

**DESARROLLO DE CAPACIDADES NACIONALES PARA
AUMENTAR LA RESILIENCIA DE EDIFICIOS DE CONCRETO Y
MAMPOSTERIA CON UN ENFOQUE DE DISEÑO POR
DESEMPEÑO**

**REVISIÓN DE LA LITERATURA Y DEL ESTADO DEL ARTE DE
METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN POST-SÍSMICA**

**PREPARADO PARA EL:
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACyT)**

Sergio M. Alcocer Martínez de Castro

Rubén Bautista Monroy

Gianella A. Valencia Ronquillo

Proyecto CONACyT-FORDECyT no. 297246

Mayo de 2019



REVISIÓN DE LA LITERATURA Y DEL ESTADO DEL ARTE DE METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN POST-SÍSMICA

RESUMEN

En el presente informe se recopilan y describen las metodologías de evaluación post-sísmica que han sido desarrolladas en México y en otros países, con la finalidad de proponer recomendaciones para el desarrollo de una metodología actualizada de evaluación post-sísmica para México. En algunos casos, las metodologías son de aplicación antes de un sismo, para determinar la vulnerabilidad o el riesgo de una estructura. El estado del arte servirá como referencia para reconocer lo que se ha hecho y lo que falta por hacer o mejorar. A continuación, se detalla la organización del documento.

En el Capítulo 1, se establecen las consideraciones generales para estandarizar las fases de aplicación y los niveles de evaluación de las metodologías descritas en este documento con el objetivo de facilitar la comprensión y poder más adelante, establecer relaciones entre ellas. Adicionalmente, se definen los objetivos y los alcances de este informe.

En el Capítulo 2, se describen las metodologías mexicanas de evaluación post-sísmica desarrolladas por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (II-UNAM), por el Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM), por el Instituto para la Seguridad de las Construcciones en la Ciudad de México (ISC-CDMX), por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Para cada metodología se detalla su evolución en el tiempo, la fase de aplicación, los niveles de análisis, los objetivos, el procedimiento de ejecución, los atributos solicitados, los resultados obtenidos, las limitaciones, el costo relativo, la precisión y los anexos correspondientes.

En el Capítulo 3, se describen las metodologías de evaluación post-sísmica desarrolladas en Estados Unidos de América, Grecia, India, Japón, Nueva Zelanda y Turquía. Para cada metodología se detalla su evolución el tiempo, la fase de aplicación, los niveles de análisis, los objetivos, el procedimiento de ejecución, los atributos solicitados, los resultados obtenidos, las limitaciones, el costo relativo, la precisión y los anexos correspondientes.

En el Capítulo 4 se comparan las metodologías estudiadas de acuerdo con el tipo de presentación, por tipo de estructuras aplicables, por atributos solicitados, por niveles de seguridad, de daño o de vulnerabilidad, por el nivel de pericia y de conocimiento de los evaluadores, por el tiempo de ejecución y por costos relativos.

En el Capítulo 5 se proponen las recomendaciones para desarrollar una metodología actualizada de evaluación post-sísmica para México, derivadas del estudio del estado del arte mundial. Finalmente, en el Capítulo 6 se presentan las referencias estudiadas para el desarrollo de este documento.

CONTENIDO

RESUMEN.....	ii
CONTENIDO	iii
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABLAS.....	ix
1 CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1-1
2.1 CONSIDERACIONES GENERALES.....	1-1
2.2 OBJETIVOS	1-2
2.3 ALCANCE.....	1-2
2 CAPÍTULO 2 Metodologías mexicanas	2-3
2.4 INTRODUCCIÓN.....	2-3
2.5 METODOLOGÍA II-UNAM / SMIS / SOS.....	2-3
2.5.1 Niveles de análisis.....	2-3
2.5.2 Objetivos.....	2-3
2.5.3 Procedimiento.....	2-4
2.5.4 Atributos	2-18
2.5.5 Resultados.....	2-20
2.5.6 Limitaciones y precisión.....	2-21
2.6 METODOLOGÍA CICM.....	2-22
2.6.1 Niveles de análisis.....	2-22
2.6.2 Objetivos.....	2-22
2.6.3 Procedimiento.....	2-22
2.6.4 Atributos	2-26
2.6.5 Resultados.....	2-27
2.6.6 Limitaciones y precisión.....	2-27
2.7 METODOLOGÍA ISC-CDMX	2-27
2.7.1 Niveles de análisis.....	2-27
2.7.2 Objetivos.....	2-28
2.7.3 Procedimiento.....	2-28
2.7.4 Atributos	2-31
2.7.5 Resultados.....	2-32
2.7.6 Limitaciones y precisión.....	2-32
2.8 METODOLOGÍA CENAPRED	2-32
2.8.1 Niveles de análisis.....	2-33
2.8.2 Objetivos.....	2-33
2.8.3 Procedimiento.....	2-33
2.8.4 Atributos	2-38
2.8.5 Resultados.....	2-40
2.8.6 Limitaciones y precisión.....	2-40
2.9 METODOLOGÍA UAM 1987	2-40
2.9.1 Niveles de análisis.....	2-41
2.9.2 Objetivos.....	2-41
2.9.3 Procedimiento.....	2-41

2.9.4	Resultados.....	2-48
2.9.5	Limitaciones y precisión.....	2-49
2.10	METODOLOGÍA UAM 2009	2-50
2.10.1	Niveles de análisis	2-50
2.10.2	Objetivos.....	2-50
2.10.3	Procedimiento.....	2-51
2.10.4	Resultados.....	2-56
2.10.5	Limitaciones y precisión.....	2-56
2.11	METODOLOGÍA UAM 2012	2-56
2.11.1	Niveles de análisis	2-56
2.11.2	Objetivos.....	2-56
2.11.3	Procedimiento.....	2-56
2.11.4	Resultados.....	2-58
2.11.5	Limitaciones y precisión.....	2-58
3	CAPÍTULO 3 METODOLOGÍAS DE OTROS PAÍSES	3-59
3.1	INTRODUCCIÓN.....	3-59
3.2	ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA - METODOLOGÍA ATC-20	3-59
3.2.1	Niveles de análisis	3-59
3.2.2	Objetivos.....	3-59
3.2.3	Procedimiento.....	3-59
3.2.4	Atributos	3-68
3.2.5	Resultados.....	3-70
3.2.6	Limitaciones y precisión.....	3-70
3.3	ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA - METODOLOGÍA FEMA P-154	3-70
3.3.1	Niveles de análisis	3-71
3.3.2	Objetivos.....	3-72
3.3.3	Procedimiento.....	3-72
3.3.4	Atributos	3-75
3.3.5	Resultados.....	3-76
3.3.6	Limitaciones y precisión.....	3-76
3.4	GRECIA – METODOLOGÍA DE DEMARTINOS Y DRITSOS, 2006	3-77
3.4.1	Niveles de análisis	3-77
3.4.2	Objetivos.....	3-77
3.4.3	Procedimiento.....	3-78
3.4.4	Resultados.....	3-81
3.4.5	Limitaciones y precisión.....	3-82
3.5	GRECIA – METODOLOGÍA DE PARDALOPOULOS ET AL., 2013.....	3-84
3.5.1	Niveles de análisis	3-84
3.5.2	Objetivos.....	3-84
3.5.3	Procedimiento.....	3-85
3.5.4	Resultados.....	3-92
3.5.5	Limitaciones y precisión.....	3-92
3.6	GRECIA – METODOLOGÍA DE PARDALOPOULOS ET AL., 2018.....	3-93
3.6.1	Niveles de análisis	3-93
3.6.2	Objetivos.....	3-93
3.6.3	Procedimiento.....	3-94
3.6.4	Resultados.....	3-103
3.6.5	Limitaciones y precisión.....	3-103
3.7	GRECIA – METODOLOGÍA DE PARDALOPOULOS Y PANTAZOPOULOU, 2019	3-103
3.7.1	Niveles de análisis	3-103
3.7.2	Objetivos.....	3-103
3.7.3	Procedimiento.....	3-104
3.7.4	Resultados.....	3-113
3.7.5	Limitaciones y precisión.....	3-113
3.8	GRECIA – METODOLOGÍA DE PARDALOPOULOS Y LEKIDIS, 2019	3-113

3.8.1	Niveles de análisis.....	3-114
3.8.2	Objetivos.....	3-114
3.8.3	Procedimiento.....	3-114
3.8.4	Resultados.....	3-125
3.8.5	Limitaciones y precisión.....	3-125
3.9	INDIA - METODOLOGÍA DE JAIN ET AL., 2010.....	3-125
3.9.1	Niveles de análisis.....	3-126
3.9.2	Objetivos.....	3-126
3.9.3	Procedimiento.....	3-126
3.9.4	Resultados.....	3-127
3.9.5	Limitaciones y precisión.....	3-128
3.10	JAPÓN - METODOLOGÍA JBDPC.....	3-128
3.10.1	Niveles de análisis.....	3-128
3.10.2	Objetivos.....	3-129
3.10.3	Procedimiento.....	3-130
3.10.4	Resultados.....	3-143
3.10.5	Limitaciones y precisión.....	3-144
3.11	NUEVA ZELANDA - METODOLOGÍA MBIE.....	3-144
3.11.1	Niveles de análisis.....	3-145
3.11.2	Objetivos.....	3-146
3.11.3	Procedimiento.....	3-146
3.11.4	Atributos.....	3-157
3.11.5	Resultados.....	3-158
3.11.6	Limitaciones y precisión.....	3-161
3.12	TURQUÍA – METODOLOGÍA DE HASSAN Y SOZEN, 1997.....	3-161
3.12.1	Niveles de análisis.....	3-161
3.12.2	Objetivos.....	3-161
3.12.3	Procedimiento.....	3-161
3.12.4	Resultados.....	3-163
3.12.5	Limitaciones y precisión.....	3-164
3.13	TURQUÍA – METODOLOGÍA DE AHMET YAKUT, 2004.....	3-166
3.13.1	Niveles de análisis.....	3-166
3.13.2	Objetivos.....	3-166
3.13.3	Procedimiento.....	3-166
3.13.4	Resultados.....	3-169
3.13.5	Limitaciones y precisión.....	3-169
3.14	TURQUÍA - METODOLOGÍA DE SUCUOĞLU ET AL., 2007.....	3-171
3.14.1	Niveles de análisis.....	3-171
3.14.2	Objetivos.....	3-171
3.14.3	Procedimiento.....	3-171
3.14.4	Resultados.....	3-174
3.14.5	Limitaciones y precisión.....	3-174
3.15	TURQUÍA - METODOLOGÍA DE SUCUOĞLU ET AL., 2015.....	3-174
3.15.1	Niveles de análisis.....	3-175
3.15.2	Objetivos.....	3-175
3.15.3	Procedimiento.....	3-175
3.15.4	Resultados.....	3-178
3.15.5	Limitaciones y precisión.....	3-178
4	CAPÍTULO 4.....	4-180
	COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS ESTUDIADAS.....	4-180
4.1	INTRODUCCIÓN.....	4-180
4.2	POR TIPO DE PRESENTACIÓN.....	4-180
4.3	POR TIPO DE MÉTODO.....	4-182

4.4	POR TIPO DE ESTRUCTURAS APLICABLES.....	4-184
4.5	POR TIPO DE ATRIBUTOS SOLICITADOS	4-186
4.6	POR TIPO DE RESULTADOS OBTENIDOS	4-189
4.7	POR TIPO DE PERFIL DE EVALUADORES	4-191
4.8	POR TIEMPO DE EJECUCIÓN Y COSTOS RELATIVOS	4-193
5	CAPÍTULO 5	5-196
	RECOMENDACIONES PARA UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN POST-SÍSMICA EN MÉXICO	5-196
5.1	INTRODUCCIÓN.....	5-196
5.2	OBJETIVOS	5-196
5.2.1	Preguntas por responder por la metodología de evaluación	5-196
5.2.2	Objetivos de una metodología de evaluación	5-197
5.3	PROPUESTA CONCEPTUAL DE UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN POST-SÍSMICA DE EDIFICIOS EN MÉXICO.....	5-197
5.3.1	Nivel N1 – Evaluación Rápida	5-198
5.3.2	Nivel N2 – Evaluación Intermedia.....	5-198
5.3.3	Nivel N1' (N1+N2).....	5-199
5.3.4	Nivel N3 – Evaluación Profunda.....	5-199
5.4	METODOLOGÍAS APROPIADAS PARA MÉXICO.....	5-199
6	CAPÍTULO 6	6-202
	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍAS.....	6-202

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.2.1 Formato de evaluación rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995).....	2-5
Figura 2.2.2 Formato de evaluación rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995) (continuación)	2-6
Figura 2.2.3 Aviso “Habitable” para evaluación rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)	2-7
Figura 2.2.4 Aviso “Cuidado” para evaluación rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)	2-7
Figura 2.2.5 Aviso “Insegura” para evaluación rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)	2-7
Figura 2.2.6 Formato de evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)	2-13
Figura 2.2.7 Formato de evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995) (continuación)	2-14
Figura 2.2.8 Formato de evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995) (continuación)	2-15
Figura 2.2.9 Formato de evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995) (continuación)	2-16
Figura 2.2.10 Aviso “Habitable” para evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)	2-17
Figura 2.2.11 Aviso “Cuidado” para evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)	2-17
Figura 2.2.12 Aviso “Insegura” para evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)	2-17
Figura 2.3.1 Formato de evaluación rápida del CICM (2011)	2-24
Figura 2.3.2 Formato de evaluación rápida del CICM (2011) (continuación)	2-25
Figura 2.4.1 Formato de evaluación rápida del ISC-CDMX (2019).....	2-29
Figura 2.4.2 Formato de evaluación rápida del ISC-CDMX (2019) (continuación).....	2-30
Figura 2.5.1 Formato de captura de datos del CENAPRED (2011).....	2-34
Figura 2.5.2 Formato de captura de datos del CENAPRED (2011) (continuación)	2-35
Figura 2.5.3 Formato de captura de datos del CENAPRED (2011) (continuación)	2-36
Figura 2.5.4 Formato de captura de datos del CENAPRED (2011) (continuación)	2-37
Figura 2.6.1 Resistencias máximas A, B y C de elementos estructurales de la metodología UAM (1987)	2-45
Figura 3.2.1 Formato de evaluación rápida de la metodología del ATC-20 (2005).....	3-64
Figura 3.2.2 Etiqueta de “Inspeccionado” de la metodología del ATC-20 (2005)	3-65
Figura 3.2.3 Etiqueta “Uso Restringido” de la metodología del ATC-20 (2005)	3-65
Figura 3.2.4 Etiqueta “Inseguro” de la metodología del ATC-20 (2005)	3-65
Figura 3.2.5 Formato de evaluación detallada de la metodología del ATC-20 (2005)	3-66
Figura 3.2.6 Formato de evaluación detallada de la metodología del ATC-20 (2005) (continuación)	3-67
Figura 3.3.1 Formato de evaluación de nivel 1 para zonas de alta sismicidad de la metodología de FEMA P-154 (2015)	3-73
Figura 3.3.2 Formato de evaluación de nivel 2 para zonas de alta sismicidad de la metodología de FEMA P-154 (2015)	3-74
Figura 3.4.1 Representación del sistema de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006).....	3-77

Figura 3.4.2 Funciones paramétricas para las variables de entrada de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006) (continuación)	3-80
Figura 3.4.3 Funciones paramétricas para las variables de entrada de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006) (continuación)	3-81
Figura 3.4.4 Funciones paramétricas para las variables intermedias de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006).....	3-81
Figura 3.4.5 Función paramétrica para la variable de salida de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006)	3-82
Figura 3.4.6 Resultados obtenidos antes y después del entrenamiento del sistema de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006)	3-84
Figura 3.5.1 Relación entre el índice de rigidez geométrica y la demanda de distorsión para el primer nivel (Metodología de Paradalopoulos et al., 2013).....	3-88
Figura 3.5.2 Mecanismos de falla considerados en la metodología de Paradalopoulos et al. (2013) 3-89	
Figura 3.6.1 Mecanismos de falla considerados en la metodología de Paradalopoulos et al. (2018) 3-95	
Figura 3.6.2 Formato de la metodología de Pardalopoulos et al. (2018)	3-102
Figura 3.7.1 Diagonales a compresión durante la deformación lateral (Metodología de Pardalopoulos y Pantazopoulou, 2019).....	3-107
Figura 3.7.2 Diagrama de momentos y mecanismos de falla (Metodología Pardalopoulos y Pantazopoulou, 2019).....	3-108
Figura 3.8.1 Aproximaciones de la configuración deformada de edificios para la metodología Pardalopoulos y Lekidis (2019)	3-115
Figura 3.8.2 Diagonales a compresión durante la deformación lateral (Metodología Pardalopoulos y Lekidis, 2019)	3-117
Figura 3.10.1 Altura libre de columna h_0 de la metodología JBDPC (2005).....	3-132
Figura 3.10.2 Tipos de salientes de la metodología JBDPC (2005).....	3-139
Figura 3.10.3 Tipos de estrechamientos de la metodología JBDPC (2005).....	3-140
Figura 3.10.4 Esquema de excentricidad de la metodología JBDPC (2005)	3-141
Figura 3.11.1 Formato de evaluación rápida habitacional de la metodología MBIE (2014)	3-147
Figura 3.11.2 Formato de evaluación rápida habitacional de la metodología MBIE (2014) (continuación)	3-148
Figura 3.11.3 Formato de evaluación de nivel 1 de la metodología MBIE (2014).....	3-150
Figura 3.11.4 Formato de evaluación de nivel 1 de la metodología MBIE (2014) (continuación)....	3-151
Figura 3.11.5 Formato de evaluación de nivel 2 de la metodología MBIE (2014).....	3-153
Figura 3.11.6 Formato de evaluación de nivel 2 de la metodología MBIE (2014) (continuación)....	3-154
Figura 3.11.7 Cartel “Puede ser usado” de la metodología MBIE (2014)	3-155
Figura 3.11.8 Cartel “Acceso Restringido” de la metodología MBIE (2014).....	3-155
Figura 3.11.9 Cartel “Entrada Prohibida” de la metodología MBIE (2014)	3-156
Figura 3.12.1 Límites 1 y 2 para la metodología de Hassan y Sozen (1997).....	3-163
Figura 3.12.2 Distribución de número de niveles en 46 edificios para la calibración de la metodología de Hassan y Sozen (1992)	3-164
Figura 3.12.3 Configuración tipo de la planta de los edificios empleados en la calibración de la metodología de Hassan y Sozen (1992)	3-165

Figura 3.13.1 Cociente entre V_c y V_y para la metodología Ahmet Yakut, 2004.....	3-168
Figura 3.13.2 Distribución del daño comparado con el límite de 1.2 para la metodología de Ahmet Yakut (2004)	3-170
Figura 3.14.1 Edificio con discontinuidades en elevación, a) fachada y b) planta (Metodología de Sucuoğlu et al., 2007).....	3-172
Figura 3.15.1 Plano en planta de un edificio empleado en la metodología de Sucuoğlu et al. (2015)	3-179

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.2.1 Condiciones de evaluación para la metodología rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995).....	2-8
Tabla 2.2.2 Criterios de regularidad vertical para la metodología detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995).....	2-9
Tabla 2.2.3 Criterios de regularidad en planta para la metodología detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995).....	2-10
Tabla 2.2.4 Intervalos de asentamiento y emersión para la metodología detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995).....	2-10
Tabla 2.2.5 Intervalos de inclinación para la metodología detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995).....	2-10
Tabla 2.2.6 Intervalos de porcentajes de elementos con grado de daño IV y V para la metodología detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)	2-11
Tabla 2.2.7 Criterios para determinar el grado de daño de elementos del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995).....	2-11
Tabla 2.3.1 Condiciones de evaluación para la metodología rápida del CICM (2011)	2-26
Tabla 2.4.1 Condiciones de evaluación para la metodología rápida	2-31
Tabla 2.6.1 Equivalencia numérica “C” de la metodología UAM (1987)	2-43
Tabla 2.6.2 Valores de factores de participación de la metodología UAM (1987).....	2-45
Tabla 2.6.3 Valores propuestos para los esfuerzos resistentes de la metodología UAM (1987) ...	2-46
Tabla 2.6.4 Valores propuestos de los factores de corrección de la metodología UAM (1987)	2-46
Tabla 2.6.5 Clasificación de daños causados por sismo de la metodología UAM (1987)	2-47
Tabla 2.6.6 Nivel de seguridad “S” de la metodología UAM (1987)	2-48
Tabla 2.6.7 Valores propuestos de nivel de intensidad de la metodología UAM (1987).....	2-49
Tabla 2.6.8 Categorías de seguridad de la metodología UAM (1987).....	2-49
Tabla 2.7.1 Coeficientes para definir el índice estructural de la metodología UAM (2009)	2-53
Tabla 2.7.2 Coeficientes para definir el índice de deterioro de la metodología UAM (2009)	2-54
Tabla 2.8.1 Coeficientes para definir el índice estructural de la metodología UAM (2012)	2-57
Tabla 2.8.2 Coeficientes para definir el índice de deterioro de la metodología UAM (2012)	2-58
Tabla 3.2.1 Criterios básicos de evaluación rápida de la metodología del ATC-20 (2005).....	3-60
Tabla 3.4.1 Intervalos de variables de entrada de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006) ..	3-78
Tabla 3.4.2 Variables intermedias agrupadas por variables de entrada de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006)	3-79
Tabla 3.6.1 Valores de Ω , $2\pi\Omega$, $\Delta\Phi_1$ y Φ_s para la metodología de Paradalopoulos et al. (2018).	3-99

