIPO	H(m)	T(s)	Cs	γ	λ	μ	α_1	α_2	DAÑO PLASTICO	DAÑO ULTIMO	CURVATURA 1	CURVATURA 2	FACTOR DE COLAPSO (Media)	FACTOR DE COLAPSO (Desviación)
A-SPSB-1	2.4	0.26	0.10	1.10	2.00	1.20	0.75	0.75	0.08	1.00	9.10	3.30	0.40	3.50
B-SLFB-1	2.4	0.65	0.03	1.10	2.00	1.20	0.75	0.75	0.10	1.00	2.70	1.10	0.40	3.50
CP-FLSB-2	4.8	0.63	0.10	1.10	1.10	5.00	0.75	0.75	0.08	1.00	3.80	3.60	0.40	3.50
MC-RCSM-4	7.2	0.08	0.20	1.50	2.00	5.00	0.75	0.75	0.00	1.00	1.60	0.00	0.40	3.50
MC-RCSM-5	9.6	0.08	0.20	1.50	2.00	5.00	0.75	0.75	0.00	1.00	1.60	0.00	0.40	3.50
MC-RLSB-2	4.8	0.08	0.20	1.50	2.00	5.00	0.75	0.75	0.00	1.00	1.60	0.00	0.40	3.50
MR-RCSB-2	4.8	0.30	0.16	1.30	1.30	5.00	0.75	0.75	0.05	1.00	8.50	3.80	0.40	3.50
MR-RLSB-2	4.8	0.30	0.16	1.30	1.30	5.00	0.75	0.75	0.05	1.00	8.50	3.80	0.40	3.50
MR-SLSB-1	2.4	0.08	0.33	1.50	1.75	3.75	0.75	0.75	0.08	1.00	5.60	3.80	0.40	3.50
MS-SLSB-1	2.4	0.08	0.16	1.30	1.50	1.50	0.75	0.75	0.15	1.00	5.00	5.20	0.40	3.50
PAA-SLSB-B	4.5	0.40	0.33	1.50	1.75	3.75	0.75	0.75	0.20	1.00	2.30	4.00	0.40	3.50
PCR-RCSM-5	18	0.72	0.22	1.25	2.25	5.25	0.75	0.75	0.08	1.00	2.30	2.60	0.40	3.50
W-SLFB-1	2.4	0.26	0.17	1.50	2.50	5.00	0.75	0.75	0.08	1.00	2.70	2.70	0.40	3.50

H: Altura del edificio

T : Periodo estructural

Cs: Coeficiente sísmico de diseño.

γ : relación entre el esfuerzo de diseño y el de fluencia.

λ : la relación entre el esfuerzo último y el de fluencia.

μ : Capacidad de ductilidad.

α_1 : Fracción de peso efectivo en el modo de vibración principal

α_2 : Fracción de altura en el punto del desplazamiento

Tabla 3-2
Parámetros de Miranda para cada tipo constructivo.

# DE PISOS	H DE ENTREPISO (ΔZ)	α	a	Te	μ
1.00	3.50	1.00	0.10	0.26	1.20
1.00	3.50	1.00	0.10	0.65	1.20
2.00	2.50	1.00	0.10	0.63	1.20
1.00	2.50	1.00	0.10	0.08	5.00
1.00	2.50	1.00	0.10	0.08	5.00
1.00	2.50	1.00	0.10	0.08	5.00
1.00	2.50	1.00	0.10	0.30	5.00
1.00	2.50	1.00	0.10	0.30	5.00
1.00	2.80	1.00	0.10	0.08	3.75
1.00	2.80	1.00	0.10	0.08	1.50
1.00	5.00	5.00	1.00	0.40	3.75
5.00	2.80	11.00	0.10	0.72	5.25
1.00	2.80	1.30	0.10	0.26	5.00

de pisos: No de pisos

H de entrepiso (Δz): Altura de entrepiso

α : parámetro que define el tipo de deformación (flexión o cortante)

a: factor que define la forma de carga lateral

Te : periodo estructural

μ : capacidad de ductilidad.

Las Figuras 3-1 a 3-13 presentan las funciones de vulnerabilidad para sismo asignadas.

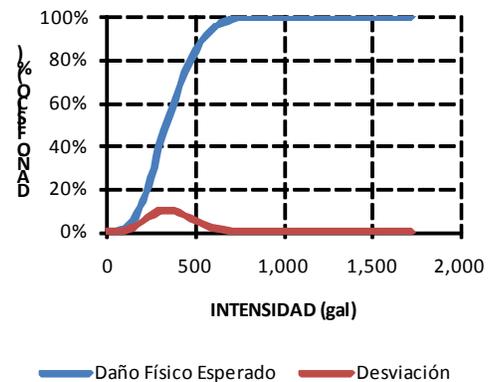
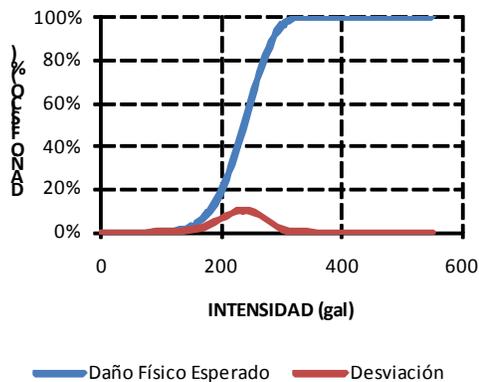