Tabla 3.7.1 Expresiones para determinar la configuración deformada de la metodología de Pardalopoulos y Pantazopoulou (2019).....	3-105
Tabla 3.8.1 Expresiones para determinar la configuración deformada de la metodología Pardalopoulos y Lekidis (2019)	3-115
Tabla 3.8.2 valores de los coeficientes a_1 a_2 a_3 de la metodología de Pardalopoulos y Lekidis (2019)	3-124
Tabla 3.8.3 Criterios de reducción de la capacidad sísmica de la metodología de Pardalopoulos y Lekidis (2019)	3-124
Tabla 3.9.1 Valores del índice VS de la metodología de Jain et al., 2010.....	3-126
Tabla 3.9.2 Valores del índice BS de la metodología de Jain et al., 2010	3-127
Tabla 3.9.3 Valores del índice EPS de la metodología de Jain et al., 2010	3-127
Tabla 3.10.1 Clasificación de miembros verticales para la evaluación de primer nivel de la metodología JBDPC (2005)	3-130
Tabla 3.10.2 Clasificación de miembros verticales para la evaluación de segundo nivel de acuerdo con los modos de falla de la metodología JBDPC (2005).....	3-131
Tabla 3.10.3 Clasificación de miembros verticales para la evaluación de tercer nivel de acuerdo con los modos de falla de la metodología JBDPC (2005)	3-131
Tabla 3.10.4 Factor efectivo de resistencia ($F_1=0.8$) de la metodología JBDPC (2005)	3-133
Tabla 3.10.5 Factor efectivo de resistencia ($F_1>1.0$) de la metodología JBDPC (2005)	3-134
Tabla 3.10.6 Índice de ductilidad para el procedimiento de primer nivel de la metodología JBDPC (2005)	3-136
Tabla 3.10.7 Índice de ductilidad para el procedimiento de segundo nivel de la metodología JBDPC (2005)	3-137
Tabla 3.10.8 Valores de G_i y R_{1j} para el primer nivel de evaluación de la metodología JBDPC (2005)	3-137
Tabla 3.10.9 Valores de G_i y R_{1j} para el segundo y tercer nivel de evaluación de la metodología JBDPC (2005)	3-138
Tabla 3.10.10 Valores de α de la metodología JBDPC (2005).....	3-141
Tabla 3.10.11 Índice de edad T de la metodología JBDPC (2005).....	3-142
Tabla 3.13.1 Variables para el cálculo CA para la metodología Ahmet Yakut, 2004.....	3-169
Tabla 3.14.1 Grupos de registros de movimiento de terreno e intervalos de PGV para la metodología de Sucuoğlu et al. (2007).....	3-173
Tabla 3.14.2 Valores del índice IPS y de coeficientes de vulnerabilidad para la metodología de Sucuoğlu et al. (2007)	3-173
Tabla 3.14.3 Modificadores de coeficientes de vulnerabilidad para la metodología Sucuoğlu et al. (2007)	3-173
Tabla 3.14.4 Valores del índice EPS para la metodología Sucuoğlu et al. (2007)	3-174
Tabla 3.15.1 Valores del índice RI para la metodología de Sucuoğlu et al. (2015).....	3-178
Tabla 4.2.1 Comparación por tipo de presentación.....	4-181
Tabla 4.3.1 Comparación por tipo de método	4-183
Tabla 4.4.1 Comparación por tipo de estructura aplicable.....	4-185
Tabla 4.5.1 Comparación por atributos solicitados	4-187
Tabla 4.6.1 Comparación por tipo de resultados obtenidos	4-190
Tabla 4.7.1 Comparación por tipo de perfil de evaluadores.....	4-192
Tabla 4.8.1 Comparación por tiempo de ejecución.....	4-194
Tabla 4.8.2 Comparación por costo relativo	4-195

Tabla 5.4.1 Metodologías recomendadas como referentes para la metodología de evaluación post-sísmica de edificios del grupo B de México.....	5-200
Tabla 5.4.2 Metodologías recomendadas como referentes para la metodología de evaluación post-sísmica de edificios del grupo A de México	5-201

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Con el objetivo de estandarizar los conceptos sobre las fases de aplicación y los niveles de evaluación de las metodologías de evaluación post-sísmica presentadas a lo largo de este documento, en esta sección se establecen las definiciones respectivas.

a. Fases de aplicación

Las fases de aplicación de cada metodología se refieren al instante de ejecución para el cual fue desarrollada. De acuerdo con lo anterior, se consideran dos fases de aplicación, la primera es una fase pre-sismo y la segunda es una fase post-sismo. Se considera que la fase es pre-sismo cuando corresponde a una metodología de tipo preventiva debido a que se aplica antes de la ocurrencia de un evento sísmico y su objetivo principal es identificar posibles vulnerabilidades estructurales para establecer el riesgo sísmico de una estructura. Si la fase es post-sismo corresponde a una metodología de tipo reactiva debido a que se aplica inmediatamente después de la ocurrencia de un evento sísmico y su objetivo principal es determinar el nivel de daño en una estructura para clasificar su funcionalidad y su posible ocupación y uso. También permite estimar la vulnerabilidad estructural asociada al daño presentado y determina su capacidad remanente ante cargas laterales.

b. Niveles de evaluación

Los niveles de evaluación de una metodología dependen del nivel de detalle o de análisis que se lleva a cabo en una evaluación, del tiempo de ejecución y de obtención de resultados, y de la pericia o juicio ingenieril que debe tener el inspector o evaluador. De acuerdo con lo anterior, se consideran cuatro niveles de evaluación, estos son:

- **Nivel 0:** Este nivel de evaluación corresponde únicamente a la fase pre-sismo y busca recopilar información preliminar de la estructura con el objetivo de identificar posibles vulnerabilidades e irregularidades de una estructura. El resultado de este nivel de evaluación permite definir cualitativamente las estructuras que son más propensas a experimentar daño en un evento sísmico. Este procedimiento se realiza en corto tiempo y sin necesariamente ingresar al edificio.
- **Nivel 1:** Este nivel de evaluación corresponde al primer nivel de las fases pre-sismo y post-sismo y buscan predecir el nivel de daño en el primer caso y en el segundo caso, definir el nivel de daño ante un evento sísmico. El resultado de este nivel de evaluación permite clasificar a las estructuras de acuerdo con su funcionalidad y posible ocupación. Este procedimiento se realiza en poco tiempo y sin necesariamente ingresar al edificio.
- **Nivel 2:** Este nivel de evaluación corresponde al segundo nivel de las fases pre-sismo y post-sismo y es aplicable, en principio, a estructuras que requieren una evaluación más detallada.

El análisis que se realiza en este nivel considera la resolución de ecuaciones que involucra principalmente la densidad de los elementos que aportan de manera significativa a la rigidez y resistencia laterales de la estructura. El resultado de este nivel de evaluación permite establecer el nivel de seguridad y de vulnerabilidad sísmica de la estructura. Para este nivel de evaluación, se requiere mayor tiempo y se debe ingresar al edificio para complementar la información de la estructura.

- **Nivel 3:** Este nivel de evaluación corresponde al tercer paso de las fases pre-sismo y post-sismo, y es aplicable principalmente a estructuras que requieren una evaluación más profunda en la que se revisa el comportamiento sísmico de la estructura con base en análisis estructurales detallados conforme lo indican las normativas propias de cada país. El resultado de este análisis permite calcular la capacidad de una estructura e identificar aquellas estructuras que tienen la posibilidad de ser rehabilitadas o que en su defecto deben ser demolidas.

2.2 OBJETIVOS

Con la revisión del estado del arte mundial de las metodologías de evaluación post-sísmica se pretende:

- Aportar a la industria de la construcción con un documento que estudie la evolución en el tiempo de las metodologías de evaluación post-sísmica.
- Obtener datos relevantes acerca de los distintos enfoques teóricos y de las diferentes perspectivas metodológicas de evaluación post-sísmica
- Organizar el material existente para realizar una posterior comparación de las metodologías que conlleve a una mejor comprensión de éstas.
- Identificar aspectos positivos que pueden implantarse, así como, vacíos o necesidades para el desarrollo de una metodología actualizada de evaluación post-sísmica para México.

2.3 ALCANCE

Este informe implica una recopilación completa de carácter descriptiva, sinóptica y analítica para definir los aspectos positivos, los avances, las limitaciones, las dificultades y los vacíos que existen en el estado del arte mundial de las metodologías de evaluación post-sísmica con el objetivo de identificar los parámetros más relevantes en el comportamiento estructural ante sismos y los procedimientos que más se ajustan en la representación de la respuesta de edificios construidos en México.

Espacio dejado intencionalmente en blanco

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍAS MEXICANAS

2.4 INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se describen las metodologías mexicanas de evaluación post-sísmica desarrolladas por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (II-UNAM), por el Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM), por el Instituto para la Seguridad de las Construcciones en la Ciudad de México (ISC-CDMX), por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Para cada metodología se detalla su evolución el tiempo, la fase de aplicación, los niveles de análisis, los objetivos, el procedimiento de ejecución, los atributos solicitados, los resultados obtenidos, las limitaciones, el costo relativo, la precisión y los anexos correspondientes.

2.5 METODOLOGÍA II-UNAM / SMIS / SOS

El manual de “Evaluación Post-Sísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones” fue desarrollado en el año 1995 por el Dr. Mario Rodríguez del II-UNAM para la SMIS y para la Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México (SOS) (Rodríguez y Castrillón 1995). Posteriormente, en el año 1998, la SMIS publicó esta metodología. Con el transcurso del tiempo, el nivel de evaluación rápida de este manual ha sido adaptado por el CICM y el ISC-CDMX, la cual se basa en la primera versión de la metodología de Estados Unidos de América (ATC-20). Éstas últimas se detallan en los incisos 2.3, 2.4 y 3.2, respectivamente. La metodología II-UNAM / SMIS / SOS es aplicable únicamente para la Ciudad de México.

2.5.1 Niveles de análisis

El manual de evaluación post-sísmica tiene dos niveles de evaluación, un nivel de evaluación rápido y otro detallado, los mismos que, de acuerdo con las consideraciones generales de este documento, corresponden a la fase post-sismo y al nivel de evaluación de “Nivel 1”. En ambos niveles de evaluación se emplean formatos de inspección para la obtención de la clasificación de seguridad de la estructura.

2.5.2 Objetivos

Las metodología de evaluación rápida tiene como objetivo identificar el nivel de seguridad del edificio (“Habitable”, “Cuidado” e “Insegura”), con base en condiciones básicas de daño presentadas inmediatamente después de un evento sísmico.

Las metodología de evaluación detallada tiene como objetivo identificar el nivel de seguridad del edificio (“Habitable”, “Cuidado” e “Insegura”), con base en una aproximación razonable que considera el porcentaje de elementos dañados.

El empleo de la evaluación detallada está condicionado por el resultado obtenido de la evaluación rápida, de modo que, aquellas estructuras que hayan sido calificadas con niveles de seguridad “Cuidado” o “Insegura”, se les aplica la evaluación detallada. Con la excepción de que para estructuras del grupo A, inmediatamente se procede a realizar la evaluación detallada.

2.5.3 Procedimiento

2.5.3.1 Evaluación rápida

El procedimiento de evaluación rápida se basa en observar las condiciones de daño o aspectos de daño que individual o colectivamente sean suficientes para que la edificación se clasifique como “Cuidado” o “Insegura”.

Los inspectores deben revisar las evidencias de fallas en la estructura, como colapso parcial, inclinación, daño severo en muros, etc., así como, las condiciones del suelo alrededor de la edificación que podrían llevar a clasificarla como “Insegura”. La revisión de la edificación en la mayoría de los casos es exterior, con el objeto de reducir el tiempo de ejecución de esta evaluación.

Para establecer el nivel de seguridad de la edificación, a partir de la evaluación rápida se sugiere la siguiente secuencia de pasos:

1. Examinar el exterior de la estructura.
2. Observar el suelo alrededor de la estructura, para determinar la posible presencia de grietas, hundimientos, deslizamiento de talud o expansión del terreno.
3. Entrar en la edificación cuando esta no pueda ser observada adecuadamente desde el exterior, cuando haya dudas o se tenga conocimiento de problemas como caída de cielos rasos, de muros o de elementos estructurales dañados, etc. No se recomienda el ingreso en edificios obviamente inseguros.
4. Evaluar la estructura de acuerdo con los siete criterios básicos correspondientes a la evaluación rápida. Se debe recordar que el riesgo de colapso puede presentarse por el mal estado de edificaciones vecinas, por lo que se debe revisar si las salidas de la edificación son seguras.
5. Llenar el formato de evaluación rápida (figuras 2.2.1 y 2.2.2). En dicho formato se llena la información básica que ayuda a identificar las características de la edificación que se evalúa, el estado en que se encuentra y las conclusiones de esta evaluación.
6. Clasificar la edificación de acuerdo con los resultados de la evaluación.
7. Colocar avisos en las entradas de la edificación (figuras 2.2.3 a 2.2.5).
8. Explicar verbalmente a los ocupantes el significado de los avisos.
9. Restringir el acceso a las áreas inseguras mediante barreras o cintas que lleven la inscripción “Peligro”.

Espacio dejado intencionalmente en blanco

Forma para inspección postsísmica. Evaluación rápida			
Identificación del edificio			Zona _____
Dirección: _____			
Colonia: _____			
Número de niveles sobre el terreno (incluyendo azotea y mezanines)			
Sótanos	Si <input type="radio"/>	No <input type="radio"/>	Núm. _____ Desconocido <input type="radio"/>
Uso Casa habitación <input type="radio"/> Departamentos <input type="radio"/> Comercios <input type="radio"/> Oficinas públicas <input type="radio"/>			
Oficinas privadas <input type="radio"/> Industrias <input type="radio"/> Estacionamientos <input type="radio"/> Bodegas <input type="radio"/>			
Educación <input type="radio"/> Recreativo <input type="radio"/> Otro: _____			
Información adicional _____			
Instrucciones			
Revisar la edificación para las condiciones señaladas abajo. Con un <i>Sí</i> a cualesquiera de las preguntas 1,2,3,4,5, marcar la edificación como <i>Insegura</i> . Con un <i>Sí</i> a las preguntas 6 o 7 marcar <i>Área insegura</i> y colocar barreras alrededor de la zona en peligro. Si en esta evaluación existen dudas se debe marcar <i>Cuidado</i> .			
Estado de la edificación			
	Si	No	Existen dudas
1) Derrumbe total o parcial, edificación separada de su cimentación o falla de esta. Hundimiento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Inclinación notoria de la edificación o de algún entrepiso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Daño en miembros estructurales (columnas, vigas, muros)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Daño severo en muros no estructurales, escaleras, etc	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) Grietas, movimiento del suelo o deslizamiento de talud	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6) Pretilos, balcones u otros objetos en peligro de caer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7) Otros peligros (derrames tóxicos, líneas rotas, etc).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 2.5.1 Formato de evaluación rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

Clasificación global

Habitable

Inspección exterior únicamente

Inspección interior y exterior

Cuidado

Insegura

Inspectores (Indicar profesión)

1 _____

2 _____

3 _____

Fecha de inspección _____

Recomendaciones

No se requiere revisión futura

Es necesaria evaluación detallada (señalar) Estructural Geotécnica Otra _____

Área insegura (colocar barreras en las siguientes áreas) _____

Otros (remover elementos en peligro de caer, apuntalar, etc) _____

Comentarios

Explicar los motivos principales de la clasificación _____

Figura 2.5.2 Formato de evaluación rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995) (continuación)

<p>H A B I T A B L E (Evaluación rápida)</p> <p>Esta edificación ha sido inspeccionada y se puede ocupar. Favor de informar a las autoridades cualquier condición insegura.</p> <p>Comentarios: _____ _____</p> <p>Dirección: _____</p> <p>Inspectores: _____</p> <p>Se efectuó revisión interior Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/> Fecha _____</p>

Figura 2.5.3 Aviso “Habitable” para evaluación rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

<p>C U I D A D O (Evaluación rápida)</p> <p>Esta edificación se encuentra dañada y su seguridad está en duda. Prohibida la entrada a personas no autorizadas. Entre únicamente por emergencia y bajo su propio riesgo.</p> <p>Comentarios: _____ _____</p> <p>Dirección: _____</p> <p>Inspectores: _____</p> <p>Se efectuó revisión interior Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/> Fecha _____</p>
--

Figura 2.5.4 Aviso “Cuidado” para evaluación rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

<p>I N S E G U R A (Evaluación rápida)</p> <p>Esta edificación se encuentra seriamente dañada; es insegura. Peligro de lesiones o muerte. No entrar u ocupar.</p> <p>Comentarios: _____ _____</p> <p>Dirección: _____</p> <p>Inspectores: _____</p> <p>Se efectuó revisión interior Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/> Fecha _____</p>

Figura 2.5.5 Aviso “Insegura” para evaluación rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

Para clasificar la edificación de acuerdo con su nivel de seguridad, se evalúan las siete condiciones de la tabla 2.2.1, de forma cualitativa mediante “Sí”, “No” o “Existen dudas”. Cuando se marca “Sí” a las condiciones 1, 2, 3, 4 o 5, la edificación es “Insegura”. Cuando se marca “Sí” a las condiciones 6 o 7 la edificación tiene un “Área insegura”. Si existen dudas, el nivel de seguridad es “Cuidado”.

Tabla 2.5.1 Condiciones de evaluación para la metodología rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

1	Derrumbe total o parcial, edificación separada de su cimentación o falla de esta. Hundimiento
2	Inclinación notoria de la edificación o de algún entrepiso
3	Daño en miembros estructurales (columnas, vigas, muros)
4	Daño severo en muros no estructurales, escaleras, etc.
5	Grietas, movimiento del suelo o deslizamiento de talud
6	Pretilos, balcones u otros objetos en peligro de caer
7	Otros peligros (derrames tóxicos, líneas rotas, etc.)

Las edificaciones clasificadas con “Cuidado” o “Insegura” deben ser sometidas a la evaluación posterior denominada evaluación detallada. Este requisito y el tipo de inspección necesaria (estructural, geotécnica, eléctrica u otra) deben ser señalados en el formato de inspección.

2.5.3.2 Evaluación detallada

La evaluación detallada consiste en examinar minuciosamente la edificación, en el interior y en el exterior, en particular, su sistema estructural ya que se pretende establecer si existe la posibilidad de colapso o peligro de caída de elementos estructurales o no estructurales. Como se mencionó anteriormente, el colapso del edificio puede presentarse por falla de la estructura en sí o por el colapso de edificaciones vecinas.

Para examinar detalladamente una edificación dañada, en su exterior e interior, deben seguirse los pasos descritos a continuación.

1. Examinar la edificación desde el exterior para identificar el sistema estructural y verificar si existen discontinuidades verticales o si la estructura tiene una configuración irregular en planta (tablas 2.2.2 y 2.2.3).
2. Evaluar los daños en el exterior relacionados con las grietas en el suelo, la inclinación del edificio y el asentamiento o la emersión de la estructura de acuerdo con las tabla 2.2.4 y 2.2.5. En construcciones aisladas se sugiere tomar como valores límite de asentamiento los propuestos para el caso de emersión. Los valores límite son aplicables para evaluar edificaciones situadas en las Zona III. En los casos de construcciones con problemas geotécnicos en las Zonas I y II se deben utilizar, a juicio del especialista en geotecnia, valores menores que los sugeridos.
3. Antes de entrar, se debe inspeccionar los elementos en peligro de caer y considerar el riesgo de colapso. No se debe entrar en edificaciones obviamente inseguras.
4. Examinar en el interior de la edificación los elementos expuestos del sistema de cimentación, para averiguar la posible existencia de daños estructurales, fracturas y asentamientos

- diferenciales. Así también, se deben revisar pisos y paredes para inspeccionar posibles grietas y expansiones del terreno. Observar la posible ocurrencia de inundación de la cimentación.
5. Examinar el sistema estructural resistente a cargas verticales, tratando de detectar evidencias de daños en columnas, losas, vigas y muros. Debe examinarse cada piso, así como sótanos, escaleras, cuartos de máquinas y otras áreas.
 6. Verificar el sistema resistente a cargas horizontales, tratando de identificar cualquier desplazamiento residual de entrepiso ya que es evidencia de que hay algún daño estructural.
 7. Evaluar el grado de daño estructural de la edificación, para lo cual se debe seleccionar la dirección principal más dañada del entrepiso. Se debe evaluar por separado columnas, vigas y muros exteriores e interiores y calcular los porcentajes de elementos con grados de daños denominados IV y V de acuerdo con la tabla 2.2.6. Si al evaluar el daño de entrepiso en una dirección principal, se encuentra que el daño de las vigas (o losas planas) que concurren en cada columna es más severo que el de la columna, el grado de daño de esta debe ser reemplazado por el de las vigas o losas. En este caso, el grado de daño de las vigas o losas concurrentes se define como el menor de los grados de daños individuales de estos elementos.
 8. Examinar si la estructura ha sido reparada después de sismos anteriores e indicar el tipo de reparación.
 9. Examinar la seguridad de los elementos no estructurales como: muros divisorios, cielos rasos, lámparas, cajón de ascensores, escaleras, tanques de agua, apéndices, etc. Se debe mencionar que el daño severo de elementos no estructurales no implica clasificar la estructura como “Insegura”. Generalmente, cuando la estructura es “Habitable”, sólo se deben restringir las “Áreas Inseguras”.
 10. Examinar la presencia de otros peligros como derrames, escape de gases tóxico u otros materiales peligrosos.
 11. Completar el formato de inspección (figuras 2.2.6 a 2.2.9).
 12. Clasificar y colocar el aviso respectivo en cada entrada de la edificación (figuras 2.2.10 a 2.2.12).
 13. Explicar verbalmente a los ocupantes el significado de los avisos.
 14. Hacer fotografías de los daños.

Para evaluar la regularidad vertical y en planta se deben revisar los siguientes criterios presentados en las tablas 2.2.2 y 2.2.3.

Tabla 2.5.2 Criterios de regularidad vertical para la metodología detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

Clasificación	Descripción
Buena	<ul style="list-style-type: none"> • Relación entre la altura del edificio y la dimensión menor en planta menor que 2.5 • No tiene alguna condición de clasificación mala
Intermedia	<ul style="list-style-type: none"> • Cae entre la clasificación buena y mala
Mala	<ul style="list-style-type: none"> • Relación entre la altura del edificio y la dimensión menor en planta mayor que 4 • Existencia de marcos y muros que no son continuos hasta la cimentación • Presencia de columnas cortas

	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de piso débil • Algún piso tiene un área mayor que la del piso inmediato inferior o menor que 70 %
--	---

Tabla 2.5.3 Criterios de regularidad en planta para la metodología detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

Clasificación	Descripción
Buena	<ul style="list-style-type: none"> • La distribución de masa con respecto a dos ejes ortogonales es aproximadamente simétrica en planta, y también lo son los muros y otros elementos resistentes • No tiene alguna condición de clasificación mala
Intermedia	<ul style="list-style-type: none"> • Cae entre la clasificación buena y mala
Mala	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene entrantes y salientes cuya dimensión excede del 30% de la dimensión de la planta, medida paralelamente a la dirección que se considera de la entrante o saliente • Aberturas en el diafragma mayores del 30% del área del piso • La relación largo a ancho de la base excede de 3 • Vigas importantes que no lleguen a las columnas

En las tablas 2.2.4 y 2.2.5 se presentan los intervalos para determinar la clasificación A, B o C para las condiciones de la inclinación de la edificación y del asentamiento y de emersión, respectivamente.

Tabla 2.5.4 Intervalos de asentamiento y emersión para la metodología detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

Asentamiento (S)	$S \leq 10 \text{ cm}$	Clasificación A
	$10 \text{ cm} < S \leq 20 \text{ cm}$	Clasificación B
	$S > 20 \text{ cm}$	Clasificación C
Emersión (E)	$E \leq 20 \text{ cm}$	Clasificación A
	$20 \text{ cm} < E \leq 30 \text{ cm}$	Clasificación B
	$E > 30 \text{ cm}$	Clasificación C

Tabla 2.5.5 Intervalos de inclinación para la metodología detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

Inclinación (a)	% inclinación $\leq a$	Clasificación A
	% inclinación $\leq 1.5 a$	Clasificación B
	% inclinación $> 1.5 a$	Clasificación C

En las expresiones anteriores a es la inclinación en porcentaje dada por la siguiente ecuación, donde H es la altura de la edificación en metros.

$$a = \frac{100}{100 + 3H}$$

En la tabla 2.2.6 se presentan los intervalos de porcentajes para determinar la clasificación A, B o C para las condiciones de elementos con grado de daño IV y V. Adicionalmente, en la tabla 2.2.7 se describen los criterios para determinar el grado de daño de miembros estructurales de concreto, de acero y de muros de mampostería.

Tabla 2.5.6 Intervalos de porcentajes de elementos con grado de daño IV y V para la metodología detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

Grado IV	< 10 %	Clasificación A
	10 % – 30 %	Clasificación B
	> 30 %	Clasificación C
Grado V	< 5 %	Clasificación A
	5 % – 15 %	Clasificación B
	> 15 %	Clasificación C

Tabla 2.5.7 Criterios para determinar el grado de daño de elementos del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

Grado	Estado de daño
Elementos de concreto	
I	Grietas pequeñas pero visibles sobre la superficie de concreto (grietas con ancho menor que 0.2 mm)
II	Grietas claramente visibles sobre la superficie de concreto (grietas con ancho entre 0.2 y 1.0 mm)
III	Agrietamiento local del recubrimiento del concreto (grietas con ancho entre 1.0 y 2.0 mm)
IV	Agrietamiento apreciable del concreto, pérdida del recubrimiento y presencia de barras expuestas
V	Barras de refuerzo pandeadas, núcleo del concreto agrietado, aplastamiento de la columna/muro y asentamiento o inclinación del sistema de piso
Elementos de acero	
IV	En vigas o columnas de marcos: Pandeo local, fractura o alguna evidencia de daños en secciones del elemento estructural fuera de zonas de posible formación de articulaciones plásticas
V	En vigas o columnas de marcos: Pandeo local, fractura o alguna evidencia de daños en secciones del elemento estructural fuera de zonas de posible formación de articulaciones plásticas En vigas de alma abierta de marcos: fractura o pandeo de alguna cuerda, montante o diagonal En uniones viga-columnas: pandeo local, fractura o alguna evidencia de daños, fractura de soldadura, tornillos o remaches faltantes o con algún tipo de daño Pandeo o fractura de elementos de contraventeo
Muros de mampostería	
I	Grietas pequeñas, difícilmente visibles sobre la superficie del muro. Grietas mínimas en castillos y dalas de confinamiento (grietas con anchos menores que 0.2 mm)

II	Grietas claramente visibles sobre la superficie del muro (grietas con anchos entre 0.2 y 1.0 mm)
III	Inicio de la formación de agrietamiento diagonal en muros confinados con castillos y dalas (grietas con anchos entre 1.0 y 3.0 mm)
IV	Agrietamiento diagonal en muros confinados con castillos y dalas o en muros de relleno ligados a marcos de concreto reforzado (grietas con anchos mayores a 3.0 mm) Inicio de la formación de agrietamiento diagonal en muros sin castillos y dalas
V	Desprendimiento de partes de piezas, aplastamiento local de la mampostería, prolongación del agrietamiento diagonal en castillo o en dalas (grietas con anchos mayores que 1.0 mm), agrietamiento diagonal en muros sin castillos y dalas, deformación, inclinación horizontal o vertical del muro

Espacio dejado intencionalmente en blanco

Forma para inspección postsísmica. Evaluación detallada		
Descripción de la edificación		Zona _____
Dirección _____		
Colonia _____		
Posición del edificio en la manzana		
Esquina <input type="radio"/>	Medio <input type="radio"/>	Libre <input type="radio"/>
Época de construcción		
Antes 1957 <input type="radio"/>	1957-1985 <input type="radio"/>	1985- <input type="radio"/>
Área total del edificio, todos los niveles (m ²) _____		
Número de niveles sobre el terreno (incluyendo azotea y mezanines) _____		
Sótanos _____	Mezanines _____	Apéndices _____
Tipo de terreno		
Zona del lago <input type="radio"/>	Transición <input type="radio"/>	Lomas <input type="radio"/>
Uso principal		
Casa habitación <input type="radio"/> Departamentos <input type="radio"/> Comercios <input type="radio"/> Oficinas públicas <input type="radio"/> Oficinas privadas <input type="radio"/> Industrias <input type="radio"/> Estacionamientos <input type="radio"/> Bodegas <input type="radio"/> Educación <input type="radio"/> Recreativo <input type="radio"/> Salud y protección social <input type="radio"/> Otro _____		
Información adicional _____		
(En la hoja 4 dibujar planta con grados de daño y algún otro croquis de interés)		
Descripción de la estructura		
Material de la estructura		
<input type="checkbox"/> Concreto reforzado: <input type="checkbox"/> Colado en el lugar <input type="radio"/> <input type="checkbox"/> Prefabricado <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Mampostería: <input type="checkbox"/> Ladrillo hueco <input type="radio"/> <input type="checkbox"/> Concreto <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Ladrillo sólido <input type="radio"/> <input type="checkbox"/> Otro _____
Acero <input type="radio"/>	Madera <input type="radio"/>	Otro _____
Cimentación		
Zapatas <input type="radio"/>	No se sabe <input type="radio"/>	Pilotes <input type="radio"/>
	Losa corrida <input type="radio"/>	Otro _____

Figura 2.5.6 Formato de evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

Sistema estructural
 Marcos Muros de concreto Marcos contraventeados
 Marcos con muros de concreto Marcos con muros de relleno de tabique
 Losa plana reticular, columnas Mampostería reforzada
 Muros de tabique sin reforzar, con castillos y dalas Otro _____

Sistema de piso
 Losa maciza con trabes Losa plana Prefabricado
 Losa plana reticular No se sabe Otro _____

Estructura de techo (En caso de estructura especial)
 Acero Concreto reforzado Madera Otro _____

Regularidad planta Buena Intermedia Mala Ver descripción tablas 3-4
vertical Buena Intermedia Mala Ver Figs 7 y 8
 En casos de clasificación "mala" indicar en los comentarios (hoja 4) las características asociadas a esta clasificación (tablas 3 y 4)

Daños previos por sismos Sí Año _____ No No se sabe

Reparaciones anteriores Sí Año _____ No No se sabe
 Tipo de reparación _____

Pérdidas humanas (Muertos/heridos) Sí No No se sabe
 Si existen datos Número de muertos _____ Número de heridos _____

Evaluación de la seguridad de la estructura

	Nivel de riesgo		
	A	B	C
Daño exterior	ACEPTABLE	INTERMEDIO	ALTO
Grietas en suelo, separación de cimentación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Valor medio del asentamiento o emersión	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inclinación de la edificación, en porcentaje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Daño de miembros estructurales en el entrepiso Núm _____ (En la dirección más dañada)
 a) Estructura a base de marcos o losa plana reticular.
 Número total de columnas exteriores _____
 Relación del número de columnas (o vigas) con grado de daño entre el número de columnas exteriores.

Grado IV _____	<10% <input type="radio"/>	10-30% <input type="radio"/>	>30% <input type="radio"/>
Grado V _____	<5% <input type="radio"/>	5-15% <input type="radio"/>	>15% <input type="radio"/>

Figura 2.5.7 Formato de evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995) (continuación)

b) Estructura a base de muros
 Longitud total de muros exteriores (m) _____
 Relación de la longitud de muros exteriores con grado de daño entre la longitud total
 Grado IV _____ <10% 10-30% >30%
 Grado V _____ <5% 5-15% >15%

Daño interior

c) Estructura a base de marcos o losa plana reticular
 Número total de columnas interiores _____
 Relación del número de columnas (o vigas) con grado de daño entre el número de columnas interiores.
 Grado IV _____ <10% 10-30% >30%
 Grado V _____ <5% 5-15% >15%

d) Estructura a base de muros
 Longitud total de muros interiores (m) _____
 Relación de la longitud de muros interiores con grado de daño entre la longitud total
 Grado IV _____ <10% 10-30% >30%
 Grado V _____ <5% 5-15% >15%

CLASIFICACIÓN

	Evaluación Rápida		Evaluación Detallada
	Si <input type="radio"/>	No <input type="radio"/>	
Habitable	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cuidado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insegura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

INSPECTORES

1 _____
 2 _____
 3 _____

FECHA DE INSPECCIÓN _____

EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

	Nivel de riesgo		
	A Aceptable	B Intermedio	C Alto
Exterior			
Vidrios			
Torres de anuncios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acabados fachada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Balcones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pretiles	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tanques elevados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Otros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 2.5.8 Formato de evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995) (continuación)

	Nivel de riesgo		
	A	B	C
Interior	Acceptable	intermedio	Alto
Muros divisorios o particiones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cielos rasos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lámparas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Escaleras	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elevadores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Instalaciones (gas, eléctrica, etc)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Derrames tóxicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Recomendaciones

Área insegura. Colocar barreras en las siguientes áreas _____

Otros (Remover los elementos en peligro de caer, apuntalar, etc). _____

Fotografías Sí No

Comentarios

Explicar los motivos principales de clasificación y **posibles causas del daño**. Indicar si los daños fueron más importantes en columnas, vigas o losas planas. _____

Esquema

Figura 2.5.9 Formato de evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995) (continuación)

H A B I T A B L E	
(Evaluación detallada)	
Esta edificación ha sido inspeccionada y se puede ocupar. Favor de informar a las autoridades cualquier condición insegura.	
Comentarios: _____	
Dirección: _____	
Inspectores: _____	
Fecha _____	

Figura 2.5.10 Aviso “Habitable” para evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

C U I D A D O	
(Evaluación detallada)	
Esta edificación se encuentra dañada y su seguridad está en duda. Prohibida la entrada a personas no autorizadas. Entre únicamente por emergencia y bajo su propio riesgo.	
Comentarios: _____	
Dirección: _____	
Inspectores: _____	
Fecha _____	

Figura 2.5.11 Aviso “Cuidado” para evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

I N S E G U R A	
(Evaluación detallada)	
Esta edificación se encuentra seriamente dañada; es insegura. Peligro de lesiones o muerte. No entrar u ocupar.	
Comentarios: _____	
Dirección: _____	
Inspectores: _____	
Fecha _____	

Figura 2.5.12 Aviso “Insegura” para evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)

Finalmente, para definir la clasificación de seguridad de la estructura se emplea el siguiente criterio:

- “Insegura”. Una edificación a la que, después de evaluar el terreno y la cimentación, asentamiento, inclinación y daños de elementos estructurales, se le asignaron dos o más clasificaciones de daño C o más clasificaciones de Daño B.
- “Cuidado”. Una edificación a la que se le asignó una clasificación de daño C o tres clasificaciones de daño B. También los casos de estructuras a base de marcos que clasificarían como “Habitable”, pero que tienen al menos una columna con intervalo de daño V.
- “Habitable”. Una edificación que no correspondió a las clasificaciones anteriores de “Insegura” y “Cuidado”.

2.5.4 Atributos

2.5.4.1 Evaluación rápida

De forma general el formato de evaluación rápida contiene seis secciones. La primera sección corresponde a la identificación del edificio donde se solicitan las características generales del mismo como:

- Zona geotécnica
- Dirección
- Colonia
- Número de niveles
- Número de sótanos
- Uso
- Información adicional de la estructura

La segunda sección incluye las instrucciones para determinar el nivel de seguridad del edificio. La tercera sección contiene las condiciones de evaluación para la metodología rápida (tabla 2.2.1).

La cuarta sección incluye la clasificación global de los niveles de seguridad del edificio. En esta sección se debe especificar si la inspección se hizo externamente o interior y exteriormente. Adicionalmente, se deben registrar los inspectores con su profesión y la fecha de inspección.

- Habitable
- Cuidado
- Insegura

La quinta sección corresponde a las recomendaciones derivadas de la inspección, éstas son:

- No se requiere revisión futura
- Es necesario evaluación detallada (estructural, geotécnica, otra)
- Área insegura (colocar barreras o cintas de peligro)
- Otros (remover elementos en peligro de caer, apuntalar, etc.)

Finalmente, en la sexta sección se colocan los comentarios donde se debe explicar los motivos principales de la clasificación asignada.

2.5.4.2 Evaluación detallada

De forma general, el formato de evaluación detallada contiene ocho secciones. La primera sección corresponde a la descripción de la edificación donde se solicitan las características detalladas del mismo como:

- Zona geotécnica
- Dirección
- Colonia
- Posición del edificio en la manzana
- Época de construcción
- Área total del edificio
- Número de niveles sobre el terreno
- Número de sótanos, mezanines y apéndices
- Tipo de suelo
- Uso
- Información adicional

La segunda sección corresponde la descripción de la estructura, para lo cual se solicita:

- Material de la estructura
- Tipo de cimentación
- Sistema estructural
- Sistema de piso
- Estructura de techo
- Regularidad vertical evaluada mediante la tabla 2.2.2
- Regularidad en planta evaluada mediante la tabla 2.2.3
- Daños previos por sismos
- Reparaciones anteriores
- Pérdidas humanas

La tercera sección corresponde la evaluación de la seguridad de la estructura para lo cual se determina la clasificación A, B o C para el daño exterior que considera:

- Las grietas en el suelo y la separación de la cimentación
- El valor medio del asentamiento o la emersión (tabla 2.2.4)
- La inclinación de la edificación en porcentaje.

Adicionalmente determina la clasificación A, B o C para el daño exterior e interior en elementos estructurales de grado IV y V para los siguientes sistemas estructurales:

- Estructuras a base de marcos o losas planas

- Estructuras a base de muros de mampostería

La cuarta sección determina el nivel de seguridad del edificio, es decir, “Habitable”, “Cuidado” e “Inseguro”. Adicionalmente solicita el resultado obtenido de la evaluación rápida para los casos en los que se haya aplicado previamente.

La quinta sección corresponde a la evaluación de la seguridad de los elementos no estructurales exteriores como: vidrios, torres de anuncios, acabados de fachada, balcones, pretilas, tanques elevados, etc.; e interiores como: muros divisorios, cielos rasos, lámparas, escaleras, elevadores, instalaciones, derrames tóxicos, etc. A todos los elementos se les asigna la clasificación A, B o C.

La sexta sección está destinada para las recomendaciones derivadas de la inspección, éstas pueden ser:

- Área insegura (colocar barreras o cintas de peligro)
- Otros (remover elementos en peligro de caer, apuntalar, etc.)

La séptima sección corresponde a los comentarios donde se debe explicar los motivos principales de clasificación y posibles causas del daño. Se debe indicar si los daños más importantes se presentaron en columnas, muros, vigas o losas planas.

La octava sección corresponde al esquema de la edificación y a las fotografías de los daños con el objeto de complementar los datos con evidencias.

2.5.5 Resultados

2.5.5.1 Evaluación rápida

Los resultados de la inspección se asocian con tres niveles de seguridad “Habitable”, “Cuidado” e “Insegura”. Además de esta clasificación de seguridad, es posible que sea necesario señalar ciertas áreas del interior y exterior como “Área insegura”.

Es “Habitable”, cuando la estructura no se encuentra en peligro aparente. La capacidad original para resistir cargas no presenta disminución significativa. No ofrece peligro para las vidas humanas, por lo que se puede ocupar.

Es “Cuidado”, cuando la estructura presenta disminución significativa en su capacidad para resistir cargas. La entrada de propietarios se permite sólo con fines de emergencia, y únicamente bajo su propio riesgo. No se permite uso continuo, ni entrada al público.

Es “Insegura”, cuando la estructura tiene alto riesgo, es decir, posible colapso ante réplicas del sismo principal. La entrada está prohibida. La edificación es insegura para ocupar o entrar, excepto por las autoridades.

Es “Área Insegura”, cuando el área específica designada con este letrero es insegura. No se debe entrar o utilizar, excepto por las autoridades.

2.5.5.2 Evaluación detallada

Los siguientes criterios amplían la clasificación de uso detallada en los párrafos anteriores.

Es “Habitable” cuando no existen restricciones para el uso de la estructura. Para que esté dentro de esta clasificación deben satisfacerse las siguientes condiciones:

- El sistema resistente a cargas verticales no presenta reducción significativa en su capacidad y no existe inestabilidad potencial.
- La capacidad para resistir cargas laterales no presenta disminución importante.
- No hay peligro de falla o caída de objetos o que estos se encuentren adecuadamente marcados y con barreras (Área insegura)
- No existe evidencia de daños importantes de la subestructura o asentamiento del terreno.
- Las escaleras y salidas principales son accesibles y se encuentran en servicio.
- No existe condición aparente de inseguridad.