Figura 3-1 Función de vulnerabilidad sísmica, **A-SPSB-1**

Figura 3-2 Función de vulnerabilidad sísmica, **B-SLFB-1**

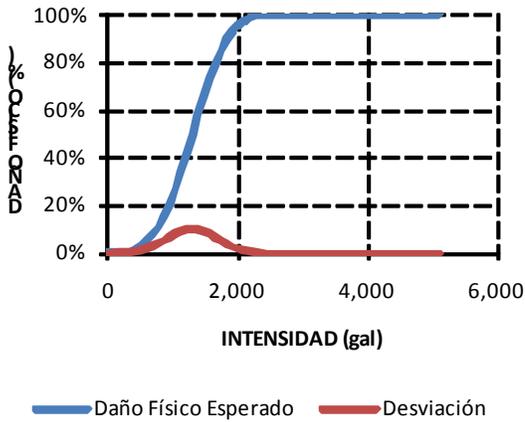


Figura 3-3 Función de vulnerabilidad sísmica, CP-FLSB-2

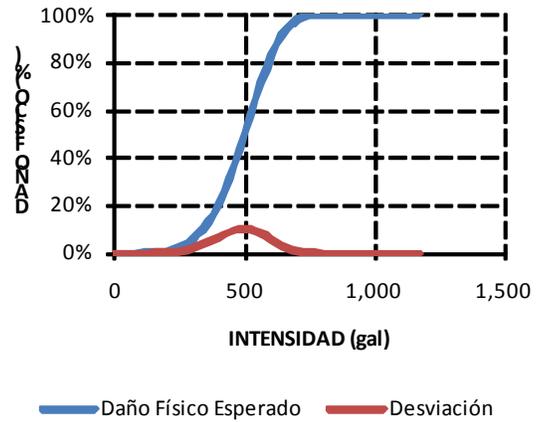


Figura 3-4 Función de vulnerabilidad sísmica, MC-RCSM-4

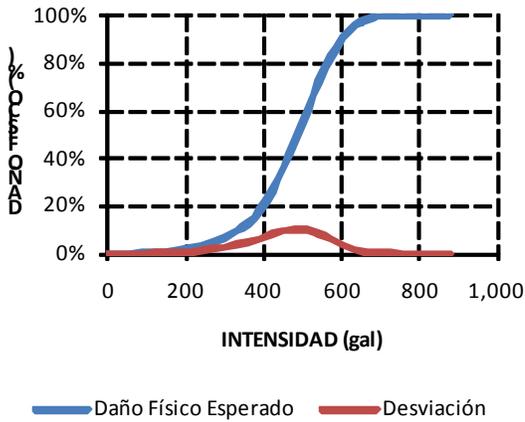


Figura 3-5 Función de vulnerabilidad sísmica, MC-RCSM-5

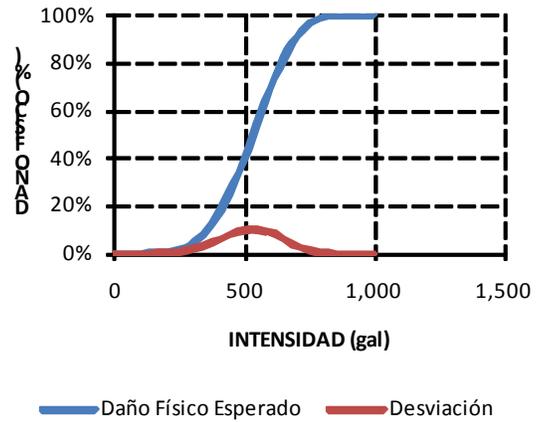


Figura 3-6 Función de vulnerabilidad sísmica, MC-RLSB-2

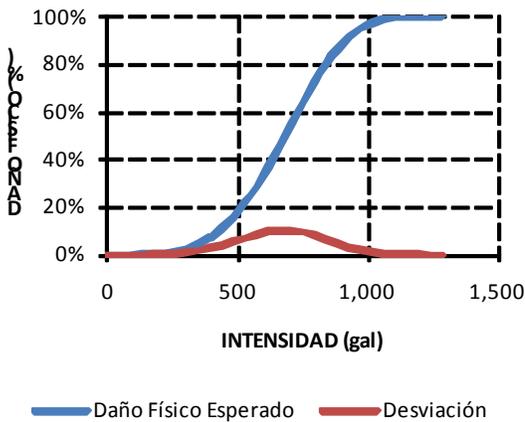


Figura 3-7 Función de vulnerabilidad sísmica, MR-RCSB-2

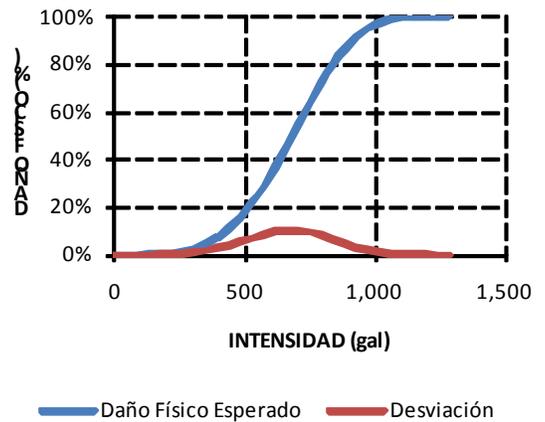
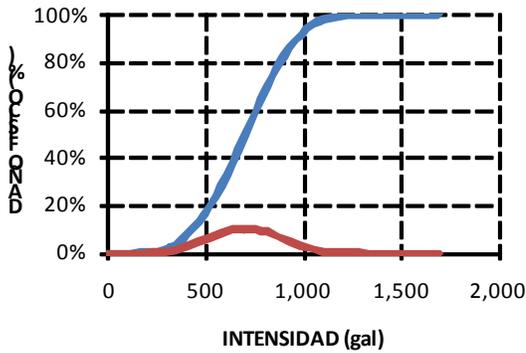
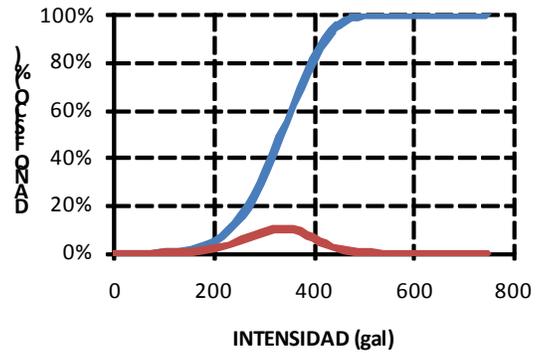


Figura 3-8 Función de vulnerabilidad sísmica, MR-RLSB-2



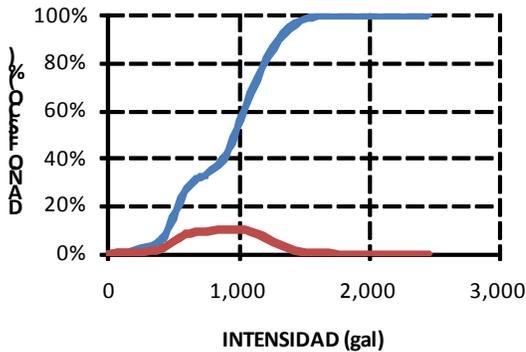
— Daño Físico Esperado — Desviación

Figura 3-9 Función de vulnerabilidad sísmica, MR-SLSB-1



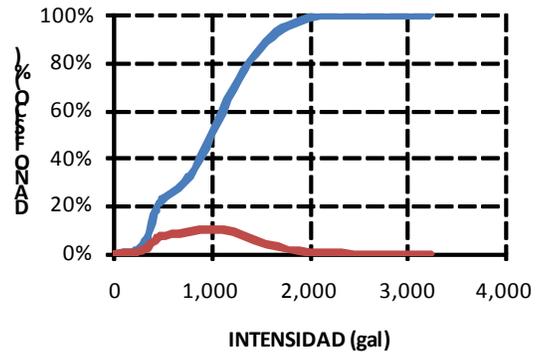
— Daño Físico Esperado — Desviación

Figura 3-10 Función de vulnerabilidad sísmica, MS-SLSB-1



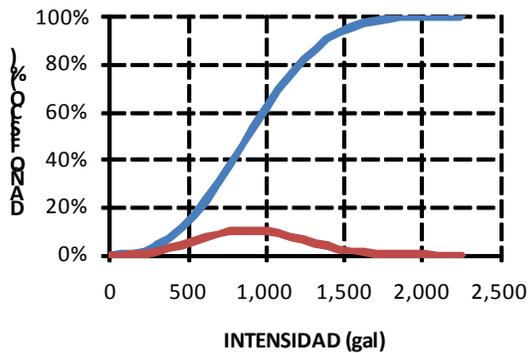
— Daño Físico Esperado — Desviación

Figura 3-11 Función de vulnerabilidad sísmica, PAA-SLSB-B



— Daño Físico Esperado — Desviación

Figura 3-12 Función de vulnerabilidad sísmica, PCR-RCSM-5



— Daño Físico Esperado — Desviación

Figura 3-13 Función de vulnerabilidad sísmica, W-SLFB-1

En la Figura 3-14 se presentan todas las funciones para sismo consideradas en un mismo formato para efectos comparativos.

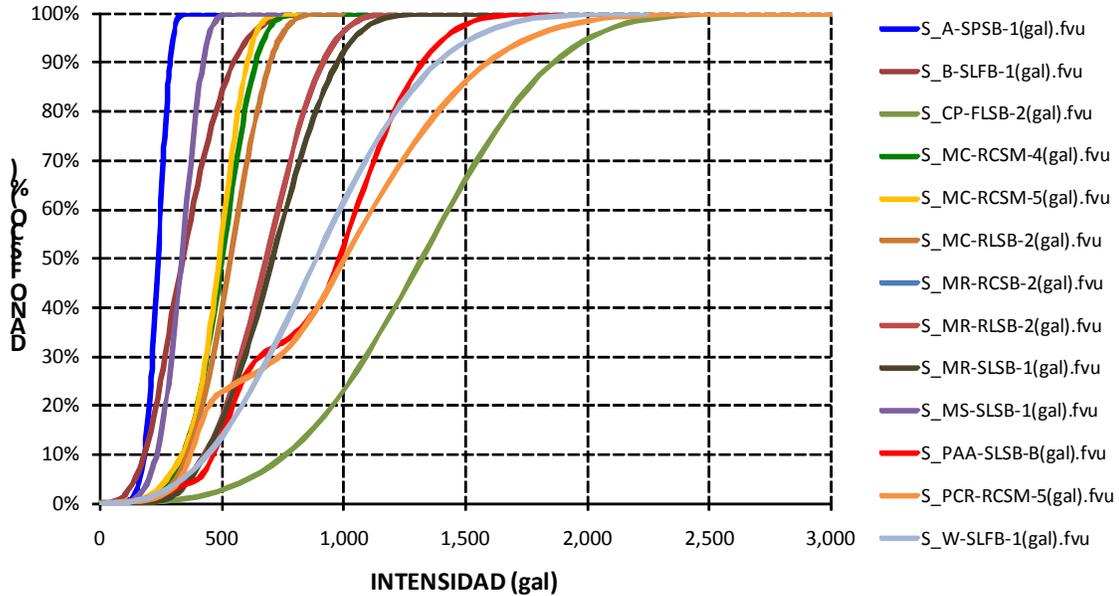


Figura 3-14 Funciones de vulnerabilidad sísmica

3.2 Vulnerabilidad ante viento

Cada uno de los sistemas anteriores se caracteriza desde el punto de vista de las variables que afectan la asignación de vulnerabilidad ante la velocidad de viento. En la Tabla 3-3 se presenta

Tabla 3-3
Parámetros de viento para cada tipo constructivo.

TIPO ESTRUCTURAL	ID	DESCRIPCION	INTENSIDAD DE DAÑO MEDIO	DESVIACION	DAÑO FÍSICO MAX
A-SPSB-1	PS1	Cubierta ligera, Fachada en mamposteria	300	8.1	20
B-SLFB-1	LF1	Cubierta ligera, Fachada flexible	180	7.4	60
CP-FLSB-2	LS2	Cubierta ligera, Fachada en mamposteria	300	8.1	20
MC-RCSM-4	CS4	Cubierta en concreto, Fachada en mamposteria	300	8.1	3
MC-RCSM-5	CS5	Cubierta en concreto, Fachada en mamposteria	300	8.1	2
MC-RLSB-2	LS2	Cubierta ligera, Fachada en mamposteria	300	8.1	20
MR-RCSB-2	CS2	Cubierta en concreto, Fachada en mamposteria	300	8.1	5
MR-RLSB-2	LS2	Cubierta ligera, Fachada en mamposteria	300	8.1	20
MR-SLSB-1	LS1	Cubierta ligera, Fachada en mamposteria	300	8.1	40
MS-SLSB-1	LS1	Cubierta ligera, Fachada en mamposteria	300	8.1	40
PAA-SLSB-B	LS1	Cubierta ligera, Fachada en mamposteria	300	8.1	40
PCR-RCSM-5	CS5	Cubierta en concreto, Fachada en mamposteria	300	8.1	2
W-SLFB-1	LF1	Cubierta ligera, Fachada flexible	180	7.4	60

En Las Figuras 3-26 a Figura 3-30 presentan las funciones de vulnerabilidad asignadas.