Es “Cuidado” cuando una estructura presenta alguna de las situaciones siguientes:

- Existen dudas serias acerca de la seguridad estructural que únicamente pueden ser resueltas por medio de una evaluación estructural.
- Hay incertidumbre acerca de la posibilidad de daños adicionales por peligro geotécnicos como hundimientos o deslizamientos de taludes.
- Existe incertidumbre acerca de la presencia de otros peligros, como posibles líneas de gas rotas o liberación de material tóxico.

Es “Insegura” cuando una estructura presenta alguna de las situaciones siguientes:

- Es obviamente insegura.
- Por la extensión de daños es posible el colapso por la propia carga gravitacional o por réplicas del sismo principal.
- Presencia de otra condición insegura como caída de líneas de electricidad o deslizamientos de taludes.

2.5.6 Limitaciones y precisión

La metodología de evaluación rápida es aplicable a estructuras del grupo B conformadas a base de cualquier tipo de sistema estructural y el número de niveles es indistinto. Su costo de aplicación es bajo, su tiempo de ejecución es corto y requiere de pocos evaluadores con juicio ingenieril y de una capacitación básica cuya finalidad es simplemente uniformar criterios para el correcto llenado del formato. Su precisión es baja debido a que, al ser cualitativa, los resultados son subjetivos. No se establecen intervalos definidos para establecer el nivel de seguridad de la edificaciones.

La metodología de evaluación detallada es aplicable a estructuras del grupo A y B cuyo sistema estructural está conformado por elementos de concreto reforzado, de acero estructural y de muros de mampostería. El número de niveles es indistinto. Su costo de aplicación es medio, su tiempo de ejecución es medio y requiere de pocos evaluadores, pero con más experiencia en diseño estructural y comportamiento sísmico de edificaciones, por tal motivo, se debe prever la necesidad de capacitar

adecuadamente a los evaluadores con la finalidad de comprender el fundamento de la metodología. En este contexto, el término “medio” se refiere a la intensidad del esfuerzo entre una evaluación rápida y otra que requiere del estudio profundo y detallado de la estructura, consistente con el Nivel 3 señalado en la sección 1.1. Adicionalmente, para edificaciones con problemas en el suelo de la cimentación la brigada de inspección debe incluir un ingeniero con experiencia en geotecnia. Su precisión es media en el sentido que se estima la capacidad remanente de la estructura con base en el porcentaje de elementos dañados del edificio, que es una medida importante de evaluación, sin embargo, no existe una correlación entre la demanda sísmica y el daño.

2.6 METODOLOGÍA CICM

La metodología del Colegio de Ingenieros Civiles de México se adaptó en el año 2011 (CICM, 2011) con base en el manual de “Evaluación Post-Sísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones”, desarrollado por Rodríguez y Castrillón (1995). En el año 2017 fue usado para levantar la información de los edificios afectados por el sismo del 19 de septiembre de 2017. La metodología CICM es aplicable únicamente para la Ciudad de México.

2.6.1 Niveles de análisis

La metodología CICM tiene un nivel de evaluación rápido, que corresponde a la fase post-sismo y a un nivel de evaluación de “Nivel 1”, de acuerdo con las consideraciones generales de este documento (sección 1.1). La metodología emplea un formato de inspección para la obtención de la clasificación de seguridad de la estructura.

2.6.2 Objetivos

Las metodología de evaluación rápida tiene como objetivo identificar el nivel de seguridad del edificio (“Edificación/Área Segura o de Riesgo Bajo”, “Edificación Insegura o de Riesgo Alto”, “Área Insegura o de Riesgo Alto” y “Seguridad Incierta”), con base en las condiciones básicas de daño presentadas inmediatamente después de un evento sísmico.

2.6.3 Procedimiento

El procedimiento de evaluación rápida se basa en observar las condiciones de daño o aspectos de daño que individual o colectivamente sean suficientes para que la edificación se clasifique como “Edificación y/o Área Insegura o de Riesgo Alto” o “Seguridad Incierta”.

Los inspectores deben revisar las evidencias de fallas en la estructura, como colapso parcial, inclinación, daño severo en muros, etc., así como, las condiciones del suelo alrededor de la edificación que podrían llevar a clasificarla como “Insegura”. La revisión de la edificación en la mayoría de los casos es exterior, con el objeto de reducir el tiempo de ejecución de esta evaluación.

Para establecer el nivel de seguridad de la edificación, a partir de la evaluación rápida se sugiere la siguiente secuencia de pasos:

1. Examinar el exterior de la estructura.
2. Observar el suelo alrededor de la estructura, para determinar la posible presencia de grietas, hundimientos, deslizamiento de talud o expansión del terreno.
3. Entrar en la edificación cuando ésta no pueda ser observada adecuadamente desde el exterior, cuando haya dudas o se tenga conocimiento de problemas como caída de cielos rasos, de muros o de elementos estructurales dañados, etc. No se recomienda el ingreso en edificios obviamente inseguros.
4. Evaluar la estructura de acuerdo con los 14 criterios básicos correspondientes a la evaluación rápida. Se debe recordar que el riesgo de colapso puede presentarse por el mal estado de edificaciones vecinas, por lo que se debe revisar si las salidas de la edificación son seguras.
5. Llenar el formato de evaluación rápida (figuras 2.3.1 y 2.3.2). En dicho formato se llena la información básica que ayuda a identificar las características de la edificación que se evalúa, el estado en que se encuentra y las conclusiones de esta evaluación.
6. Clasificar la edificación de acuerdo con los resultados de la evaluación.

Espacio dejado intencionalmente en blanco

**Forma de Inspección Post sísmica
Evaluación Rápida**

Ticket No. _____

Nombre del Evaluador Técnico: _____

Profesión: _____

Fecha: _____

1. Ubicación y Descripción de la Edificación.

Zonificación propuesta de la ciudad para efectuar la evaluación: _____

Dirección: _____

Colonia: _____ Delegación: _____

CP: _____ Entre que calles / Referencia: _____

Coordenadas geográficas: _____

Persona contactada: _____ Teléfono: _____

Uso del Inmueble:

Casa habitación	<input type="checkbox"/>	Departamentos	<input type="checkbox"/>	Comercios	<input type="checkbox"/>	Oficinas públicas	<input type="checkbox"/>
Oficinas privadas	<input type="checkbox"/>	Industrias	<input type="checkbox"/>	Estacionamiento	<input type="checkbox"/>	Bodegas	<input type="checkbox"/>
Educación	<input type="checkbox"/>	Recreativo	<input type="checkbox"/>	Centro de reunión	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Otro: _____

Número de niveles sobre el terreno (incluyendo azotea y mezanines): _____

Número de sótanos: _____

Número de ocupantes: _____

Tipo de inspección: Inspección exterior únicamente Inspección interior y exterior

2. Estado de la Edificación.

	Sí	No	Existen Dudas
a.- Derrumbe total	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b.- Derrumbe parcial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c.- Edificación separada de su cimentación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d.- Asentamiento diferencial o hundimiento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e.- Inclinación notoria de la edificación o de algún entrepiso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f.- Daños en elementos estructurales (columnas, vigas, muros)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g.- Daño severo en elementos no estructurales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h.- Daños en instalaciones eléctricas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i.- Daños en instalaciones hidrosanitaria	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Página 1 de 2

Figura 2.6.1 Formato de evaluación rápida del CICM (2011)

“Edificación Insegura o de Riesgo Alto”. En caso de encontrarse una respuesta afirmativa en cualquiera de los incisos g) al n), se clasificará como “Área Insegura o de Riesgo Alto”. De existir dudas, se señalará “Seguridad Incierta”.

Tabla 2.6.1 Condiciones de evaluación para la metodología rápida del CICM (2011)

a	Derrumbe total
b	Derrumbe parcial
c	Edificación separada de su cimentación
d	Asentamiento diferencial o hundimiento.
e	Inclinación notoria de la edificación o de algún entrepiso
f	Daños en elementos estructurales (columnas, vigas, muros)
g	Daño severo en elementos no estructurales
h	Daños en instalaciones eléctricas
i	Daños en instalaciones hidrosanitaria
j	Daños en instalaciones de gas
k	Grietas, movimiento del suelo
l	Deslizamiento de talud o corte
m	Pretilos, balcones u otros objetos en peligro de caer
n	Otros peligros (líneas o ductos rotos, derrames tóxicos, etc.)

2.6.4 Atributos

De forma general el formato de evaluación rápida contiene seis secciones. La primera sección corresponde a la identificación del edificio donde se solicitan las características generales del mismo como:

- Zona geotécnica
- Dirección
- Colonia
- Delegación
- Código postal
- Entre calles/Referencia
- Coordenadas geográficas
- Persona contactada
- Teléfono
- Uso
- Número de niveles
- Número de sótanos
- Número de ocupantes
- Tipo de inspección (externa o interna y externa)

La segunda sección contiene las condiciones de evaluación para la metodología rápida (tabla 2.3.1). La tercera sección incluye las instrucciones para determinar el nivel de seguridad del edificio.

- Edificación y/o Área Segura o de Riesgo Bajo
- Edificación y/o Área Insegura o de Riesgo Alto
- Seguridad incierta

La cuarta sección corresponde a las recomendaciones derivadas de la inspección, éstas son:

- No se requiere revisión futura
- Es necesario evaluación detallada (estructural, geotécnica, otra)
- Apuntalar
- Maquinaria para remover escombros
- Protección Civil
- SACMEX
- SSP
- SOBSE
- Central de Fugas

Finalmente, en la quinta sección se colocan las observaciones donde se debe explicar los motivos principales de la clasificación asignada.

2.6.5 Resultados

Los resultados de la inspección se asocian con tres niveles de seguridad “Edificación/Área Segura o de Riesgo Bajo”, “Edificación/Área Insegura o de Riesgo Alto” y “Seguridad Incierta”.

2.6.6 Limitaciones y precisión

La metodología de evaluación rápida es aplicable a estructuras del grupo A y B conformadas por cualquier tipo de sistema estructural y el número de niveles es indistinto. Su costo de aplicación es bajo, su tiempo de ejecución es corto y requiere de pocos evaluadores con juicio ingenieril y de una capacitación básica cuya finalidad es simplemente uniformar criterios para el correcto llenado del formato. Su precisión es baja debido a que, al ser cualitativa, los resultados son subjetivos. No se establecen intervalos definidos para establecer el nivel de seguridad de la edificaciones.

2.7 METODOLOGÍA ISC-CDMX

La metodología del Instituto para la Seguridad de las Construcciones en la Ciudad de México (ISC-CDMX) se adaptó en el año 2019 con base en el “Manual de Evaluación Post-Sísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones”, desarrollado por Rodríguez y Castrillón (1995). En el año 2020 fue empleado en el simulacro conmemorativo al sismo del 19 de septiembre de 2017.

2.7.1 Niveles de análisis

La metodología ISC-CDMX tiene un nivel de evaluación rápido, que corresponde a la fase post-sismo y a un nivel de evaluación de “Nivel 1”, de acuerdo con las consideraciones generales de este

documento (sección 1.1). La metodología emplea un formato de inspección para la obtención de la clasificación de seguridad de la estructura.

2.7.2 Objetivos

La metodología de evaluación rápida tiene como objetivo identificar el nivel de seguridad del edificio (“Edificación en Riesgo Bajo”, “Edificación en Riesgo Alto”, “Área Insegura o Edificación en Riesgo Medio” y “Seguridad Incierta”), con base en las condiciones de daño presentadas inmediatamente después de un evento sísmico.

2.7.3 Procedimiento

El procedimiento de evaluación rápida se basa en observar las condiciones de daño o aspectos de daño que individual o colectivamente sean suficientes para que la edificación se clasifique como “Edificación en Riesgo Alto” o “Seguridad Incierta”.

Los inspectores deben revisar las evidencias de fallas en la estructura, como colapso parcial, inclinación, daño severo en muros, etc., así como, las condiciones del suelo alrededor de la edificación que podrían llevar a clasificarla como “Insegura”. La revisión de la edificación en la mayoría de los casos es exterior, con el objeto de reducir el tiempo de ejecución de esta evaluación.

Para establecer el nivel de seguridad de la edificación, a partir de la evaluación rápida se sugiere la siguiente secuencia de pasos:

1. Examinar el exterior de la estructura.
2. Observar el suelo alrededor de la estructura, para determinar la posible presencia de grietas, hundimientos, deslizamiento de talud o expansión del terreno.
3. Entrar en la edificación cuando ésta no pueda ser observada adecuadamente desde el exterior, cuando haya dudas o se tenga conocimiento de problemas como caída de cielos rasos, de muros o de elementos estructurales dañados, etc. No se recomienda el ingreso en edificios obviamente inseguros.
4. Evaluar la estructura de acuerdo con los 16 criterios básicos correspondientes a la evaluación rápida. Se debe recordar que el riesgo de colapso puede presentarse por el mal estado de edificaciones vecinas, por lo que se debe revisar si las salidas de la edificación son seguras.
5. Llenar el formato de evaluación rápida (figuras 2.4.1 y 2.4.2). En dicho formato se llena la información básica que ayuda a identificar las características de la edificación que se evalúa, el estado en que se encuentra y las conclusiones de esta evaluación.
6. Clasificar la edificación de acuerdo con los resultados de la evaluación.

Espacio dejado intencionalmente en blanco

Cédula de Inspección Post sísmica Rápida

Ticket No. (por ISC): _____

Nombre del Evaluador Técnico (EvTec): _____

Profesión: _____

Fecha: _____ Clave personal del EvTec: _____

1. Ubicación y Descripción de la Edificación.

Cuadrante asignado por la SGORPC (opcional): _____

Dirección: _____

Colonia: _____ Delegación: _____

CP: _____ Entre que calles / Referencia: _____

Coordenadas geográficas (opcional): _____

Persona contactada (opcional): _____ Teléfono 10 dígitos: (opcional): _____

Zona Geotécnica (opcional): Zona 1... Zona 2... Zona 3...

Década estimada de su construcción: _____

Uso del Inmueble:

Habitación unifamiliar... <input type="checkbox"/>	Oficinas privadas... <input type="checkbox"/>	Comercios... <input type="checkbox"/>	Oficinas públicas... <input type="checkbox"/>
Habitación multifamiliar... <input type="checkbox"/>	Industrias... <input type="checkbox"/>	Estacionamiento... <input type="checkbox"/>	Bodegas... <input type="checkbox"/>
Centro de Reunión... <input type="checkbox"/>	Recreativo... <input type="checkbox"/>	Educación... <input type="checkbox"/>	

Otro (opcional): _____

Número de niveles sobre el terreno (incluyendo azotea y mezzanines): _____

Número de sótanos: _____

Número de ocupantes (opcional): _____

Tipo de inspección: Inspección exterior únicamente Inspección interior y exterior

2. Estado de la Edificación.

	Sí	No	Existen Dudas
a.- Derrumbe total.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b.- Derrumbe parcial.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c.- Edificación separada de su cimentación.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d.- Asentamiento diferencial o hundimiento.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e.- Inclinación notoria de la edificación o de algún entrepiso.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f.- Daños severos en elementos estructurales (columnas, vigas, muros de carga)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g.- Daños moderados en elementos estructurales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h.- Daños severos en elementos no estructurales (muros divisorios, acabados, cancelería)...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Página 1 de 2

Figura 2.7.1 Formato de evaluación rápida del ISC-CDMX (2019)

	Sí	No	Existen Dudas
i.- Daños moderados en elementos no estructurales.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
j.- Daños en instalaciones eléctricas.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
k.- Daños en instalaciones hidrosanitaria.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
l.- Daños en instalaciones de gas.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
m.- Grietas en el subsuelo.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
n.- Deslizamiento de talud o corte.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
o.- Pretilos, balcones u otros objetos en peligro de caer.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
p.- Otros peligros (líneas o ductos rotos, derrames tóxicos, etc.).....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Clasificación Global.

Una vez evaluado el Estado de la Edificación, de no encontrarse alguna respuesta afirmativa, el inmueble se calificará como **Edificación en Riesgo Bajo**. En caso de encontrarse una respuesta afirmativa en cualquiera de los incisos “a” al “h”, se clasificará como **Edificación en Riesgo Alto**. En caso de encontrarse una respuesta afirmativa en cualquiera de los incisos “i” al “p”, se clasificará como **Área Insegura o Edificación en Riesgo Medio**. De existir dudas, se señalará **Seguridad Incierta**.

Edificación en Riesgo Bajo
 Edificación en Riesgo Alto
 Área Insegura o Edificación en Riesgo Medio
 Seguridad Incierta

4. Recomendaciones.

	Sí	No		Sí	No	
Requiere revisión futura.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Inspección por SACMEX.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es necesaria evaluación detallada.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Inspección por SSC.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Apuntalar.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Inspección por SOS.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maquinaria para remover escombros.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Inspección por Central de Fugas.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inspección por SGIRPC.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				

Observaciones (hasta 200 caracteres): _____

Firma: _____

Clave personal del EvTec: _____

Página 2 de 2

Figura 2.7.2 Formato de evaluación rápida del ISC-CDMX (2019) (continuación)

Para clasificar la edificación de acuerdo con su nivel de seguridad, se evalúan las condiciones de la tabla 2.4.1, de forma cualitativa mediante “Sí”, “No” o “Existen dudas”. De no encontrarse una respuesta afirmativa, el edificio se calificará como “Edificación en Riesgo Bajo”. En caso de encontrarse una respuesta afirmativa en cualquiera de los incisos a) al h), se clasificará como

“Edificación en Riesgo Alto”. En caso de encontrarse una respuesta afirmativa en cualquiera de los incisos i) al p), se clasificará como “Área Insegura o Edificación en Riesgo Medio”. De existir dudas, se señalará “Seguridad Incierta”.

Tabla 2.7.1 Condiciones de evaluación para la metodología rápida

a	Derrumbe total
b	Derrumbe parcial
c	Edificación separada de su cimentación
d	Asentamiento diferencial o hundimiento
e	Inclinación notoria de la edificación o de algún entrepiso
f	Daños severos en elementos estructurales (columnas, vigas, muros de carga)
g	Daños moderados en elementos estructurales
h	Daños severos en elementos no estructurales (muros divisorios, acabados, cancelería)
i	Daños moderados en elementos no estructurales
j	Daños en instalaciones eléctricas
k	Daños en instalaciones hidrosanitaria
l	Daños en instalaciones de gas
m	Grietas en el subsuelo
n	Deslizamiento de talud o corte
o	Pretils, balcones u otros objetos en peligro de caer
p	Otros peligros (líneas o ductos rotos, derrames tóxicos, etc.)

2.7.4 Atributos

De forma general, el formato de evaluación rápida contiene seis secciones. La primera sección corresponde a la identificación del edificio donde se solicitan las características generales del mismo como:

- Cuadrante asignado por la SGORPC
- Dirección
- Colonia
- Delegación
- Código postal
- Entre calles/Referencia
- Coordenadas geográficas
- Persona contactada
- Teléfono
- Zona geotécnica
- Década estimada de su construcción
- Uso
- Número de niveles
- Número de sótanos
- Número de ocupantes
- Tipo de inspección (externa o interna y externa)

La segunda sección contiene las condiciones de evaluación para la metodología rápida (tabla 2.4.1). La tercera sección incluye las instrucciones para determinar el nivel de seguridad del edificio.

- Edificación en Riesgo Bajo
- Edificación en Riesgo Alto
- Área Insegura o Edificación en Riesgo Medio
- Seguridad Incierta

La cuarta sección corresponde a las recomendaciones derivadas de la inspección, éstas son:

- Requiere revisión futura
- Es necesaria evaluación detallada (estructural, geotécnica, otra)
- Apuntalar
- Maquinaria para remover escombros
- Inspección por SGIRPC
- Inspección por SACMEX
- Inspección por SSC
- Inspección por SOS
- Inspección por Central de Fugas

Finalmente, en la quinta sección se colocan las observaciones donde se debe explicar los motivos principales de la clasificación asignada.

2.7.5 Resultados

Los resultados de la inspección se asocian con cuatro niveles de seguridad “Edificación en Riesgo Bajo”, “Edificación en Riesgo Alto”, “Área Insegura o Edificación en Riesgo Medio” y “Seguridad Incierta”.

2.7.6 Limitaciones y precisión

La metodología de evaluación rápida es aplicable a estructuras del grupo A y B conformadas por cualquier tipo de sistema estructural y el número de niveles es indistinto. Su costo de aplicación es bajo, su tiempo de ejecución es corto y requiere de pocos evaluadores con juicio ingenieril y de una capacitación básica cuya finalidad es simplemente uniformar criterios para el correcto llenado del formato. Su precisión es baja debido a que, al ser cualitativa, los resultados son subjetivos. No se establecen intervalos definidos para establecer el nivel de seguridad de la edificaciones.

2.8 METODOLOGÍA CENAPRED

El manual de “Formato de Captura de Datos para la Evaluación Estructural”, fue desarrollado en el año 2011 por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Para el diseño del manual se tomó como base, el esquema general del trabajo de Rodríguez (1995), entre otros documentos y formatos. Esta metodología es de aplicación nacional y se elaboró con la finalidad de evaluar edificios de los cuales se tenía duda sobre su seguridad.