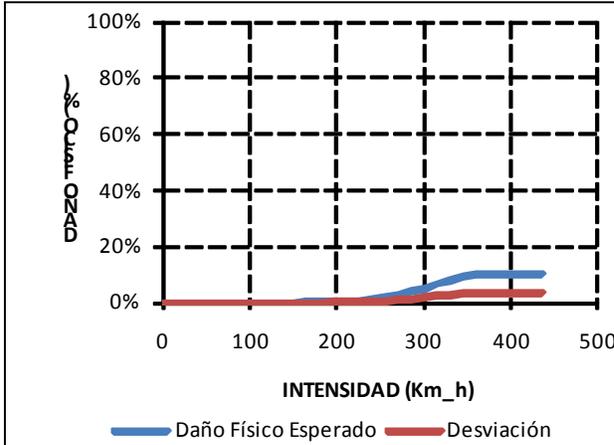


Figura 3-15 Función de vulnerabilidad ante viento, CS1

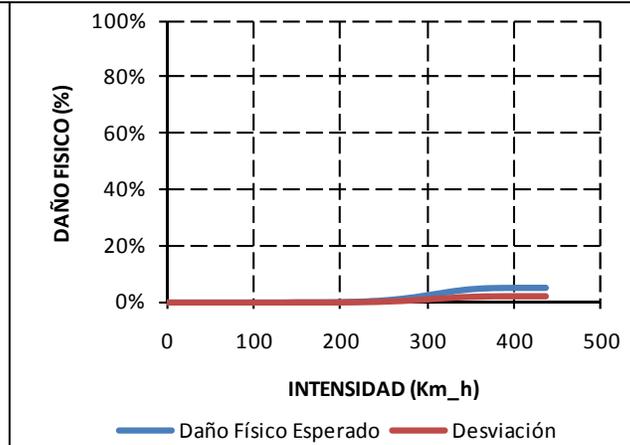


Figura 3-16 Función de vulnerabilidad ante viento, CS2

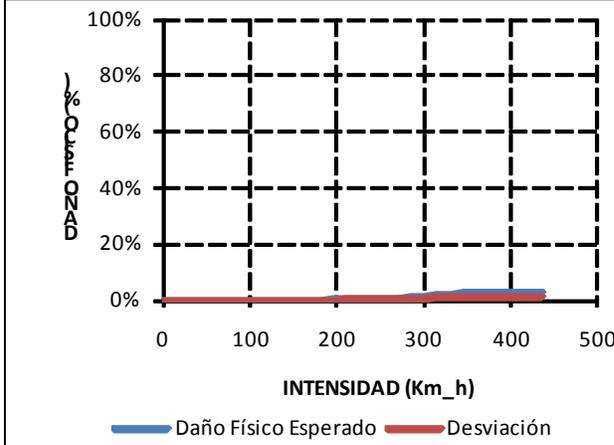


Figura 3-17 Función de vulnerabilidad ante viento, CS4

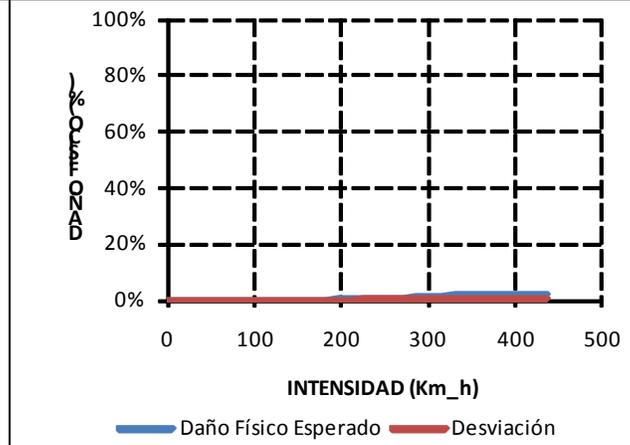


Figura 3-18 Función de vulnerabilidad ante viento, CS5

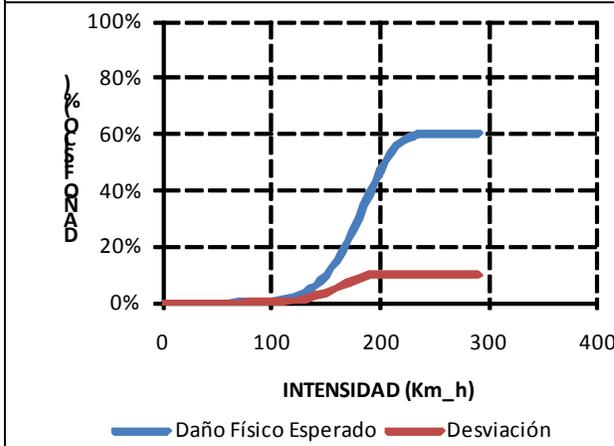


Figura 3-19 Función de vulnerabilidad ante viento, LF1

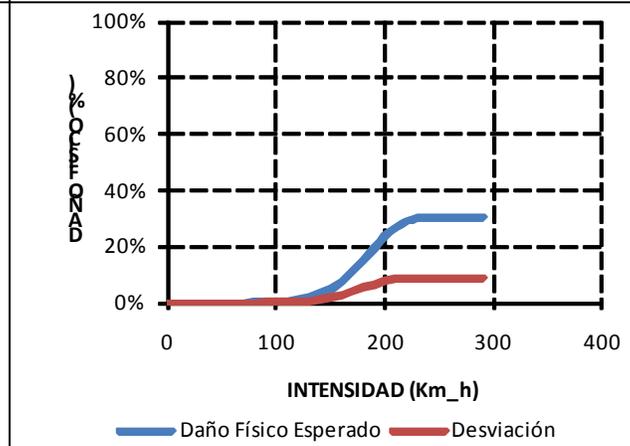


Figura 3-20 Función de vulnerabilidad ante viento, LF2

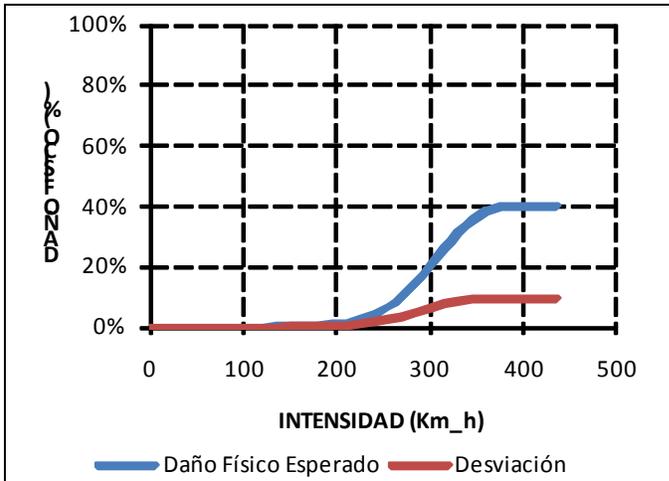


Figura 3-21 Función de vulnerabilidad ante viento, LS1

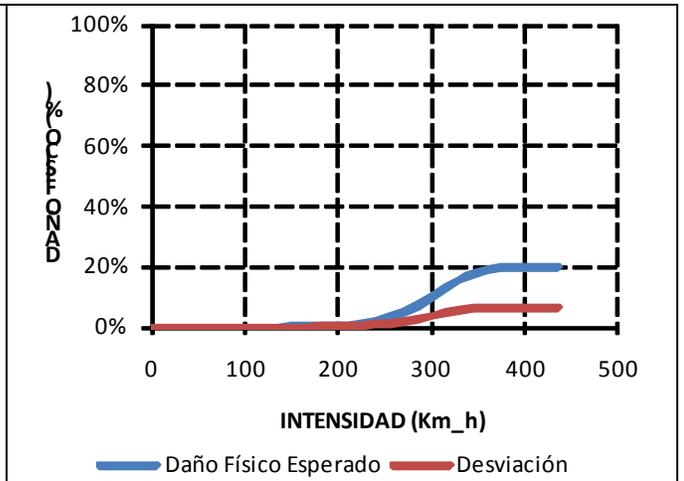


Figura 3-22 Función de vulnerabilidad ante viento, LS2

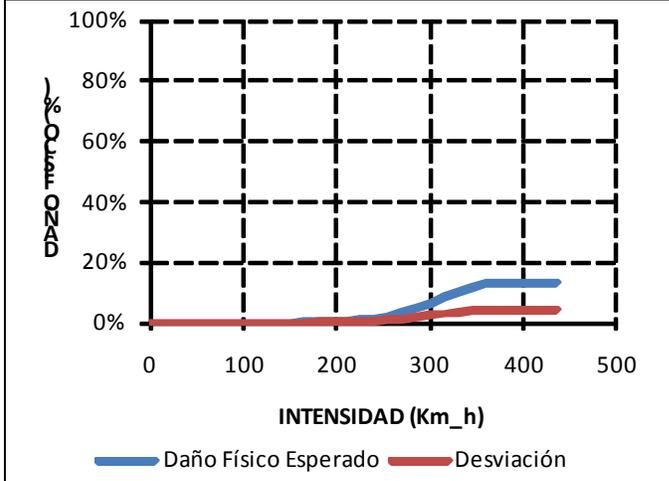


Figura 3-23 Función de vulnerabilidad ante viento, LS3

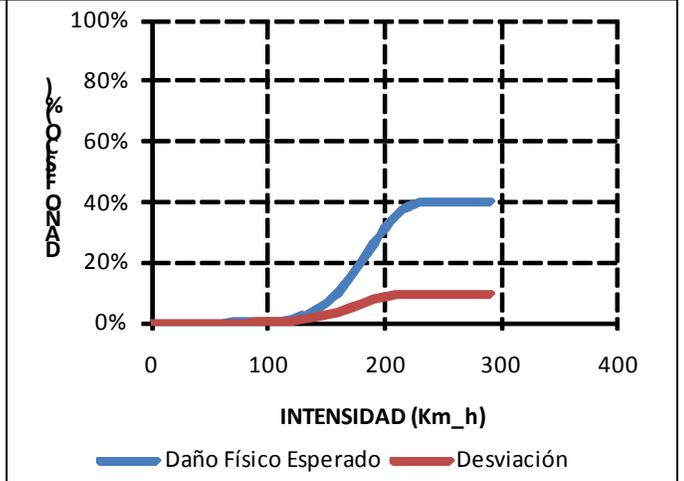


Figura 3-24 Función de vulnerabilidad ante viento, PF1

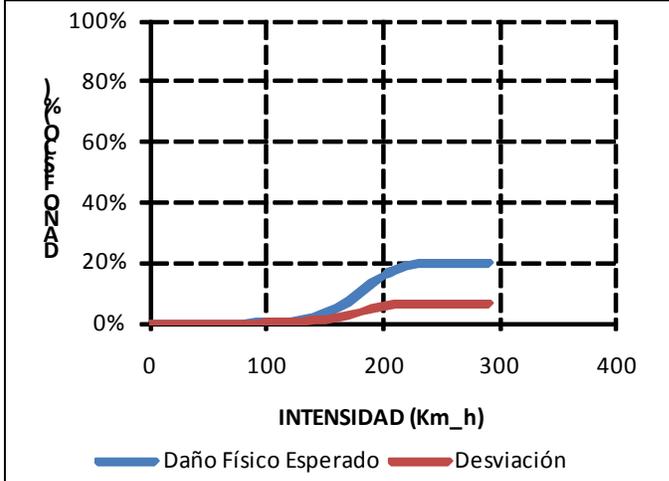


Figura 3-25 Función de vulnerabilidad ante viento, PF2

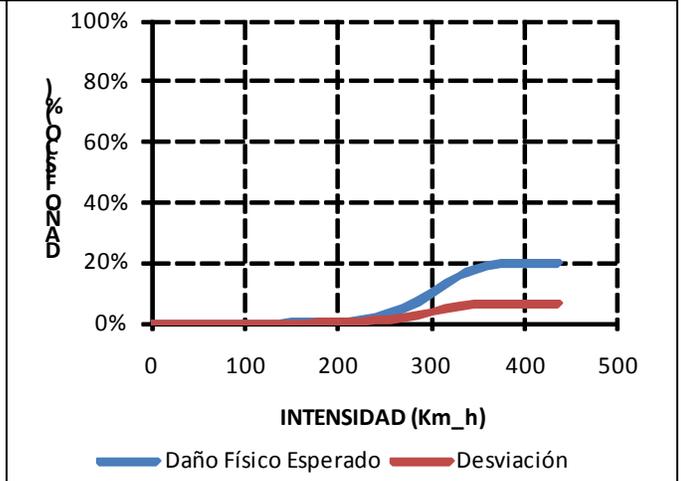
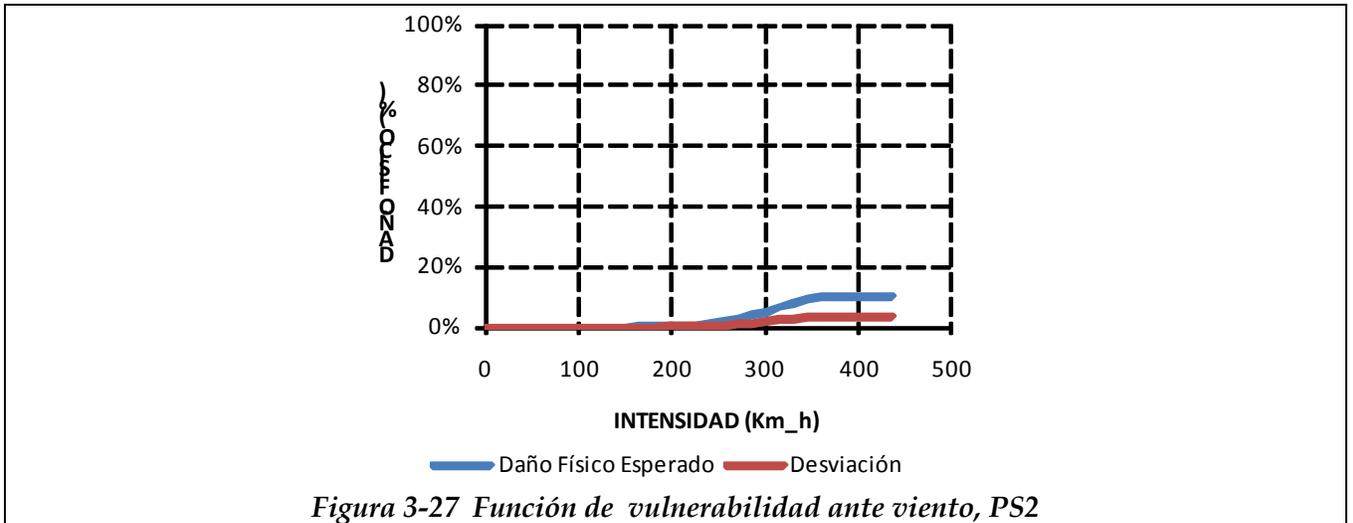


Figura 3-26 Función de vulnerabilidad ante viento, PS1



En la Figura 3-26 se presentan todas las funciones para viento consideradas en un mismo formato para efectos comparativos.

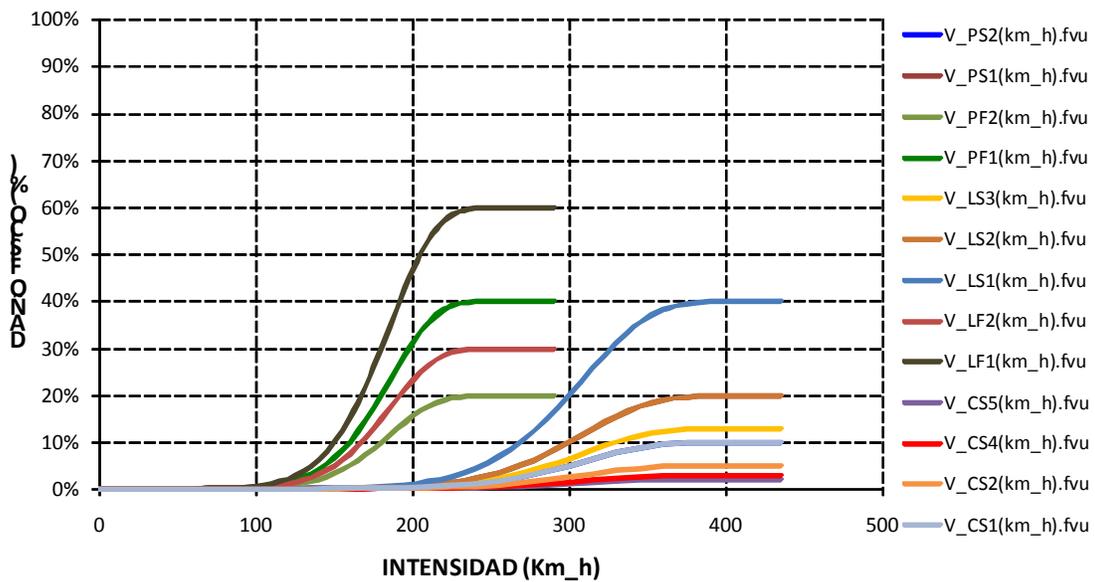


Figura 3-28 Funciones de vulnerabilidad ante viento

3.3 Definición y delimitación de zonas homogéneas

La zonificación de la ciudad en zonas homogéneas se realizó según criterios de uso, densidad de construcciones, altura de las construcciones, edad de construcciones, y nivel socioeconómico. Para cada una de las zonas que se definidas, estos parámetros deben ser más o menos constantes.

La definición de las zonas homogéneas se realizó con base en la interpretación de imágenes de satélite, fotografías aéreas y el concepto de especialistas locales conocedores de la ciudad.

Para la zonificación de la ciudad por usos se definen los siguientes:

- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Educación
- Institucional

En cuanto a la densidad de construcción se clasifican en:

- Densidad baja
- Densidad media
- Densidad alta

Con respecto al número de pisos toma la siguiente subclasificación:

- Bajos: 1 a 2 pisos
- Intermedios: 3 a 5 pisos
- Altos: más de 5 pisos

Para la edad de las construcciones se utilizan únicamente dos subclasificaciones:

- Construcciones antiguas.
- Construcciones intermedias.
- Construcciones nuevas o rehabilitadas.

De acuerdo con lo anterior se obtiene la clasificación de zonas homogéneas que se indica en la Tabla 3-4:

Tabla 3-4
Zonas homogéneas identificadas en .