2.8.1 Niveles de análisis

La metodología CENAPRED (2011) tiene un nivel de evaluación que, de acuerdo con las consideraciones generales de este documento, corresponde a la fase pre-sismo y a un nivel de evaluación de “Nivel 0”. La metodología emplea un formato de inspección para el registro de la información de la estructura.

2.8.2 Objetivos

Las metodología tiene como objetivo recabar en forma más objetiva los datos de un edificio. Es una herramienta que permite, en primera instancia, recopilar la información mínima, para que, con base en ésta, posteriormente se ejecute una evaluación de la seguridad de los inmuebles con un procedimiento sistematizado y uniforme. Adicionalmente, considera la alimentación de una base de datos computarizada, ya sea que cada inspector al final de la jornada capture los datos en una computadora y los lleve o envíe por correo electrónico al centro de acopio de datos, o que se entreguen todas las hojas en papel y exista un grupo de capturistas que alimente el sistema de cómputo con los datos.

2.8.3 Procedimiento

Para llevar a cabo el registro de la información de los edificios a inspeccionar, se sugiere seguir los siguientes pasos:

1. Examinar el exterior y el interior de la estructura.
2. Observar el suelo alrededor de la estructura, para determinar posibles problemas geotécnicos.
3. Evaluar la estructura de acuerdo con las cuatro secciones del formato de inspección.
4. Llenar el formato de evaluación rápida (figuras 2.5.1 a 2.5.4).

Espacio dejado intencionalmente en blanco

FORMATO DE CAPTURA DE DATOS PARA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Febrero-2011

Fecha: Hora: Duración visita: Clave:

Nombre del evaluador: Ingeniero o arquitecto Estudiante Ing/Arq.

INFORMACIÓN GENERAL DEL INMUEBLE

Nombre del inmueble:

Nombre del edificio/cuerpo/área: (usar un formato por cada edificio/cuerpo/área) Coordenadas: (N, O, msnm)

Calle y número:

Colonia/Barrio: Código postal:

Localidad (pueblo/ciudad):

Delegación/Municipio: Estado:

Referencias: (entre calles "A" y "B", un sitio notable, etc.)

Persona contactada/propietario: Cargo o función:

Teléfono: +() Fax: Correo electrónico:

USO (Anotar % de área para cada uso, debe sumar 100%)

1- Habitacional <input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Multifamiliar <input type="checkbox"/> Hotel <input type="checkbox"/> Dormitorio	3- Educativo <input type="checkbox"/> Preescolar <input type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Superior <input type="checkbox"/> Biblioteca <input type="checkbox"/> Museo	5- Reunión <input type="checkbox"/> Centro social <input type="checkbox"/> Templo religioso <input type="checkbox"/> Gimnasio <input type="checkbox"/> Salón baile/juego <input type="checkbox"/> Cine/Teatro/Auditorio <input type="checkbox"/> Estadio	7- Comunicaciones y transportes <input type="checkbox"/> Terminal de pasajeros <input type="checkbox"/> Terminal de carga <input type="checkbox"/> Estacionamiento <input type="checkbox"/> Aeropuerto/Puerto <input type="checkbox"/> Correo / Telégrafo / Teléfono <input type="checkbox"/> Radio / Televisión <input type="checkbox"/> Antena transmisora
2- Oficinas / Comercio <input type="checkbox"/> Oficinas <input type="checkbox"/> Tienda <input type="checkbox"/> Mercado <input type="checkbox"/> Restaurante	4- Salud / Social <input type="checkbox"/> Hospital <input type="checkbox"/> Clínica <input type="checkbox"/> Asilo <input type="checkbox"/> Estancia infantil	6- Industrial <input type="checkbox"/> Fábrica <input type="checkbox"/> Taller <input type="checkbox"/> Bodega <input type="checkbox"/> Generac. eléctrica <input type="checkbox"/> De combustibles	Estructura GRUPO: <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B1 <input type="radio"/> B2 <input type="radio"/> C

Ocupación: Habitada/en uso Abandonada/desocupada Desalojada por daños Número de ocupantes o capacidad de personas:

TERRENO Y CIMENTACIÓN

Topografía <input type="checkbox"/> Planicie <input type="checkbox"/> Ladera de cerro <input type="checkbox"/> Rivera río/lago <input type="checkbox"/> Fondo de valle <input type="checkbox"/> Depósitos lacustres <input type="checkbox"/> Costa	Tipo suelo <input type="checkbox"/> Arcilla muy blanda <input type="checkbox"/> Limos o arcillas <input type="checkbox"/> Granular suelto <input type="checkbox"/> Granular compacto <input type="checkbox"/> Roca	SUELO <input type="radio"/> Blando <input type="radio"/> Transición <input type="radio"/> Firme	Cim. Superficial <input type="checkbox"/> Zapatas aisladas <input type="checkbox"/> Zapatas corridas <input type="checkbox"/> Cimiento de piedra <input type="checkbox"/> Losa <input type="checkbox"/> Cajón
Cimentación Profunda <input type="checkbox"/> Pilotes / pilas <input type="checkbox"/> Otro		Nivel freático: <input type="text"/> m Pendiente del terreno: <input type="text"/> % Distancia a río / lago / mar: <input type="text"/> m	

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

No. de niveles, n = <input type="text"/> Año de construcción: <input type="text"/> No. de sótanos: <input type="text"/> Año rehabilitación: <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Apéndices en azotea (escaleras / elevador / cuarto azotea) <input type="checkbox"/> Mezanine (losa intermedia que no cubre toda la planta) <input type="checkbox"/> Piso a media altura (de los entresijos tipo) <input type="checkbox"/> Escalera externa <input type="checkbox"/> Semisótano (primer sótano a medio nivel de calle)	Área del terreno: <input type="text"/> m ² Recarga acuíferos: <input type="text"/> % Área de la planta tipo: <input type="text"/> m ² Dimensiones Generales: X = Frente: <input type="text"/> m Y = Fondo: <input type="text"/> m Altura Planta baja: <input type="text"/> m Altura entresijos: <input type="text"/> m No. cajones estacionamiento: <input type="text"/> No. elevadores: <input type="text"/> No. escaleras independientes: <input type="text"/>	
---	---	--

Elevador Eléctrica
 Agua potable Alcantarillado
 Gas Otra:

<<logotipos de instituciones participantes>>

1/5

Figura 2.8.1 Formato de captura de datos del CENAPRED (2011)

VULNERABILIDAD																																																																																																																					
Posición en manzana: <input type="checkbox"/> Esquina <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Aislado																																																																																																																					
Irregularidad en planta <input type="checkbox"/> Asimétrico (efectos de torsión) <input type="checkbox"/> Aberturas en planta > 20 % (área o longitud) <input type="checkbox"/> Longitud entrantes/salientes > 20 % <input type="checkbox"/> En "L" u otra geometría irregular	Irregularidad en elevación <input type="checkbox"/> Planta baja flexible <input type="checkbox"/> Marcos o muros no llegan a la cimentación <input type="checkbox"/> Columnas cortas <input type="checkbox"/> Reducción de la planta en pisos superiores <input type="checkbox"/> Apoyos a diferente nivel (laderas) <input type="checkbox"/> Sistemas de entrepiso inclinados <input type="checkbox"/> Grandes masas en pisos superiores <input type="checkbox"/> Arreglo irregular de ventanas en fachada																																																																																																																				
Otras fuentes de vulnerabilidad <input type="checkbox"/> Conexión excéntrica trabe-columna <input type="checkbox"/> Péndulo invertido/una sola hilera de columnas <input type="checkbox"/> Un elemento resiste más del 35% del sismo	Edificio vecino crítico <input type="checkbox"/> Columna débil-viga fuerte No. de pisos: _____ Separación: _____ cm Uso no.: _____ <input type="checkbox"/> Marcos <input type="checkbox"/> Sin daño <input type="checkbox"/> Muros <input type="checkbox"/> Daño medio <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Daño severo <input type="checkbox"/> Pisos a diferente altura																																																																																																																				
SISTEMA ESTRUCTURAL																																																																																																																					
Material en muros <input type="checkbox"/> Concreto reforzado <input type="checkbox"/> Concreto prefabricado <input type="checkbox"/> Tabicón de concreto (macizo) <input type="checkbox"/> Bloque de concreto (20x40 cm) <input type="checkbox"/> Ladrillo de barro macizo <input type="checkbox"/> Tabique de arcilla hueco <input type="checkbox"/> Paneles con capa de mortero <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Piedra <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Bahareque (ramas/todo) <input type="checkbox"/> Material precario (débil: lámina/cartón/desecho) <input type="checkbox"/> Otro: _____	Sección de elementos predominantes <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: left; font-size: small;">Forma</th> <th style="font-size: small;">Material</th> <th style="font-size: small;">Sección</th> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;"> Rectangular <input type="checkbox"/> Circular <input type="checkbox"/> Tubo circular <input type="checkbox"/> Secc H / I <input type="checkbox"/> Cajón <input type="checkbox"/> Secc L <input type="checkbox"/> Armadura <input type="checkbox"/> </td> <td style="font-size: x-small;"> Concreto <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Prefabricado <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> </td> <td style="font-size: x-small;"> Columnas <input type="checkbox"/> Travesaños Principales <input type="checkbox"/> Travesaños Secundarios <input type="checkbox"/> Diagonales <input type="checkbox"/> </td> </tr> </table> <div style="font-size: x-small; margin-top: 5px;"> Ejemplo: $b \times h$ $\varnothing = D$ $b \times h$ $b \times h$ $2L \times b \times t$ </div>	Forma	Material	Sección	Rectangular <input type="checkbox"/> Circular <input type="checkbox"/> Tubo circular <input type="checkbox"/> Secc H / I <input type="checkbox"/> Cajón <input type="checkbox"/> Secc L <input type="checkbox"/> Armadura <input type="checkbox"/>	Concreto <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Prefabricado <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/>	Columnas <input type="checkbox"/> Travesaños Principales <input type="checkbox"/> Travesaños Secundarios <input type="checkbox"/> Diagonales <input type="checkbox"/>																																																																																																														
Forma	Material	Sección																																																																																																																			
Rectangular <input type="checkbox"/> Circular <input type="checkbox"/> Tubo circular <input type="checkbox"/> Secc H / I <input type="checkbox"/> Cajón <input type="checkbox"/> Secc L <input type="checkbox"/> Armadura <input type="checkbox"/>	Concreto <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Prefabricado <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/>	Columnas <input type="checkbox"/> Travesaños Principales <input type="checkbox"/> Travesaños Secundarios <input type="checkbox"/> Diagonales <input type="checkbox"/>																																																																																																																			
Refuerzo en la mampostería <input type="checkbox"/> Sin refuerzo <input type="checkbox"/> Mampostería confinada <input type="checkbox"/> Mampostería mal confinada (sin refuerzo en puertas/ventanas) <input type="checkbox"/> Con refuerzo interior <input type="checkbox"/> Otro: _____	SISTEMA DE PISO / TECHO Sistema de piso <input type="checkbox"/> Losa apoyada en travesaños <input type="checkbox"/> Losa plana (sin travesaños) <input type="checkbox"/> Vigas y piso de madera <input type="checkbox"/> Vigas y enladrillado (bóveda catalana) <input type="checkbox"/> Vigas, largueros y cubierta <input type="checkbox"/> Armaduras y cubierta <input type="checkbox"/> Armaduras 3D <input type="checkbox"/> Arcos de mampostería Losa de concreto <input type="checkbox"/> Maciza <input type="checkbox"/> Aligerada (reticular) <input type="checkbox"/> Prefabricada de concreto <input type="checkbox"/> Vigueta y bovedilla <input type="checkbox"/> Lámina acanalada con capa de concreto (Losa-acero) Espesor total: _____ cm Capa compresión: _____ cm Armaduras <input type="checkbox"/> De acero <input type="checkbox"/> De madera <input type="checkbox"/> Peralte variable Claro: _____ m, Peralte: _____ m Separación armaduras: _____ m Sección cuerdas: _____ Secc. diagonales: _____ Cubierta de techo <input type="checkbox"/> Igual a sistema de piso <input type="checkbox"/> Lámina metálica <input type="checkbox"/> Lámina de asbesto/plástico <input type="checkbox"/> Cartón o desecho <input type="checkbox"/> Paneles <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Paja <input type="checkbox"/> Teja Forma de la cubierta <input type="checkbox"/> Techo plano horizontal <input type="checkbox"/> Inclinado pendiente: _____ % <input type="checkbox"/> Bóveda cilíndrica $\varnothing =$ _____ m <input type="checkbox"/> Cúpula $\varnothing =$ _____ m Tipo de anclaje y separación: _____																																																																																																																				
ESTRUCTURA PRINCIPAL VERTICAL <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Planta Baja</th> <th colspan="2">Niveles Tipo</th> <th rowspan="2">Sótano</th> <th rowspan="2">Apéndice</th> <th rowspan="2">Cubos</th> </tr> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>X</th> <th>Y</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Marcos</td> <td>Acero <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Concreto <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Conc. prefabricado <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Cols. y losa plana <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Madera <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Contrav.</td> <td>Acero <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Concreto <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Cubre varios pisos <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Cables <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Muros</td> <td>De carga mampostería <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Diafragma mampost. <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>De concreto <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>con vigas de acoplamiento: <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> Marcos en el entrepiso representativo Número de marcos paralelos: a X: _____ a Y: _____ Claro promedio: X = _____ m Y = _____ m Número total de columnas: _____ (en todo el entrepiso) No. crujeles con contraviento: en X: _____ en Y: _____ No. crujeles con muro diafragma: en X: _____ en Y: _____ Muros en el entrepiso representativo Suma de longitudes de muros y espesor (t): De concreto: $\Sigma Lx =$ _____ m, $\Sigma Ly =$ _____ m, t = _____ cm De mampostería: $\Sigma Lx =$ _____ m, $\Sigma Ly =$ _____ m, t = _____ cm		Planta Baja		Niveles Tipo		Sótano	Apéndice	Cubos	X	Y	X	Y	Marcos	Acero <input type="checkbox"/>		Concreto <input type="checkbox"/>		Conc. prefabricado <input type="checkbox"/>		Cols. y losa plana <input type="checkbox"/>		Madera <input type="checkbox"/>	Contrav.	Acero <input type="checkbox"/>		Concreto <input type="checkbox"/>		Cubre varios pisos <input type="checkbox"/>		Cables <input type="checkbox"/>	Muros	De carga mampostería <input type="checkbox"/>		Diafragma mampost. <input type="checkbox"/>		De concreto <input type="checkbox"/>		con vigas de acoplamiento: <input type="checkbox"/>	Planos: <input type="checkbox"/> Arquitectónico <input type="checkbox"/> Estructural <input type="checkbox"/> Memoria de cálculo <input type="checkbox"/> Autoconstrucción (sin cálculo) Especificar: _____																																																																														
		Planta Baja		Niveles Tipo					Sótano	Apéndice	Cubos																																																																																																										
	X	Y	X	Y																																																																																																																	
Marcos	Acero <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																														
	Concreto <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																														
	Conc. prefabricado <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																														
	Cols. y losa plana <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																														
	Madera <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																														
Contrav.	Acero <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																														
	Concreto <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																														
	Cubre varios pisos <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																														
	Cables <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																														
Muros	De carga mampostería <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																														
	Diafragma mampost. <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																														
	De concreto <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																														
	con vigas de acoplamiento: <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																														
REHABILITACIÓN																																																																																																																					
Tipo <input type="checkbox"/> Arquitectónicas <input type="checkbox"/> Reparación estruct. <input type="checkbox"/> Refuerzo <input type="checkbox"/> Reestructuración	Técnicas empleadas <input type="checkbox"/> Recimentación <input type="checkbox"/> Encamisado concreto <input type="checkbox"/> Encamisado acero <input type="checkbox"/> Muros: malla y mortero <input type="checkbox"/> Contraventeo <input type="checkbox"/> Adición de muros concreto <input type="checkbox"/> Adición muros mampostería <input type="checkbox"/> Contrafuertes externos <input type="checkbox"/> Fibra carbono / sintéticos <input type="checkbox"/> Otro																																																																																																																				
Descripción breve: _____																																																																																																																					

Figura 2.8.2 Formato de captura de datos del CENAPRED (2011) (continuación)

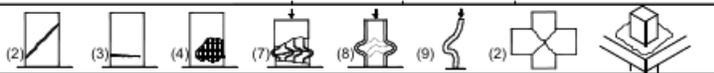
EVALUACIÓN DE DAÑOS																																																																			
Problemas geotécnicos <input type="checkbox"/> Grietas en el terreno circundante <input type="checkbox"/> Hundimientos diferenciales <input type="checkbox"/> Deslizamiento de ladera <input type="checkbox"/> Socavación o Erosión		<input type="checkbox"/> Licuación de arenas <input type="checkbox"/> Hundimiento (-) o emersión (+) general = _____ cm <input type="checkbox"/> Inclinación del edificio: _____ %		Estructura <input type="checkbox"/> Colapso total		Colapso parcial <input type="checkbox"/> Techo <input type="checkbox"/> Planta baja <input type="checkbox"/> Piso intermedio <input type="checkbox"/> Sección del edificio _____ % <input type="checkbox"/> Choque con edificio vecino																																																													
Daños máximos observables Anotar la clave de entrepiso (N1, N2, ..., S1...)																																																																			
Tipo de daño y características 1- Colapso / daño generalizado 2- Grietas inclinadas (por cortante) 3- Grietas normales al eje (por flexión) 4- Aplastamiento concr. y barras expuestas 5- Fractura refuerzo longitudinal 6- Fractura refuerzo transversal o estribos 7- Pandeo de barras a compresión 8- Pandeo de placas 9- Pandeo global o inestabilidad 10- Falla de soldadura 11- Falla de conectores (tornillos/remaches) 12- Corrosión del acero Armado del elemento (de concreto) Distancia entre estribos / atiesadores Sección del elemento <i>Ejemplos de daños que se pueden recabar:</i>		Columnas  $b \times h / \emptyset$	Trabes  $b \times h / d \times br, tr$	Muros mampostería  $t, h \times bc$		de concreto  t	Contraviento  $b \times h / d \times br, tr$	Conexiones  $b \times h$																																																											
																																																																			
Sistema de piso / techo <input type="checkbox"/> Colapso Grietas: <input type="checkbox"/> alrededor de columnas al centro del claro sobre las trabes en las esquinas del tablero anchura máxima: _____ mm		Porcentaje de elementos dañados en el entrepiso crítico <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Grave</th> <th>Medio</th> <th>Clave de entrepiso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Columnas</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Trabes</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Muros concreto X</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Muros concreto Y</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Muros mampostería X</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Muros mampostería Y</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Contraventeos</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Conexiones</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </tbody> </table>				Grave	Medio	Clave de entrepiso	Columnas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trabes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muros concreto X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muros concreto Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muros mampostería X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muros mampostería Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Contraventeos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Conexiones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Daño grave</th> <th>Medio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Mampostería muros de concreto</td> <td>Colapso</td> <td>> 1 mm</td> </tr> <tr> <td>Grietas por cortante > 2 mm</td> <td>> 2 mm</td> </tr> <tr> <td>Grietas por flexión > 5 mm</td> <td>> 2 mm</td> </tr> <tr> <td>Pandeo general</td> <td>> 2 mm</td> </tr> <tr> <td>Pandeo de placas</td> <td>> 2 mm</td> <td>> 2 mm</td> </tr> <tr> <td>Pandeo o fractura del refuerzo</td> <td>> 2 mm</td> <td>> 2 mm</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black;">Grietas por cortante > 5 mm</td> <td>> 2 mm</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black;">G. inclinada en castillo > 1 mm</td> <td>...</td> </tr> </tbody> </table>				Daño grave	Medio	Mampostería muros de concreto	Colapso	> 1 mm	Grietas por cortante > 2 mm	> 2 mm	Grietas por flexión > 5 mm	> 2 mm	Pandeo general	> 2 mm	Pandeo de placas	> 2 mm	> 2 mm	Pandeo o fractura del refuerzo	> 2 mm	> 2 mm	Grietas por cortante > 5 mm		> 2 mm	G. inclinada en castillo > 1 mm		...
	Grave	Medio	Clave de entrepiso																																																																
Columnas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																
Trabes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																
Muros concreto X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																
Muros concreto Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																
Muros mampostería X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																
Muros mampostería Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																
Contraventeos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																
Conexiones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																
	Daño grave	Medio																																																																	
Mampostería muros de concreto	Colapso	> 1 mm																																																																	
	Grietas por cortante > 2 mm	> 2 mm																																																																	
	Grietas por flexión > 5 mm	> 2 mm																																																																	
	Pandeo general	> 2 mm																																																																	
Pandeo de placas	> 2 mm	> 2 mm																																																																	
Pandeo o fractura del refuerzo	> 2 mm	> 2 mm																																																																	
Grietas por cortante > 5 mm		> 2 mm																																																																	
G. inclinada en castillo > 1 mm		...																																																																	
DAÑOS EN OTROS ELEMENTOS																																																																			
Exteriores <input type="checkbox"/> Vidrios <input type="checkbox"/> Torres de anuncios <input type="checkbox"/> Acabados <input type="checkbox"/> Fachadas <input type="checkbox"/> Balcones		<input type="checkbox"/> Pretiles <input type="checkbox"/> Tanques elevados <input type="checkbox"/> Bardas <input type="checkbox"/> Otros: _____		Interiores <input type="checkbox"/> Muros divisorios o particiones <input type="checkbox"/> Cielos rasos/plafones <input type="checkbox"/> Lámparas <input type="checkbox"/> Escaleras		<input type="checkbox"/> Elevadores <input type="checkbox"/> Instalaciones (Gas, Eléctrica, etc.) <input type="checkbox"/> Derrames tóxicos																																																													
CROQUIS DEL INMUEBLE																																																																			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="7" style="height: 100px; vertical-align: top; border: none;"></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"> (Marcar el Norte) N </td> </tr> </table>															(Marcar el Norte) N																																																				
							(Marcar el Norte) N																																																												