ZONA HOMOGÉNEA	USO	NSE
Zona 1	Residencial	Alta
Zona 2	Residencial	Media
Zona 3	Residencial	Baja
Zona 4	Comercial	Alta
Zona 5	Comercial	Media
Zona 6	Industrial	Media
Zona 7	Institucional	Alta
Zona 8	Institucional	Media

La Figura 3-29 presentan un mapa general de la zonificación propuesta.

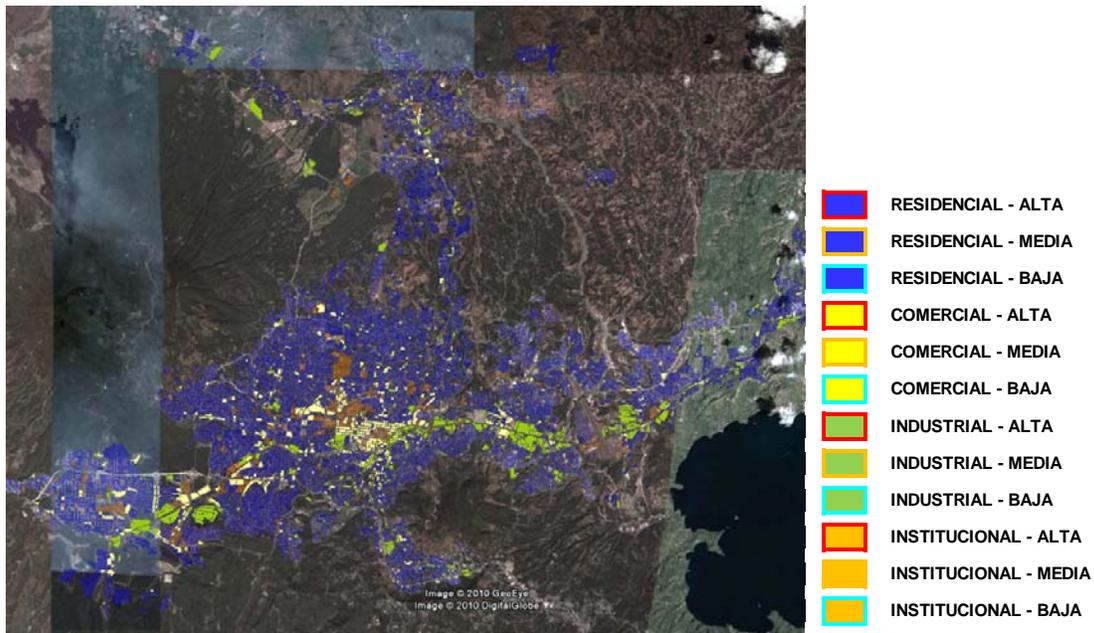


Figura 3-29
Distribución de zonificación propuesta

3.4 Distribución de tipos constructivos por zonas homogéneas

Una vez zonificada la ciudad y definidos los tipos constructivos dominantes de la ciudad, se realiza la asignación de los tipos constructivos dominantes a cada una de las zonas. Solo se consideran los tipos constructivos que se repitan un número de veces significativa y que

4. Zonificación de la ciudad de Guatemala según tipos constructivos

representen porcentajes de construcciones por encima del 10 % de las edificaciones de la zona. La asignación se hace de acuerdo con el formato anexo.

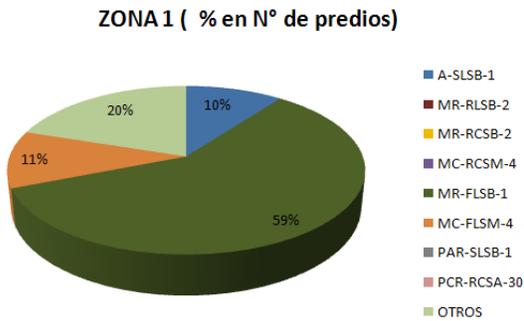


Figura 3-30 Participación de sistemas estructurales en La zona homogénea 1

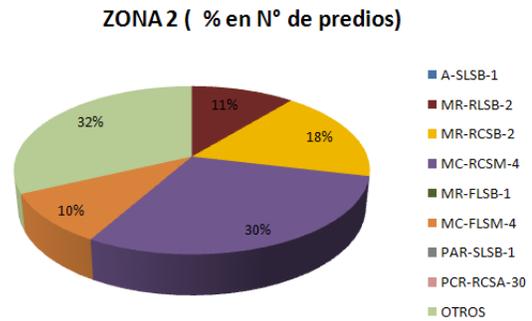


Figura 3-31 Participación de sistemas estructurales en La zona homogénea 2

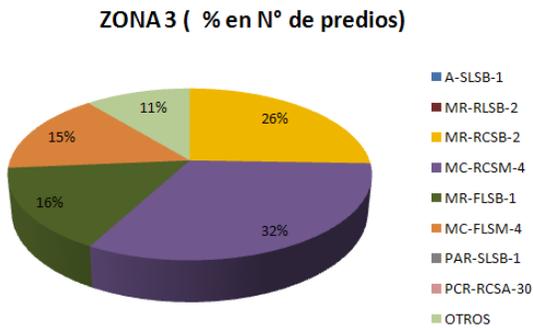


Figura 3-32 Participación de sistemas estructurales en La zona homogénea 3

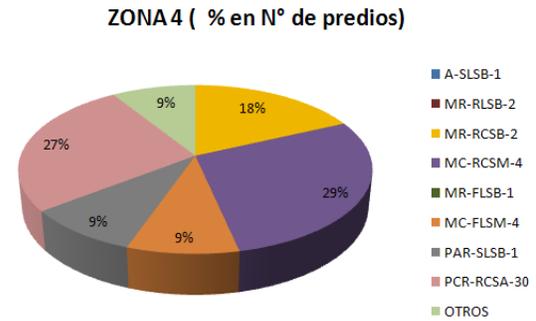


Figura 3-33 Participación de sistemas estructurales en La zona homogénea 4

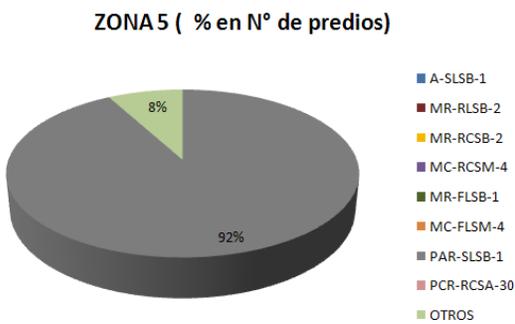


Figura 3-34 Participación de sistemas estructurales en La zona homogénea 5

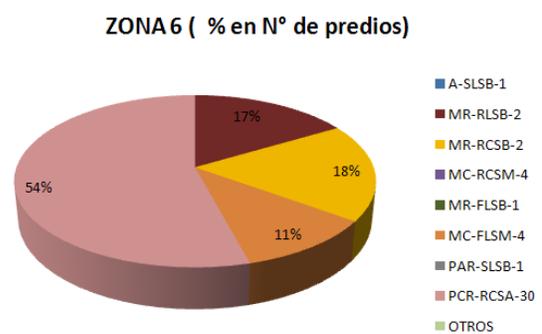


Figura 3-35 Participación de sistemas estructurales en La zona homogénea 6

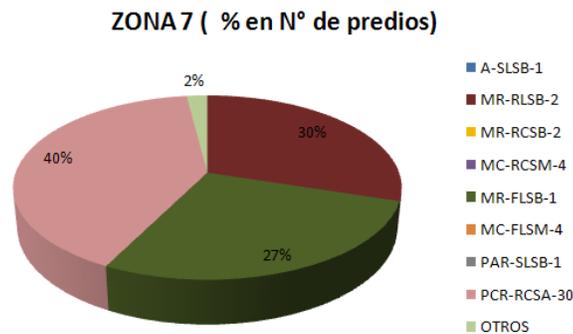


Figura 3-36 Participación de sistemas estructurales en La zona homogénea 7

4 Vulnerabilidad indicativa de infraestructura urbana y nacional

Para efectos del análisis se asignan funciones de vulnerabilidad para los componentes principales de la infraestructura a nivel nacional. Estas funciones de vulnerabilidad se asignan con base en funciones disponibles para componentes similares de estudios específicos y se asignan puramente con carácter indicativo. En caso de realizar evaluaciones para zonas específicas o para un sistema en particular se hace necesaria la realización de estudios específicos para la asignación de funciones que correspondan al comportamiento esperado del sistema que se desee analizar.