Figura 2.8.3 Formato de captura de datos del CENAPRED (2011) (continuación)

CROQUIS DEL INMUEBLE

(Marcar el Norte) 

Figura 2.8.4 Formato de captura de datos del CENAPRED (2011) (continuación)

2.8.4 Atributos

De forma general, el formato de inspección contiene cuatro secciones. La primera sección corresponde a los datos generales del edificio donde se solicitan los datos de la visita de inspección, la información general del inmueble, condiciones de uso, grupo de importancia y estado de ocupación del inmueble:

a) Datos de la visita de inspección

- Fecha
- Hora
- Duración de la visita
- Clave
- Nombre del evaluador

b) Información general del inmueble

- Nombre del inmueble
- Nombre del edificio
- Calle y número
- Coordenadas
- Colonia
- Código postal
- Localidad
- Delegación
- Estado
- Referencias
- Nombre de la persona contactada
- Cargo
- Teléfono

c) Uso del inmueble

- Uso
- Grupo de importancia
- Estado de ocupación

La segunda sección corresponde a las características de la estructura donde se solicitan datos referentes al terreno y cimentación, a la geometría de la estructura, a las características de vulnerabilidad, al sistema estructural y a las condiciones de rehabilitación previas. Lo anterior se detalla a continuación:

a) Terreno y cimentación

- Topografía

- Tipo de suelo
- Zona geotécnica
- Cimentación superficial
- Cimentación profunda

b) Características de la estructura

- Número de niveles
- Número de sótanos
- Año de construcción
- Año de rehabilitación
- Área del terreno
- Área en planta
- Dimensiones generales
- Instalaciones

c) Vulnerabilidad

- Posición en manzana
- Irregularidad en planta
- Irregularidad en elevación
- Otras fuentes de vulnerabilidad
- Edificio vecino crítico

d) Sistema estructural

- Material de elementos
- Secciones de elementos
- Sistema estructural por nivel y por dirección en planta
- Sistema de piso
- Cubierta de techo
- Existencia de planos y/o memorias

e) Rehabilitación

- Tipo
- Técnicas empleadas
- Descripción breve

La tercera sección es referente a la evaluación de los daños, para lo cual, se registra en el formato información relacionada con los daños generales del inmueble, de los daños máximos observables y de los daños en otros elementos.

a) Daños generales del inmueble

- Problemas geotécnicos
- Condiciones de colapso total
- Condiciones de colapso parcial

b) Daños máximos observables

- Tipo de daño y características en elementos estructurales
- Tipo de daño en sistema de piso/techo
- Porcentaje de elementos dañados en el entrepiso crítico
- Daño en elementos exteriores
- Daño en elementos interiores

La cuarta sección corresponde a la elaboración del croquis del inmueble, donde se deben dibujar:

- El croquis general del predio con la ubicación de calles o principales rasgos urbanos, y la ubicación del inmueble dentro del predio.
- El croquis de la planta tipo del edificio, cuerpo o área inspeccionada.
- Elevación del edificio, cuerpo o área inspeccionada.
- Figuras auxiliares.

2.8.5 Resultados

Esta metodología no es concluyente acerca de la condición del edificio, ya que no ofrece los criterios para que, con base en la información recopilada, se emita algún juicio acerca de la seguridad del edificio.

2.8.6 Limitaciones y precisión

La metodología CENAPRED es aplicable a estructuras del grupo A y B conformadas por cualquier tipo de sistema estructural y el número de niveles es indistinto. Su costo de aplicación es bajo, su tiempo de ejecución es corto y requiere de pocos evaluadores con juicio ingenieril y de una capacitación básica cuya finalidad es uniformar criterios para el correcto llenado del formato y adicionalmente, para la identificación del tipo de daño en los elementos. No se puede hablar de precisión ya que no es una metodología concluyente sobre la condición del inmueble.

2.9 METODOLOGÍA UAM 1987

La metodología de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), fue desarrollada en 1987 por el Dr. Jesús Iglesias a raíz del sismo de 1985 en la Ciudad de México (Iglesias et al., 1987). Se concentraron los esfuerzos en el estudio de los edificios dañados con el objeto de elaborar un mapa de intensidades a partir de la evaluación de la capacidad sísmica de dichos inmuebles. Para este fin se desarrolló un método simplificado de dos niveles de evaluación que pudo ser aplicado en varios centenares de estructuras con daños graves, en la Ciudad de México. Según el autor, el resultado más importante de este trabajo fue la propuesta de zonificación sísmica de la Ciudad de México.

2.9.1 Niveles de análisis

La metodología UAM 1987 tiene dos niveles de evaluación, uno de nivel 1 y otro de nivel 2, que de acuerdo con las consideraciones generales de este documento (sección 1.1) corresponden a la fase pre-sismo y a los niveles de evaluación de “Nivel 1” y de “Nivel 2”, respectivamente. La metodología emplea cálculos de bajo nivel de complejidad para obtener conclusiones acerca de la condición del edificio.

2.9.2 Objetivos

La metodología UAM 1987 de “Nivel 1” se basa en la inspección visual del inmueble, durante la cual se recaba información general sobre su estructuración, el comportamiento de su cimentación, su ubicación y el deterioro que presenta. A partir de dichos datos, este nivel permitirá identificar las características que se asocian a un mal comportamiento sísmico y calificar la gravedad de cada una de ellas.

La metodología UAM 1987 de “Nivel 2” se basa en la información complementaria a la de “Nivel 1”, con más énfasis en la detección de posibles daños ocultos o de reparaciones previas, sobre todo, que incluya las dimensiones de los claros, las alturas de entrepiso y las secciones de todos los elementos de sustentación (columnas y muros) en cada planta. Este nivel permitirá determinar el coeficiente de resistencia del edificio, que al compararlo con el nivel de intensidad correspondiente a la zona se determina el nivel de seguridad.

2.9.3 Procedimiento

2.9.3.1 Metodología de Nivel 1

El procedimiento de evaluación consiste en asignar una calificación a cada uno de cinco índices que representan los aspectos más relevantes que afectan la seguridad sísmica de una estructura. Los índices propuestos son los siguientes:

1. Estructuración en planta. Considera la distribución y rigidez de los elementos estructurales, así como las características de la forma en planta del edificio.
2. Estructuración en elevación. Considera las características en elevación del sistema estructural, incluyendo la relación de esbeltez.
3. Cimentación. Identifica los distintos problemas de las deformaciones de la cimentación que inciden en la estabilidad de la estructura.
4. Ubicación. Toma en cuenta la situación geográfica del inmueble dentro de la ciudad, así como su interacción con los edificios colindantes.
5. Deterioro. Refleja el grado en que la capacidad sísmica ha sido afectada por sismos previos, por la edad o por un mantenimiento deficiente.

Cada índice se califica en tres niveles que se asocian a los términos “Bajo”, “Intermedio” y “Alto”, según la importancia del problema. A la calificación de cada índice se le asigna un valor numérico. La suma de las calificaciones correspondientes a los cinco índices define el nivel de seguridad sísmica “S”, del cual depende la necesidad de proceder a un nivel superior de evaluación. A continuación, se detalla el procedimiento a seguir para analizar cada uno de los índices propuestos.

1. Estructuración en planta

El aspecto principal por identificar es la asimetría en la disposición y rigidez de los elementos estructurales que pueden contribuir a la rigidez, lo que da lugar a efectos de torsión significativos. Además, la forma irregular de la planta, así como la proporción excesiva de largo a corto y la presencia de aberturas de grandes dimensiones y en posición asimétrica, también resultan perjudiciales.

La torsión puede calificarse “Alto” cuando da lugar a una excentricidad de más de 20% de la dimensión de la planta en la dirección de la excentricidad. Pueden considerarse en este caso los edificios en esquina, con una o dos colindancias con marcos rellenos por muros de mampostería, sin que existan elementos que compensen su rigidez.

También los que tengan un cubo rígido de elevadores y escaleras en posición en exceso asimétrica.

La presencia de entrantes y salientes, especialmente en posición asimétrica, puede calificarse “Alto” si excede del 30% del área total en planta.

En cuanto a la relación de lado largo a corto, ésta se considerará intermedia cuando sea mayor que 3.

La existencia simultánea de más de uno de los problemas descritos anteriormente deberá tenerse en cuenta de manera aditiva en la calificación, sin que ésta exceda la de “Alto”.

2. Estructuración en elevación

En este índice se incluyen factores de distinta naturaleza asociados a las características del edificio en elevación.

La relación de la altura a la dimensión menor de la base es un índice de la esbeltez de la estructura se califica “Intermedio” cuando es mayor que 2.5.

Adicionalmente, la discontinuidad en geometría, rigidez y resistencia puede calificarse “Alto” cuando se presente una variación de estas características mayor que 30% en entresijos consecutivos.

Otros factores por tenerse en cuenta en la evaluación son: la doble altura de planta baja y la presencia de columnas cortas, que deben penalizarse, así como la abundancia de muros divisorios en todos los pisos, distribuidos en forma simétrica, que deberá mejorar la calificación de este índice.

3. Cimentación

Existen tres tipos de mal comportamiento que inciden en la seguridad ante sismo: el desplome; los asentamientos diferenciales y la emersión o el hundimiento uniforme.

El desplome se calificará “Alto” cuando exceda de 2% de la altura total del edificio.

Con respecto a los hundimientos diferenciales, se calificará “Alto” una diferencia de nivel entre las bases de columnas contiguas igual o mayor que 0.8 % de la distancia entre las mismas.

Para el hundimiento o emersión se sugiere considerar “Alto” un valor de 40 cm o mayor.

4. Ubicación

Uno de los factores a evaluar en este punto es la ubicación dentro de una zona de alta sismicidad. En el caso de la Ciudad de México las zonas de alta sismicidad están definidas por el mapa de la zonificación sísmica del RCDF-87. El otro factor es la colindancia con edificios con los cuales pueda haber golpeteo durante el sismo. Se considera peligroso que existan edificios colindantes a una separación menor que 0.006, 0.007 y 0.008 de la altura del más bajo, en las zonas de suelo duro, transición y lago de la Ciudad de México, respectivamente, en especial si las alturas de los inmuebles son diferentes y no hay coincidencia en los niveles de las losas.

Se sugiere que cuando se presente una de las dos situaciones mencionadas el índice se califique como “Intermedio” y cuando se presenten las dos se defina como “Alto”.

5. Deterioro

El factor dominante en este índice es la detección de daños por sismos previos. Se excluyen aquellos caso en que se observen daños estructurales que obliguen una reparación inmediata.

Si existe evidencia de que el edificio ha sufrido daños en elementos no estructurales únicamente, se asignará una calificación de “Intermedio”.

Si no ha habido daños estructurales causados por sismos anteriores, se calificará como “Alto” si sólo se ha efectuado una reparación local, o “Intermedio” si la reparación fue mayor.

También interviene la degradación general de la construcción por efectos ajenos al sismo. La calificación se aumentará en un nivel si el inmueble tiene más de 30 años, o bien se observan evidencias de mantenimiento deficiente que afecte los elementos estructurales, como humedades o desprendimiento y deterioro de los materiales.

6. Evaluación del nivel de seguridad

A la calificación de cada uno de los índices que intervienen en la evaluación se le asigna una equivalencia numérica “C” de acuerdo con la convención de la tabla 2.6.1.

Tabla 2.9.1 Equivalencia numérica “C” de la metodología UAM (1987)

Índice	Equivalencia numérica “C”
Alto	2
Intermedio	1
Bajo	0

El nivel de seguridad será la suma de las calificaciones correspondientes a los cinco índices de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$S = \sum C_i$$

2.9.3.2 Metodología de Nivel 2

Este procedimiento se basa en la consideración de que, para la condición de falla, el cociente de la fuerza cortante resistente entre la fuerza actuante en un entrepiso determinado es igual a la unidad

$$\frac{V_{Ri} S_i}{K_i V_{Ai} W} = 1$$

Donde:

- V_{Ri} fuerza cortante en el entrepiso i .
- S_i factor correctivo por estructuración y deterioro.
- K_i coeficiente sísmico reducido por ductilidad correspondiente a la falla del entrepiso i .
- V_{Ai} distribución de la fuerza cortante con la altura según el método estático.
- W peso total de la estructura.

Despejando el coeficiente sísmico reducido por ductilidad (factor de comportamiento sísmico) se calcula K_i en cada entrepiso del edificio en las dos direcciones principales.

$$K_i = \frac{V_{Ri} S_i}{V_{Ai} W}$$

El menor valor del coeficiente de resistencia que define la respuesta del entrepiso en la dirección más crítica, es adoptado como el índice de la capacidad sísmica de todo el edificio. El procedimiento inicia con el cálculo de la fuerza cortante resistente, continúa con el cálculo del factor correctivo por estructuración y deterioro y finaliza con el cálculo de la fuerza cortante actuante como se describe a continuación:

1. Fuerza cortante resistente V_{Ri}

La fuerza cortante resistente se calcula mediante la combinación de sus resistencias en forma proporcional a sus rigideces:

$$V_{Ri} = [\alpha_1 (V_m + V_{cc}) + \alpha_2 V_m + \alpha_3 V_c] F$$

Donde:

- V_i fuerza cortante resistente del elemento tipo i .
- α_i factor de participación (tabla 2.6.2 y figura 2.6.1).
- F factor de corrección por ductilidad, el cual es 1 si $V_{cc} = V_m = 0$ y es 0.8 si V_{cc} o $V_m \neq 0$.

El factor de corrección por ductilidad permite considerar la reducción de ductilidad que representa la falla frágil de columnas cortas y muros de mampostería.

Tabla 2.9.2 Valores de factores de participación de la metodología UAM (1987)

Resistencias máximas de elementos estructurales	α_1	α_2	α_3
A	1.0	0.7	0.5
B	0.0	1.0	0.7
C	0.0	0.0	1.0

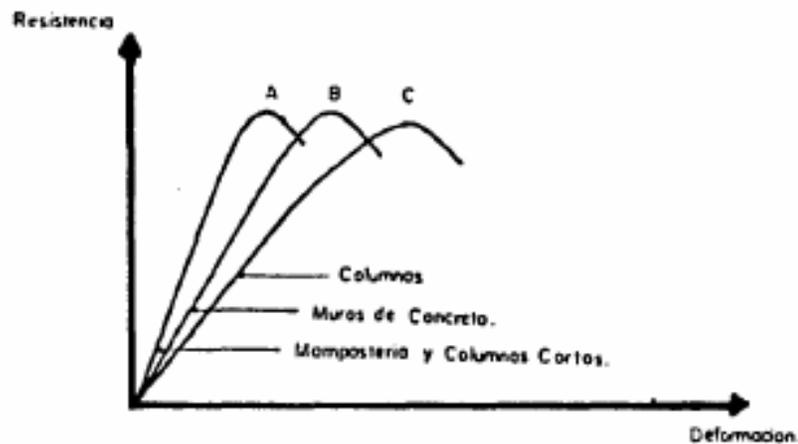


Figura 2.9.1 Resistencias máximas A, B y C de elementos estructurales de la metodología UAM (1987)

Mediante los factores de participación se toma en cuenta el desfaseamiento en el eje de los desplazamientos de las resistencias máximas de los elementos estructurales debido a sus diferentes rigideces y capacidades de deformación (tabla 2.6.3).

La resistencia de los elementos estructurales se obtiene multiplicando las áreas netas de sus secciones por los esfuerzos resistentes correspondientes.

$$V_i = v_i A_i$$

Donde:

- v_i esfuerzo resistente al corte de los elementos tipo i (tabla 2.6.3).
- A_i área total de elementos tipo i en la dirección considerada.

Tabla 2.9.3 Valores propuestos para los esfuerzos resistentes de la metodología UAM (1987)

Elemento	Esfuerzo resistente (kg/cm ²)
Muros de mampostería	1.5
Columnas cortas $H/h \leq 2$	15
Muros de concreto con columnas en los extremos	20
Muros de concreto con una columna de extremo	16
Muros de concreto sin columnas en los extremos	12
Columnas $2 < H/h \leq 6$	10
Columnas $6 < H/h \leq 10$	7
Columnas $H/h > 10$	5
Nota: H/h es la relación entre la altura no restringida de la columna y su peralte total	

2. Factor correctivo por estructuración y deterioro S_i

El factor de corrección toma en cuenta los problemas derivados de la concepción estructural del edificio, del comportamiento de su cimentación y del deterioro que presenta. El valor del factor de corrección para un entrepiso determinado se calcula como el producto de los factores correspondientes a cinco índices de la metodología de Nivel 1.

$$S_i = q_1 q_2 q_3 q_4 q_5$$

Donde:

q_i factor de corrección del índice i .

El factor de corrección se define por la calificación asociada, que puede ser: “Alto” (0.8), “Intermedio” (0.9) o “Bajo” (1.0). La existencia de más de un problemas asociado a un mismo índice en ningún caso deberá conducir a valores de q_i inferiores a 0.8 (tabla 2.6.4).

Tabla 2.9.4 Valores propuestos de los factores de corrección de la metodología UAM (1987)

Concepto		q_i		
		0.8	0.9	1.0
I	Estructuración en planta q_1	$e/B > 20\%$ $DA > 30\%$	$10\% < e/B \leq 20\%$ $10\% < DA \leq 30\%$ $L/l > 3$	$e/B \leq 10\%$ $DA \leq 10\%$ $L/l \leq 3$
II	Estructuración en elevación q_2	$DA > 30\%$	$10\% < DA \leq 30\%$ <i>PB flexible</i>	$DA \leq 10\%$
III	Cimentación q_3	$d > 2\%$ $h > 40$ $hD/l > 0.008$	$1\% < d \leq 2\%$ $20 < h \leq 40$ $0.004 < hD/l \leq 0.008$	$d \leq 1\%$ $h \leq 20$ $hD/l \leq 0.004$
IV	Ubicación q_4	$s/H < sr$	$sr \leq s/H < 2sr$	$s/H \geq 2sr$
V	Deterioro q_5	> 30 años <i>Daño fuerte</i> <i>Reparación mayor</i>	10 a 30 años <i>Daño ligero</i> <i>Reparación menor</i>	< 10 años <i>Daño no estructural</i>

Donde:

Concepto I

- e/B es la relación entre la excentricidad y la dimensión de la planta en dirección de la excentricidad.
 DA es el área de entrantes o salientes como porcentaje del área total.
 L/l es la relación de lado largo a corto.

Concepto II

- DA representa los cambios en porcentaje del área de la planta o del área de elementos estructurales (columnas y muros).

Concepto III

- d es la pendiente del desplomo.
 h es el hundimiento en centímetros.
 hD/l es el hundimiento diferencial entre columnas vecinas.

Concepto IV

- s/H es la relación entre la separación de edificios colindantes y la altura del menor.
 sr se tomará como 0.008, 0.007 y 0.006 para zona de lago, transición y lomas, respectivamente.

Concepto V

El criterio de clasificación del daño causado por sismo es el de la tabla 2.6.5. Reparación mayor es la que persigue la rigidización y restructuración del edificio original.

Tabla 2.9.5 Clasificación de daños causados por sismo de la metodología UAM (1987)

Tipo de daño	Descripción
No estructural	Daños únicamente en elementos no estructurales
Estructural ligero	Grietas de menos de 0.5 mm de ancho en elementos de concreto Grietas de menos de 3 mm de ancho en muros de mampostería
Estructural fuerte	Grietas de menos de 0.5 mm de ancho en elementos de concreto Grietas de 3 mm a 10 mm de ancho en muros de mampostería
Estructural grave	Grietas de más de 1 mm de ancho en elementos de concreto Aberturas en muros de mampostería Desprendimiento del recubrimiento en columnas Aplastamiento del concreto, rotura de estribos y pandeo del refuerzo en vigas, columnas y muros de concreto Agrietamiento de capitales Desplomos en columnas Desplomo del edificio de más de 2% de su altura

Hundimiento o emersión de más de 40 cm

3. Fuerza cortante actuante

Para calcular la distribución de la fuerza cortante actuante se utilizan las hipótesis del método de análisis estático.

$$V_{Ai} = FC \sum_{j=i}^n \frac{w_j h_j}{\sum_{j=i}^n w_j h_j} W$$

Donde:

- V_{Ai} fuerza cortante actuante en el entrepiso i .
- n número de pisos.
- w_j peso del piso j .
- h_j altura del piso j desde el nivel del terreno.
- FC factor de carga igual a 1.1.
- W peso total de la estructura.

2.9.4 Resultados

2.9.4.1 Metodología de Nivel 1

Para clasificar a los edificios según su nivel de seguridad sísmica, se distinguen las construcciones del grupo A, con alta concentración de personas o de gran importancia, de las del grupo B, siguiendo los criterios del RCDF-87.

La clasificación comprende tres categorías para el nivel de seguridad de acuerdo con la tabla 2.6.6.

Tabla 2.9.6 Nivel de seguridad "S" de la metodología UAM (1987)

Categoría	Nivel de seguridad "S"	
	Grupo A	Grupo B
1	-	0 a 3
2	0 a 5	4 a 7
3	6 a 10	8 a 10

Se considera que el nivel es adecuado cuando corresponda a la categoría 1. Si cae dentro de la categoría 2, será necesario proceder a una evaluación adicional de nivel superior. En aquellos casos en que el nivel de seguridad se encuentre en la categoría 3 deberá efectuarse una evaluación detallada que defina si es o no necesario un proyecto de refuerzo.

2.9.4.2 Metodología de Nivel 2

Una vez calculado el coeficiente de resistencia del edificio, es preciso determinar el nivel de intensidad correspondiente a la zona donde se ubique K_S , de acuerdo con la zonificación sísmica de la ciudad y del grupo A o B a que pertenezca (tabla 2.6.7).

Tabla 2.9.7 Valores propuestos de nivel de intensidad de la metodología UAM (1987)

Nivel de intensidad K_S		
Grupo A	Grupo B	Zona
0.200	0.133	En las zonas de alta sismicidad
0.150	0.100	En el resto de la zona de suelo blando (Iago)

La comparación de K con K_S permite clasificar el nivel de seguridad del inmueble conforme a dos categorías (tabla 2.6.8)

Tabla 2.9.8 Categorías de seguridad de la metodología UAM (1987)

Categoría	Coeficiente de resistencia
1	$K \geq K_S$
2	$K < K_S$

Se considera que el nivel de seguridad es adecuado en aquellas estructuras cuyo coeficiente de resistencia las ubique en la categoría 1. En los caso en que el nivel de seguridad se encuentre en la categoría 2, deberá efectuarse una evaluación detallada que defina si es o no necesario un proyecto de refuerzo.

2.9.5 Limitaciones y precisión

Las metodologías de la UAM 1987 de Nivel 1 y de Nivel 2, son aplicables a estructuras del grupo A y B conformadas por sistemas estructurales a base de elementos de concreto reforzado y de mampostería.

La metodología de Nivel 1 tiene un costo de aplicación bajo, su tiempo de ejecución es corto y requiere de pocos evaluadores con juicio ingenieril y de una capacitación básica cuya finalidad es simplemente uniformar criterios para la identificación de las vulnerabilidades del edificio. Su precisión es media debido a que se establecen intervalos definidos para establecer el nivel de seguridad de la edificaciones.

La metodología de Nivel 2, al fundamentarse en el método estático, se limita a edificios de baja y mediana altura cuyo modo fundamental predominantemente sea el primero. Su costo de aplicación es medio, su tiempo de ejecución es medio y requiere de personal con experiencia en diseño sísmico, estructural y geotécnico por lo que se debe prever la necesidad de capacitar adecuadamente a los evaluadores con la finalidad de comprender los fundamentos de la metodología. La precisión de esta metodología es alta debido a que ha sido calibrada para las condiciones de peligro y vulnerabilidad

de la zona de estudio. Sin embargo, no está disponible en la literatura el estudio de la calibración de la metodología.

2.10 METODOLOGÍA UAM 2009

La metodología de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), fue desarrollada en 2009. La metodología UAM 2009 está basada en niveles de evaluación, compuesta por un método subjetivo (evaluación rápida y visual), necesario para la evaluación de las estructuras en masa, y tres niveles de evaluación con métodos analíticos fundamentados en los principios utilizados para el diseño de estructuras nuevas y en los conocimientos adquiridos a partir de la actividad sísmica y los daños sufridos en México.

2.10.1 Niveles de análisis

La metodología UAM 2009 tiene cuatro niveles de evaluación, “Evaluación rápida”, “Nivel 1”, “Nivel 2” y “Nivel 3” que, de acuerdo con las consideraciones generales de este documento (sección 1.1) corresponden a la fase pre-sismo y a los niveles de evaluación de “Nivel 2” para los dos primeros niveles y de “Nivel 3” para los dos últimos niveles. En este informe se detalla el nivel de “Evaluación rápida” la cual emplea cálculos de bajo nivel de complejidad para obtener conclusiones acerca de la condición del edificio.

2.10.2 Objetivos

La metodología UAM 2009 de “Evaluación rápida” se basa en la inspección visual de la edificación, que permite calificar a la estructura con ciertos parámetros, y así es posible definir índices que proporcionan una percepción general del estado de la estructura. Este índice subjetivo da una idea global de la calidad de la estructura, pero, es necesario revisar con más detalle los edificios que tienen un índice sísmico desfavorable. Es decir, si no cumple deberá llevarse a una evaluación Nivel 1, para la cual se requiere de más información y documentación, como planos estructurales de la superestructura y de la cimentación y un levantamiento de la geometría del edificio.

La metodología UAM 2009 de “Nivel 1” se basa en el procedimiento de “Nivel 2” desarrollado por la UAM en 1987 para la evaluación simplificada de la capacidad sísmica de edificios de mampostería y de concreto de mediana altura (Iglesias, 1987). La información complementaria necesaria, requiere de una inspección detallada que la correspondiente al nivel anterior, que ponga más énfasis en la detección de posibles daños ocultos o de reparaciones previas; y, además, que incluya las dimensiones de los claros, las alturas de los entrepisos y las secciones de todos los elementos de apoyo (columnas y muros) en cada planta. Para recabar esta información se utiliza el formato correspondiente al “Nivel 1”. La clasificación de la estructura, correspondiente a este nivel de evaluación, permite definir si el grado de seguridad es adecuado o si es necesario proceder a una evaluación detallada, que aclare posible necesidad de un proyecto de reparación o de refuerzo. Es importante señalar que, la validez del “Método de Evaluación Simplificado” es para estructuras de hasta 10 niveles. Sin embargo, es un indicativo del estado del edificio, pero no puede considerarse como único elemento de juicio, por tanto, será necesario apoyarse en mediciones in situ del periodo de la estructura, con el propósito de estimar su flexibilidad, por ejemplo.

Metodología UAM 2009 de “Nivel 2”. Los dos primeros niveles de evaluación están orientados a efectuar la revisión masiva de las edificaciones mediante procedimientos de evaluación simplificados, pero rápidos y económicos, que permitan distinguir aquellos casos, en que sea necesario proceder a una evaluación detallada. Este nivel de evaluación requiere un levantamiento detallado de los elementos y su geometría, es también necesario el conocimiento de las especificaciones constructivas, materiales utilizados y su distribución, esta evaluación se realiza en la planta baja y en los entresijos más vulnerables.

Metodología UAM 2009 de “Nivel 3”. Este nivel de evaluación es el parámetro último que define tanto la seguridad como vulnerabilidad de la estructura. Para este nivel de evaluación se requieren los planos estructurales. Por evaluación detallada se entiende aquella que determina la capacidad sísmica de la estructura, siguiendo los procedimientos de análisis y revisión que marca el Reglamento de Construcciones en vigor de la zona a evaluar y sus respectivas Normas Técnicas Complementarias. El resultado de esta evaluación puede conducir finalmente con la necesidad de efectuar la reparación o refuerzo de la estructura.

2.10.3 Procedimiento

El método de evaluación rápida presentada por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), considera el cálculo de un índice subjetivo, que tiene como propósito la evaluación en masa de las estructuras; este índice da un parámetro general de la seguridad de la estructura. Al tratarse de un parámetro subjetivo no puede definir la seguridad global de la estructura, pero sí permite definir aquellas estructuras que tienen una seguridad aceptable de aquellas a las que es necesario hacerles estudios más detallados. A continuación, se detalla el procedimiento a seguir:

1. Índice sísmico I_S

El índice Sísmico (I_S) resulta del producto de otros tres índices: estructural (I_E), de deterioro (I_D) y de la capacidad resistente (I_V). Este índice se obtiene mediante:

$$I_S = I_V I_E I_D$$

I_V , es el Índice de resistencia, en un primer nivel de evaluación se puede determinar como el cociente del cortante resistente entre la fuerza cortante en la base, para lo cual se considera la suma de las áreas de las secciones de columnas y de muros y se supone una resistencia unitaria promedio:

$$I_V = \frac{V_{res}}{V_{act}}$$

I_E , es el Índice Estructural, que se obtiene como el producto de los factores de la tabla 2.7.1. Este índice considera la configuración estructural del edificio y se determina a partir de información obtenida de una inspección, es decir:

$$I_E = E_1 E_2 \dots E_n$$

I_D , es el Índice de Deterioro, que toma en cuenta el efecto del tiempo sobre el edificio, y se calcula como el producto de los sub-factores de la tabla 2.7.2:

$$I_D = D_1 D_2 \dots D_n$$

2. Índice estructural I_E

Factores en Planta. Se consideran factores que pueden inducir efectos de torsión por masas excéntricas, o por irregularidad geométrica, que puedan incrementar las fuerzas cortantes de entrepiso. También, se incluyen factores que propicien concentraciones de esfuerzos. Y, además, se considera la eficiencia del sistema de piso para actuar como diafragma rígido. Por lo tanto, se consideran:

- Relación de aspecto
- Masa
- Elementos resistentes
- Huecos
- Entrantes y salientes
- Diafragma rígido

Factores en Elevación. Se consideran los factores que pueden inducir efectos de torsión que incrementen los cortantes de entrepiso, y que puedan propiciar cambios bruscos en la altura, que genere concentraciones de esfuerzos en zonas localizadas. También se considera la resistencia y rigidez de planta baja, pensando que la resistencia de la planta baja es uno de los factores más importantes en la resistencia de un edificio.

- Relación Alto/Ancho
- Variación de elevación
- Variación de alturas de entrepiso
- Distribución de Masas
- Planta baja flexible

Otros Factores. Se incluyen aquí factores que puedan ocasionar fallas locales graves por fuerza cortante en columnas y en general en elementos resistentes verticales. También, factores que consideran el flujo de fuerzas, ya que una de las condiciones para que un edificio tenga una respuesta satisfactoria ante la acción simultánea de cargas gravitacionales y horizontales son que las fuerzas se transmitan adecuadamente desde la azotea hasta la cimentación. Estos factores son:

- Golpeteo
- Columnas cortas
- Discontinuidad de elementos resistentes
- Periodo

En la tabla 2.7.1 se presentan los factores de evaluación para la determinación del índice estructural.

Tabla 2.10.1 Coeficientes para definir el índice estructural de la metodología UAM (2009)

Factores	Aspecto	Buena	Regular	Mala	E
Factores en planta	Relación Largo/Ancho B/A	1.0 $B/A < 2.5$	0.95 $2.5 < B/A < 4$	0.9 $B/A > 4$	E1
	Simetría en masas	1.0	0.9	0.8	E2
	Simetría de elementos resistentes	1.0	0.9	0.8	E3
	Huecos $c = Ahueco/Aplanta$	1.0 $c < 0.1$	0.925 $0.1 < c < 0.2$	0.85 $c > 0.2$	E4
	Entrantes y salientes $d = h/H$	0.9 $d < 0.1$	0.925 $0.1 < d < 0.2$	0.85 $d > 0.2$	E5
	Diafragma Rígido	1.0	0.9	0.8	E6
Factores en elevación	Relación Alto/Ancho H/A	1.0 $H/A < 2.5$	0.95 $2.5 < H/A < 4$	0.9 $H/A > 4$	E7
	Variación en Elevación A_i =área respecto al piso inferior	1.0 $70\% < A_i < 110\%$	0.9 $A_i < 70\%$	0.8 $A_i > 110\%$	E8
	Variación de alturas de entepiso $h = H_i + 1/H_i$	1.0 $1 < h < 1.25$	0.9 $1.25 < h < 1.45$	0.8 $h < 1$ o $h > 4.5$	E9
	Simetría en masas	1.0	0.9 Coinciden los pisos	0.8 No coinciden los pisos	E10
	Planta Baja Flexible	1.0	0.9	0.775	E11
Otros factores	Golpeteo	1.0	0.9	0.775	E12
	Columnas Cortas	1.0	0.9	0.775	E13
	Discontinuidad de elementos resistentes	1.0	0.9	0.8	E14
	Cercanía entre periodos (suelo y edificio)	1.0 1 a 7 niveles	0.9 8 a 12 niveles	0.8 Más de 13 niveles	E15

3. Índice de deterioro I_D

El comportamiento estructural (resistencia, rigidez, ductilidad, etc.), en el proceso del diseño de un edificio, se considera que no es afectado por ciertos factores que alteran o modifican sus condiciones iniciales, como la presencia de grietas, deformaciones, asentamientos, y en general por factores a largo y mediano plazo. Por tal motivo, el método de evaluación requiere que se afecte la capacidad sísmica del edificio por un índice de deterioro. Los factores son:

- Deflexiones
- Grietas en elementos estructurales
- Cambio de uso
- Edad del edificio
- Remodelaciones

- Daños previos por sismo

En la tabla 2.7.2 se presentan los coeficientes relacionados a los factores de evaluación para definir el índice de deterioro

Tabla 2.10.2 Coeficientes para definir el índice de deterioro de la metodología UAM (2009)

Factores	Aspecto	Buena	Regular	Mala	E
Factores de largo plazo	Deflexiones	1.0 No hay	0.95 Visibles	0.9 Desplome	D1
	Grietas en elementos estructurales	1.0 Pequeñas	0.9 Medianas	0.8 Grandes	D2
	Cambio de uso	1.0 No	-	0.8 Si	D3
	Edad del edificio	1.0 Edad < 5 años	0.925 5 < Edad < 20	0.85 Edad > 20	D4
	Remodelaciones	1.0 No	0.9 Afecta poco	0.8 Si afectan	D5
	Daños previos por sismo	1.0 No	0.9 Medianos	0.8 Notables	D6

4. Índice de resistencia I_V

Para la revisión de edificios, se debe calcular el cortante resistente, V_{res} y posteriormente dividirlo para el cortante actuante V_{act} que depende de la zona geotécnica de la Ciudad de México.

$$V_{res} = E W$$

Donde:

E es un coeficiente de capacidad sísmica.

W es el peso de la estructura.

El coeficiente de capacidad sísmica se debe calcular para edificios sin columnas cortas y para edificios con columnas cortas

a) Edificio sin columnas cortas

$$E = \left[\frac{(n+1)}{(n+i)} \right] (C_{mcr} + F_1 C_c + C_{mmp}) F_m$$

b) Edificios con columnas cortas

$$E = \left[\frac{(n+1)}{(n+i)} \right] (C_{cc} + F_2 C_{mcr} + F_3 C_c) F_{cc}$$

Donde:

F_1	0.7 si $C_{mcr} = 0$, $F_1 = 1.0$.
F_2	0.7.
F_3	0.5.
F_{CC}	0.8.
F_m	1.0.

$$C_{mcr} = \frac{f_c}{200W} (30A_{mcr1} + 20A_{mcr2} + 10A_{mcr3})$$

$$C_c = \frac{f_c}{200W} (10A_{c1} + 7A_{c2})$$

$$C_{mmp} = \frac{3A_{mmp}}{W}$$

$$C_{cc} = \frac{f_c}{200W} 15A_{cc}$$

Donde:

C_{mcr}	es la fuerza cortante proporcionada por muros de concreto reforzado.
C_c	es la fuerza cortante proporcionada por columnas normales de concreto reforzado.
C_{cc}	es la fuerza cortante proporcionada para columnas cortas de concreto reforzado.
C_{mmp}	es la fuerza cortante de muros de mampostería.
A_{mcr1}	suma de las áreas de muros de concreto reforzado con columnas de confinamiento en los extremos sobre el nivel de interés (cm^2).
A_{mcr2}	suma de las áreas de muros de concreto reforzado con una columna de confinamiento en el extremo sobre el nivel de interés (cm^2).
A_{mcr3}	suma de las áreas de muros de concreto reforzado sin columnas de confinamiento en los extremos sobre el nivel de interés (cm^2).
A_{c1}	sumas de las áreas de columnas cuya relación h/d es menor que seis (cm^2).
A_{c2}	sumas de las áreas de columnas cuya relación h/d es mayor que seis (cm^2).
A_{cc}	es la suma de áreas de columnas cortas (cm^2).
A_{mmp}	es la suma de área de muros de mampostería.
n	es el número de niveles.
W	el peso de la estructura sobre el nivel de interés.

Los esfuerzos cortantes asignados se determinaron considerando los valores medios del esfuerzo cortante para muros con porcentaje medio de acero, conforme a las Normas Técnicas Complementarias de los materiales aplicables. El cortante actuante se obtiene de conformidad con las normas que rijan los reglamentos de construcción vigentes. Se acepta métodos simplificados, siempre y cuando la estructura cumpla con los requisitos necesarios indicados por las normas. El índice resistente, se obtiene al comparar los casos más desfavorables, siendo este la planta baja en caso de que la estructura presente regularidad en sus elementos estructurales.

2.10.4 Resultados

Los resultados de la evaluación se asocian con dos niveles de seguridad “Grado de Seguridad Adecuado”, “Grado de Seguridad Dudosa” y “Grado de Seguridad Obviamente Insegura” en función del índice Resistente.

2.10.5 Limitaciones y precisión

La metodología de la UAM 2009, es aplicable a estructuras del grupo A y B conformadas por sistemas estructurales a base de elementos de concreto reforzado y de mampostería de hasta 10 niveles. Su costo de aplicación y tiempo de ejecución es medio y requiere de personal con experiencia en diseño sísmico, estructural y geotécnico, por lo que se debe prever la necesidad de capacitar adecuadamente a los evaluadores con la finalidad de comprender los fundamentos de la metodología. La precisión de esta metodología es alta debido a que ha sido calibrada para las condiciones de peligro y vulnerabilidad de la zona de estudio. Sin embargo, no está disponible en la literatura el estudio de la calibración de la metodología.

2.11 METODOLOGÍA UAM 2012

La metodología de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), fue desarrollada en 2012. La metodología UAM 2012 corresponde a una metodología modificada de la metodología UAM 2009.

2.11.1 Niveles de análisis

La metodología UAM 2012 tiene un nivel de evaluación que corresponde a la modificación de la metodología de “Evaluación Rápida” de la metodología UAM 2009 y emplea cálculos de bajo nivel de complejidad para clasificar el nivel de seguridad del edificio. De acuerdo con las consideraciones generales de este documento, esta metodología fue desarrollada para aplicarse en la fases pre-sismo y corresponde a un nivel de evaluación de “Nivel 2”.

2.11.2 Objetivos

El método UAM-A modificado surge de la necesidad de evaluar la vulnerabilidad sísmica de los edificios de la base de datos perteneciente a la Universidad Autónoma Metropolitana. La metodología UAM 2012 de “Evaluación rápida” se basa en la inspección visual de la edificación, que permite calificar a la estructura con ciertos parámetros, y así es posible definir índices que proporcionan una percepción general del estado de la estructura. Este índice subjetivo da una idea global de la calidad de la estructura, pero, es necesario revisar con más detalle los edificios que tienen un índice sísmico desfavorable.