En el presente resumen solo se presenta la asignación de funciones para el caso de vulnerabilidad sísmica.

4.1 Subestaciones de energía más redes anexas urbanas y nacionales

Corresponden al sistema de subestaciones de energía más las redes anexas. Considerando que se trata de un sistema de diferentes tipos constructivos, la función se obtiene mediante la ponderación del comportamiento de los diferentes componentes dominantes tales como torres, pórticos de soporte, porcelanas, transformadores y edificaciones varias adicionales. La Figura 4-1 presenta las funciones de vulnerabilidad adoptadas en términos del valor esperado de la pérdida y la varianza correspondiente.

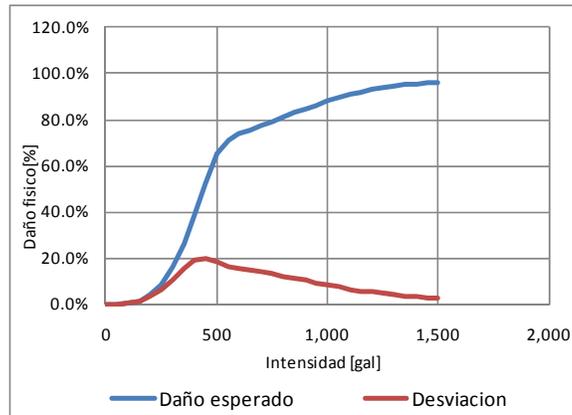


Figura 4-1
Función de vulnerabilidad para subestaciones eléctricas

4.2 Tanques y plantas de acueducto y alcantarillado.

Corresponden en general a construcciones de baja altura relativamente rígidas y de baja vulnerabilidad sísmica relativa. En general son sistemas diseñados de manera cuidadosa y con buena calidad constructiva. No se espera en general llegar a estados de fallas parciales o totales a menos que se tenga una intensidad sísmica inusualmente alta. La Figura 4-2 presenta las funciones de vulnerabilidad adoptadas en términos del valor esperado de la pérdida y la varianza correspondiente.

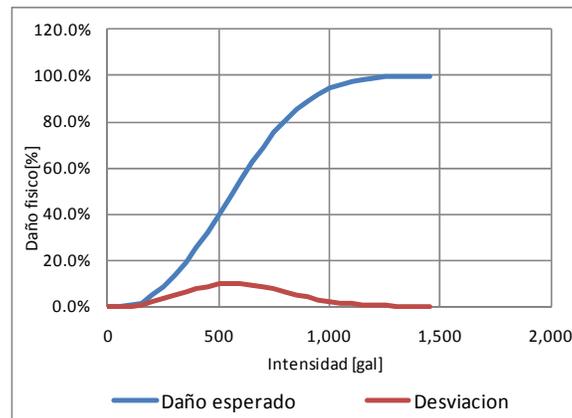


Figura 4-2
Función de vulnerabilidad para tanques

4.3 Presas

A pesar que resulta en general bastante difícil generalizar el comportamiento sísmico esperado para este tipo de elementos, se trata en general de estructuras de tierra diseñadas y construidas de manera cuidadosa, con buenos materiales y buen control de calidad. No se espera en general llegar a estados de fallas parciales o totales a menos que se tenga una intensidad sísmica inusualmente alta. En general el tipo de daño que se espera es del tipo fisuración, agrietamiento o falla por inestabilidad local. La Figura 4-3 presenta las funciones de vulnerabilidad adoptadas en términos del valor esperado de la pérdida y la varianza correspondiente.

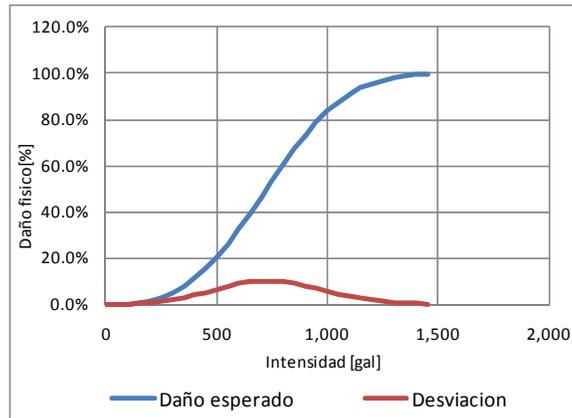


Figura 4-3
Función de vulnerabilidad para presas

4.4 Redes de acueducto, alcantarillado y gas

Los daños en sistemas lineales de tuberías dependen principalmente de las deformaciones unitarias impuestas por el terreno sobre la tubería, las cuales a su vez están asociadas con la velocidad de propagación de ondas y con la velocidad máxima de las partículas. De manera simplificada se han propuesto funciones de vulnerabilidad que dependen de la velocidad pico de partículas, parámetro que puede estimarse directamente de los cálculos de amenaza. Para el presente caso es necesario transformar el parámetro de amenaza en términos de la aceleración máxima del terreno correspondiente.

Las funciones de vulnerabilidad para este tipo de componentes deben tener en cuenta el hecho que una determinada falla de uno de estos elementos implica la reparación de un tramo de tubería del orden de 6m. Esto obliga a estimar los costos unitarios de eventual reparación de un daño característico y aplicarlo al número total esperado de daños o fallas por unidad de longitud de tubería.

De la referencia [5.1] se han seleccionado algunas curvas generales de fragilidad la cual se han utilizado como referencia para proponer Figura 4-4.

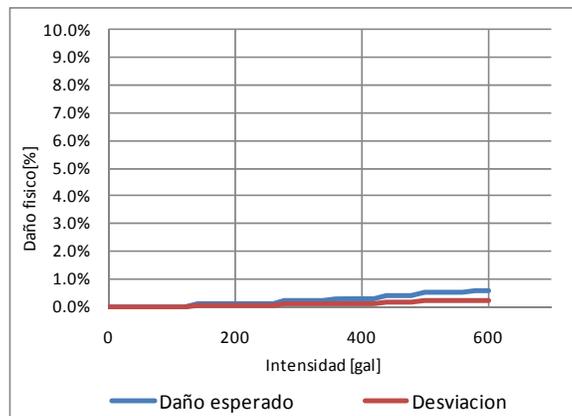


Figura 4-4
Función de vulnerabilidad para tuberías

4.5 Aeropuertos

El comportamiento de las construcciones de aeropuertos se caracteriza en general por el comportamiento de edificaciones de altura intermedia (del orden de unos 5 pisos) con sistema estructurales en pórticos de concreto reforzado o sistemas de construcciones de grandes luces tipo bodega o hangar. Ante las grandes incertidumbres asociadas a la determinación de este tipo de comportamientos, se supone un comportamiento característico de edificaciones de vulnerabilidad intermedia como el que se ilustra en la Figura 4-5 en términos del valor esperado de la pérdida y la varianza correspondiente.