2.11.3 Procedimiento

1. Índice sísmico *IS*

El índice sísmico resulta de la suma de otros dos índices: estructural *IE*, y de deterioro *ID*. Este índice se obtiene mediante:

$$IS = IE + ID$$

2. Índice estructural IE

IE, es el Índice estructural, que se obtiene calificando a la estructura con 15 factores (E1, E2, E3...E15), asignándole una calificación de; Buena, Regular y Mala, con valores 0, 0.5 y 1 para cada caso y multiplicándolos por los factores de peso de la tabla 2.8.1. Este índice considera la configuración estructural del edificio y se determina a partir de información obtenida de una inspección, es decir:

$$IE = \frac{\sum EiWEi}{2 \sum W}$$

3. Índice de deterioro ID

ID, es el índice de deterioro, que toma en cuenta el efecto del tiempo sobre el edificio, y se calcula de la misma manera que el índice estructural utilizando la tabla 2.8.2.

$$ID = \frac{\sum DiWDi}{2 \sum W}$$

Tabla 2.11.1 Coeficientes para definir el índice estructural de la metodología UAM (2012)

Factores	Aspecto	Buena 0.0	Regular 0.5	Mala 1.0	WE
Factores en planta	Relación Largo/Ancho B/A	$B/A < 2.5$	$2.5 < B/A < 4$	$B/A > 4$	0.2
	Simetría en masas				0.5
	Simetría de elementos resistentes				0.5
	Huecos $c = Ahueco/Aplanta$	$c < 0.1$	$0.1 < c < 0.2$	$c > 0.2$	0.3
	Entrantes y salientes $d = h/H$	$d < 0.1$	$0.1 < d < 0.2$	$d > 0.2$	0.5
	Diafragma Rígido				0.5
Factores en elevación	Relación Alto/Ancho H/A	$H/A < 2.5$	$2.5 < H/A < 4$	$H/A > 4$	0.2
	Variación en Elevación Ai =área respecto al piso inferior	$70\% < Ai < 110\%$	$Ai < 70\%$	$Ai > 110\%$	0.5
	Variación de alturas de entrepiso $h = Hi + 1/Hi$	$1 < h < 1.25$	$1.25 < h < 1.45$	$h < 1$ o $h > 4.5$	0.5
	Simetría en masas		Coinciden los pisos	No coinciden los pisos	0.5
	Planta Baja Flexible				1.5

Otros factores	Golpeteo				1.5
	Columnas Cortas				1.5
	Discontinuidad de elementos resistentes				0.5
	Cercanía entre periodos (suelo y edificio)	1 a 7 niveles	8 a 12 niveles	Más de 13 niveles	0.5

Tabla 2.11.2 Coeficientes para definir el índice de deterioro de la metodología UAM (2012)

Factores	Aspecto	Buena 0.0	Regular 0.5	Mala 1.0	WD
Factores de largo plazo	Deflexiones	No hay	Visibles	Desplome	0.6
	Grietas en elementos estructurales	Pequeñas	Medianas	Grandes	1
	Cambio de uso	No		Si	1
	Edad del edificio	Edad < 5 años	5 < Edad < 20	Edad > 20	0.8
	Remodelaciones	No	Afecta poco	Si afectan	1
	Daños previos por sismo	No	Medianos	Notables	1

2.11.4 Resultados

El índice sísmico representa el resultado de la evaluación rápida (visual) del método UAM-A, se asegura que la estructura tiene un nivel de seguridad adecuado mientras el índice se mantenga menor a 0.4, si el índice es mayor, se deberá continuar con la evaluación de Nivel 1.

2.11.5 Limitaciones y precisión

La metodología de la UAM 2012, es aplicable a estructuras del grupo A y B conformadas por sistemas estructurales a base de elementos de concreto reforzado y de mampostería. Cuando se aplique el método estático para estimar el cortante actuante, esta metodología se limita a edificios de baja y mediana altura y cuyo modo fundamental predominantemente sea el primer modo. Su costo de aplicación es medio, su tiempo de ejecución es medio y requiere de personal con experiencia en diseño sísmico, estructural y geotécnico por lo que se debe prever la necesidad de capacitar adecuadamente a los evaluadores con la finalidad de comprender los fundamentos de la metodología. La precisión de esta metodología es alta debido a que ha sido calibrada para las condiciones de peligro y vulnerabilidad de la zona de estudio. Sin embargo, no está disponible en la literatura el estudio de la calibración de la metodología.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍAS DE OTROS PAÍSES

3.1 INTRODUCCIÓN

En este Capítulo, se describen las metodologías post-sísmica desarrolladas por Estados Unidos de América, Grecia, India, Japón, Nueva Zelanda y Turquía. Para cada metodología se detalla su evolución en el tiempo, la fase de aplicación, los niveles de análisis, los objetivos, el procedimiento de ejecución, los atributos solicitados, los resultados obtenidos, las limitaciones, el costo relativo, la precisión y los anexos correspondientes.

3.2 ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA - METODOLOGÍA ATC-20

El Manual de Procedimientos para la Evaluación de Seguridad de Edificios Después de un Sismo fue desarrollado en 1989 por el Consejo de Tecnología Aplicada (ATC, por su siglas en inglés). El propósito de la metodología ATC-20 es proveer guías y procedimientos para la evaluación de la seguridad de edificios comúnmente construidos en Estados Unidos. Adicionalmente, su intención es otorgar uniformidad a la calificación del daño de un edificio. La última actualización de este manual se realizó en el año 2005.

3.2.1 Niveles de análisis

La metodología ATC-20 tiene dos niveles de evaluación, un nivel de evaluación rápida y otro de evaluación detallada, que corresponden a un nivel de evaluación de “Nivel 1”. La metodología fue desarrollada para aplicarse en la fase post-sismo y se emplea un formato de inspección para la obtención de la clasificación de seguridad de la estructura.

3.2.2 Objetivos

El objetivo de la metodología de evaluación rápida es inspeccionar y evaluar rápidamente y con poco personal, los edificios ubicados en el área afectada. Este nivel busca identificar los edificios que necesitan de una evaluación más detallada por su condición de seguridad.

El objetivo de la metodología de evaluación detallada es determinar con mayor certeza el estado de seguridad del edificio que tienen afectaciones estructurales dudosas. Comúnmente estas son edificaciones previamente calificadas con etiquetas de “Uso restringido” o “Inseguras”.

3.2.3 Procedimiento

3.2.3.1 Evaluación rápida

El procedimiento de la metodología rápida inicia con un reconocimiento del área afectada o del área de la cual se sospecha que hay daño.

Cuando un edificio ha sido seleccionado para ser evaluado, la metodología de evaluación rápida se ejecuta en primera instancia, para lo cual se examina la estructura por la parte externa y se la rodea completamente si es posible. En el caso de que haya sospecha de daño o, los habitantes reporten un problema particular, que no puede ser visto adecuadamente desde el exterior, se inspecciona internamente el edificio. Esto con el objetivo de maximizar el número de inspecciones en el periodo inmediato después del evento sísmico. Si el edificio claramente presenta una condición no segura, no se debe ingresar al inmueble. A continuación, se describe el procedimiento.

Cada edificio es evaluado usando seis criterios básicos de la evaluación rápida dados en la tabla 3.2.1. Estos seis criterios son condiciones que, individual o colectivamente, son suficientes para garantizar la categoría de “Inseguro” o, en el caso de elementos en peligro de caer u otras amenazas, la categoría de “Área insegura”. La calificación de la condición de la estructura se realiza con respecto a la seguridad de sus ocupantes.

Tabla 3.2.1 Criterios básicos de evaluación rápida de la metodología del ATC-20 (2005)

Condición	Calificación
Edificio colapsado, parcialmente colapsado, o desplazado de su cimentación	Inseguro
Edificio o algún nivel significativamente con desplomo	Inseguro
Daño severo en elementos estructurales primarios, agrietamiento severo en muros u otra señal de deformaciones severas	Inseguro
Pretilos u otros elementos con peligro de caer	Área insegura, Inseguro
Grandes fisuras en el suelo, grandes movimientos de suelo o desplazamientos de taludes	Inseguro
Otros peligros como derrames tóxicos, contaminación de asbestos, ruptura de tuberías de gas, caída de líneas de electricidad.	Área insegura, Inseguro

La evaluación del edificio se basa en el juicio ingenieril del inspector. Al llenar el formato de evaluación rápida de la figura 3.2.1, se determina el grado del daño (Nulo/Ligero, Moderado o Severo) para cada condición de la tabla 3.2.1 y, adicionalmente se estima de manera porcentual el daño global del edificio. Finalmente, con base en la evaluación, se determina el tipo de etiqueta que categoriza al edificio. Las condiciones severas que ponen en peligro el edificio en general son motivo de una categoría de “Inseguro”. Las condiciones severas y moderadas en general pueden permitir una categoría de “Restringido”.

Los edificios que son aparentemente seguros son etiquetados con la placa de “Inspeccionado” y se debe indicar si la inspección fue externa o externa e interna. La etiqueta “Inspeccionado” se coloca en la entrada principal del edificio (figura 3.2.2).

Los edificios inseguros son etiquetados tan pronto como sea posible con la placa de “Inseguro” y se informa a los habitantes que deben abandonar el inmueble inmediatamente. Las etiquetas de uso “Inseguro” se colocan en todas las entradas (figura 3.2.3).

Debido a que muchas estructuras no caerán en la categoría de “Inspeccionado” o “Inseguro” se usa la categoría de “Restringido”. Esta etiqueta se usa cuando la seguridad del edificio es dudosa y la condición de la estructura no es aparentemente ni segura ni insegura. Cuando se colocan las etiquetas de “Restringido”, la entrada es permitida sólo por propósitos de emergencia. Estructuras en esta categoría se les aplica la metodología de evaluación detallada y este requerimiento debe ser indicado por el inspector en el formato de evaluación rápida. Las etiquetas de uso “Restringido” se colocan en todas las entradas (figura 3.2.4).

Finalmente, se explica a los ocupantes el significado de las etiquetas “Restringido” e “Inseguro” y se les indica deben desocupar el edificio. Adicionalmente, las “Áreas Inseguras” también deben ser evacuadas.

3.2.3.2 Evaluación detallada

La Evaluación Detallada es una examinación visual, tanto interior como exterior, de la condición del edificio. Consiste en identificar amenazas generales como colapsos o desplomos, amenazas estructurales y no estructurales y amenazas geotécnicas, para lo cual se sugieren los pasos descritos a continuación:

1. Inspección del exterior de la edificación

- a) Se inicia la inspección rodeando el exterior del edificio.
- b) Determinar el sistema estructural. La edad del edificio es un indicador importante de la resistencia sísmica. Los edificios de más edad de antigüedad son más susceptibles a daño que un edificio nuevo.
- c) Examinar discontinuidades verticales. Estos son puntos en la estructura donde existen cambios bruscos de rigidez como la existencia de un entrepiso débil o estrechamientos en elevación.
- d) Examinar irregularidades en planta. El daño a menudo tiende a concentrarse en las irregularidades en planta. También debe verificarse si existen efectos de torsión en edificios en esquina.
- e) Observar desplomos en fachadas, ventanas, marcos, etc. Debido a que son síntomas de distorsiones excesivas.
- f) Examinar elementos no estructurales, como, paredes, parapetos, espectaculares y decoración.
- g) Observar nuevas grietas en la cimentación o en la parte inferior de los muros.

2. Examinar el sitio por amenazas geotécnicas

- a) Examinar el sitio por fisuras, abultamiento del terreno y movimientos verticales.
- b) En edificios construidos en laderas, examinar el área por deslizamiento de taludes o de escombros.
- c) Cuando se sospecha de un peligro geotécnico, la evaluación detallada debe ser realizada por un ingeniero geotécnico o geólogo.

- d) Los problemas geotécnicos pueden extenderse en un área que incluye varios edificios, por lo que edificios sin daños ubicados en áreas inestables deben ser etiquetados como de “Uso Restringido” o “Inseguro”

3. Inspeccionar el sistema estructural desde el interior del edificio

- a) Antes de entrar al edificio, identificar objetos en peligro de caer y considerar el peligro de colapso del edificio. No se debe ingresar a edificios obviamente inseguros.
- b) Entrar al edificio.
- c) Generalmente, el sistema estructural está oculto por muros, cielos rasos y otros elementos estructurales. El inspector podrá remover estos elementos para poder observar de mejor manera la estructura. Para cualquier exploración que requiera algún tipo de destrucción será necesaria la aprobación del dueño del edificio.
- d) Observar el sistema estructural en escaleras, sótanos, cuartos de máquinas y otras áreas expuestas.
- e) Examinar el sistema resistente ante cargas verticales. Buscar signos de falla en columnas, sistemas de piso desconectados de los elementos verticales de soporte, o losas o vigas que han fallado.
- f) Examinar el sistema resistente ante cargas laterales. Cualquier distorsión residual de entrepiso es un indicador de que han ocurrido daños estructurales.
- g) Usar las guías de los Capítulos 6 al 10 para la inspección de los distintos sistemas estructurales: madera, mampostería, prefabricadas, concreto y acero.
- h) Inspeccionar los elementos expuestos del sistema de cimentación.
- i) Inspeccionar cada nivel, incluyendo sótanos y pent-house.

4. Inspeccionar amenazas no estructurales

- a) En el interior de la estructura es necesario inspeccionar los daños en los elementos no estructurales, es decir, cielos rasos, divisiones, paredes no estructurales, entre otras. En el caso que existan afectaciones en los revestimientos se deben revisar las conexiones. Para la evaluación se deben seguir las recomendaciones del Capítulo 12 del Manual del ATC-20.

5. Inspeccionar otras amenazas

- a) No está permitido restaurar la funcionalidad de los ascensores hasta que hayan sido inspeccionados. Referir al Capítulo 12 del Manual del ATC-20.
- b) Buscar derrames o goteras de materiales tóxicos especialmente en zonas donde se almacenen químicos.
- c) Si existen daños en el sistema antiincendios, incluyendo afectaciones en los equipos de detección, puede ser necesario restringir el uso de la edificación. Referir al Capítulo 12 del Manual del ATC-20.
- d) Inspeccionar el estado estructural de las escaleras y revisar la accesibilidad de las salidas de emergencia.

6. Completar con el formato de evaluación detallada y señalización de la Estructura

- a) Evaluar la estructura y completar el formato de la evaluación detallada (figuras 3.2.5 y 3.2.6). Indicar si es necesario realizar acciones complementarias como por ejemplo apuntalar o arriostrar ciertos elementos estructurales.
- b) Etiquetar la estructura de acuerdo con los resultados de la evaluación. Colocar una de las tres etiquetas (“Inspeccionado”, “Uso restringido” o “Inseguro”) (figuras 3.2.2 a 3.2.4). En el caso de edificaciones evaluadas como “Uso restringido” o “Inseguro”, las pancartas deben ser colocadas en todas las entradas de la edificación.
- c) Explicar a los ocupantes el significado de las etiquetas “Uso restringido” o “Inseguro” y aconsejarles abandona el edificio inmediatamente. Las áreas inseguras también se evacúan.

Espacio dejado intencionalmente en blanco

ATC-20 Rapid Evaluation Safety Assessment Form

Inspection
 Inspector ID: _____ Inspection date and time: _____ AM PM
 Affiliation: _____ Areas inspected: Exterior only Exterior and interior

Building Description
 Building name: _____
 Address: _____
 Building contact/phone: _____
 Number of stories above ground: _____ below ground: _____
 Approx. "Footprint area" (square feet): _____
 Number of residential units: _____
 Number of residential units not habitable: _____

Type of Construction
 Wood frame Concrete shear wall
 Steel frame Unreinforced masonry
 Tilt-up concrete Reinforced masonry
 Concrete frame Other: _____

Primary Occupancy
 Dwelling Commercial Government
 Other residential Offices Historic
 Public assembly Industrial School
 Emergency services Other: _____

Evaluation
 Investigate the building for the conditions below and check the appropriate column.

Observed Conditions:	Minor/None	Moderate	Severe	Estimated Building Damage (excluding contents)
Collapse, partial collapse, or building off foundation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> None <input type="checkbox"/> 0-1%
Building or story leaning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1-10%
Racking damage to walls, other structural damage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 10-30%
Chimney, parapet, or other falling hazard	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 30-60%
Ground slope movement or cracking	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 60-100%
Other (specify) _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 100%

Comments: _____

Posting
 Choose a posting based on the evaluation and team judgment. *Severe* conditions endangering the overall building are grounds for an Unsafe posting. Localized *Severe* and overall *Moderate* conditions may allow a Restricted Use posting. Post **INSPECTED** placard at main entrance. Post **RESTRICTED USE** and **UNSAFE** placards at all entrances.

INSPECTED (Green placard) **RESTRICTED USE** (Yellow placard) **UNSAFE** (Red placard)

Record any use and entry restrictions exactly as written on placard: _____

Further Actions Check the boxes below only if further actions are needed.

Barricades needed in the following areas: _____

Detailed Evaluation recommended: Structural Geotechnical Other: _____

Other recommendations: _____

Comments: _____

© Copyright 1995-07, Applied Technology Council.
 Permission is granted for unlimited, non-exclusive, non-commercial use and distribution of ATC evaluation forms, provided that this Copyright Notice appears on all copies and the Applied Technology Council name shall not be used in any advertising or publicity of Licensee product. Permission is further subject to the following conditions: (1) Licensee does not reprint, repackage or offer this form for sale or license; and (2) no material gain or financial profit is to be made from any sale or license of this form. Placards may be used without restrictions for their intended use as building postings. All rights not specifically granted to Licensee are herein reserved by ATC.

Figura 3.2.1 Formato de evaluación rápida de la metodología del ATC-20 (2005)

<h1 style="margin: 0;">INSPECTED</h1>	
LAWFUL OCCUPANCY PERMITTED	
<p>This structure has been inspected (as indicated below) and no apparent structural hazard has been found.</p> <p> <input type="checkbox"/> Inspected Exterior Only <input type="checkbox"/> Inspected Exterior and Interior </p> <p>Report any unsafe condition to local authorities; reinspection may be required.</p> <p>Inspector Comments:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Facility Name and Address:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Date _____</p> <p>Time _____</p> <p>(Caution: Aftershocks since inspection may increase damage and risk.)</p> <p>This facility was inspected under emergency conditions for:</p> <p>_____</p> <p>(Jurisdiction)</p> <p>Inspector ID / Agency</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p>Do Not Remove, Alter, or Cover this Placard until Authorized by Governing Authority</p>	

Figura 3.2.2 Etiqueta de “Inspeccionado” de la metodología del ATC-20 (2005)

<h1 style="margin: 0;">RESTRICTED USE</h1>	
<p>Caution: This structure has been inspected and found to be damaged as described below:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Entry, occupancy, and lawful use are restricted as indicated below:</p> <p><input type="checkbox"/> Do not enter the following areas: _____</p> <p><input type="checkbox"/> Brief entry allowed for access to contents: _____</p> <p><input type="checkbox"/> Other restrictions: _____</p> <p>Facility name and address:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Date _____</p> <p>Time _____</p> <p>(Caution: Aftershocks since inspection may increase damage and risk.)</p> <p>This facility was inspected under emergency conditions for:</p> <p>_____</p> <p>(Jurisdiction)</p> <p>Inspector ID / Agency</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p>Do Not Remove, Alter, or Cover this Placard until Authorized by Governing Authority</p>	

Figura 3.2.3 Etiqueta “Uso Restringido” de la metodología del ATC-20 (2005)

<h1 style="margin: 0;">UNSAFE</h1>	
DO NOT ENTER OR OCCUPY (THIS PLACARD IS NOT A DEMOLITION ORDER)	
<p>This structure has been inspected, found to be seriously damaged and is unsafe to occupy, as described below:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Do not enter, except as specifically authorized in writing by jurisdiction. Entry may result in death or injury.</p> <p>Facility Name and Address:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Date _____</p> <p>Time _____</p> <p>This facility was inspected under emergency conditions for:</p> <p>_____</p> <p>(Jurisdiction)</p> <p>Inspector ID / Agency</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p>Do Not Remove, Alter, or Cover this Placard until Authorized by Governing Authority</p>	

Figura 3.2.4 Etiqueta “Inseguro” de la metodología del ATC-20 (2005)

ATC-20 Detailed Evaluation Safety Assessment Form

Inspection Inspector ID: _____ Affiliation: _____ Inspection date and time: _____ <input type="checkbox"/> AM <input type="checkbox"/> PM	Final Posting from page 2 <input type="checkbox"/> Inspected <input type="checkbox"/> Restricted Use <input type="checkbox"/> Unsafe
---	---

Building Description Building name: _____ Address: _____ _____ Building contact/phone: _____ Number of stories above ground: _____ below ground: _____ Approx. "Footprint area" (square feet): _____ Number of residential units: _____ Number of residential units not habitable: _____	Type of Construction <input type="checkbox"/> Wood frame <input type="checkbox"/> Steel frame <input type="checkbox"/> Tilt-up concrete <input type="checkbox"/> Concrete frame <input type="checkbox"/> Concrete shear wall <input type="checkbox"/> Unreinforced masonry <input type="checkbox"/> Reinforced masonry <input type="checkbox"/> Other: _____ Primary Occupancy <input type="checkbox"/> Dwelling <input type="checkbox"/> Other residential <input type="checkbox"/> Public assembly <input type="checkbox"/> Emergency services <input type="checkbox"/> Commercial <input type="checkbox"/> Offices <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Other: _____ <input type="checkbox"/> Government <input type="checkbox"/> Historic <input type="checkbox"/> School
---	---

Evaluation

Investigate the building for the conditions below and check the appropriate column. There is room on the second page for a sketch.

	Minor/None	Moderate	Severe	