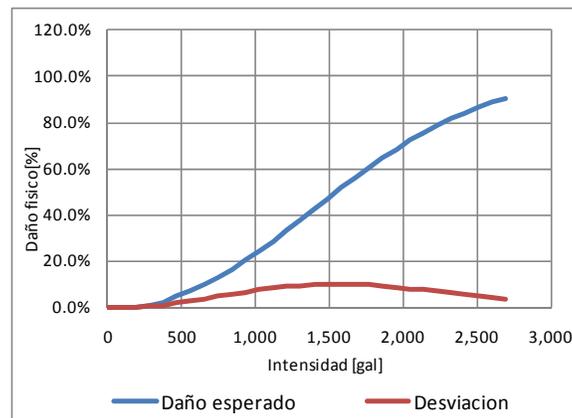


Figura 4-5
Función de vulnerabilidad para aeropuertos

4.6 Muelles

El comportamiento de las construcciones de muelles también resulta difícil de caracterizar en general. Sin embargo se puede suponer un comportamiento de un sistema aporticado de un piso de altura apoyado sobre pilotes y con relativa buena rigidez. En general son elementos de concreto reforzado con un sistema de placa que funciona a manera de diafragma rígido. A pesar de tratarse de estructuras bien diseñadas y construidas en general con buenos materiales, su comportamiento esperado no es el mejor debido principalmente a los proceso de deterioro a que están sometidos por su contacto directo con agua marina y al poco mantenimientos que normalmente se le da a este tipo de estructuras. Se adopta en el presente caso la función de vulnerabilidad que se ilustra en la Figura 4-6 en términos del valor esperado de la pérdida y la varianza correspondiente.

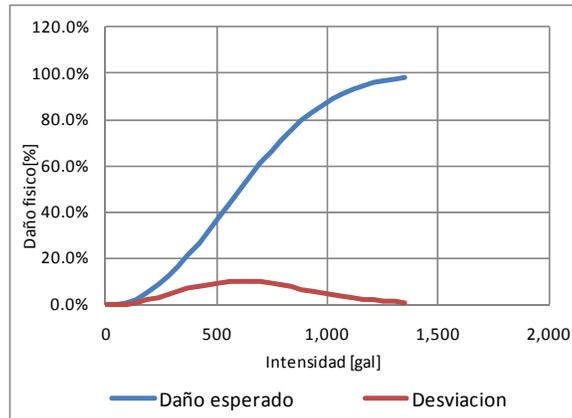


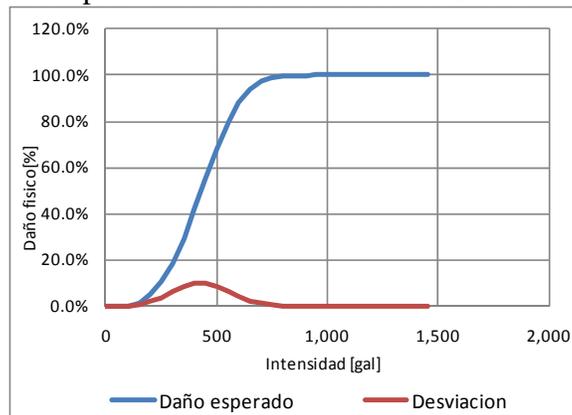
Figura 4-6
Función de vulnerabilidad para muelles

4.7 Puentes urbanos, nacionales vías principales y secundarias

En general no se especifican funciones de vulnerabilidad directa para vías en términos de amenaza sísmica debido a que el principal efecto de un sismo estaría asociado a fenómenos de estabilidad de laderas o de fenómenos asociados como licuación de suelos, los cuales no se consideran en el presente análisis.

El riesgo asociado del sector vial en relación a la amenaza sísmica se concentra entonces en los puentes. El comportamiento esperado de puentes de cierta antigüedad no es muy bueno debido en general a la ausencia de llaves de cortante y anclajes que limitan los desplazamientos sísmicos del tablero con respecto a las pilas de soporte y que son en general las principales fuentes de daño en puentes de concreto reforzado. Para puentes especiales la vulnerabilidad puede ser en general menor debido a la mayor calidad de los diseños aunque, por la antigüedad general, los diseños sísmoresistentes solo eran considerados en la región como un componente secundario del proceso de diseño y en muchos casos no era tenido en cuenta.

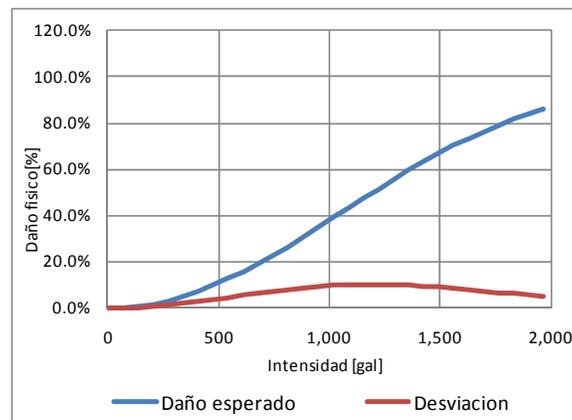
Las anteriores consideraciones llevan a la utilización de la función propuesta en la Figura 4-7 en términos del valor esperado de la pérdida y la varianza correspondiente y que represente en general un comportamiento de vulnerabilidad relativamente alto.



*Figura 4-7
Función de vulnerabilidad para puentes*

4.8 Plantas térmicas y geotérmicas

El comportamiento de las construcciones dominantes en las plantas térmicas y geotérmicas, es decir las que acumulan el mayor valor expuesto, corresponden por lo general a construcciones industriales de varios pisos de altura con contenidos importantes tales como equipos especiales tipo turbinas, calderas, generadores y demás. Estas construcciones pueden caracterizarse mediante edificaciones de concreto reforzado o acero arriostradas horizontalmente, con buenas calidades constructivas, buena calidad técnica, buen control de calidad y mantenimiento y relativo buen comportamiento esperado en caso de sismo, o sea baja vulnerabilidad sísmica relativa. Se adopta la función que se ilustra en la Figura 4-8 en términos del valor esperado de la pérdida y la varianza correspondiente.



*Figura 4-8
Función de vulnerabilidad para plantas térmicas de generación eléctrica*

4.9 Sector de hidrocarburos

Para este sector se considera de manera global una función de vulnerabilidad de construcciones industriales de relativa baja vulnerabilidad sísmica, tal como se ilustra en la Figura 4-9 en términos del valor esperado de la pérdida y la varianza correspondiente.

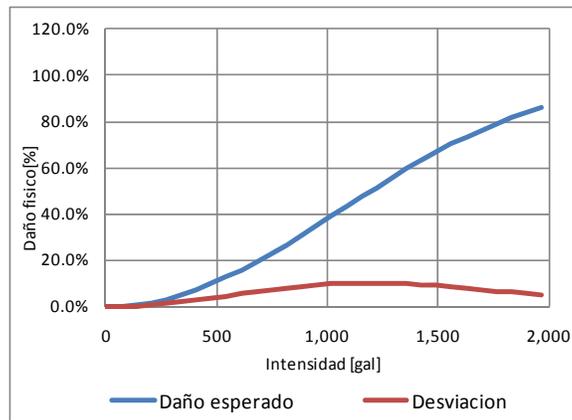


Figura 4-9
Función de vulnerabilidad para tuberías

ANEXO ERN-CAPRA-T2-2-1
Resumen de la información de parámetros asignados a cada
tipo constructivos característico
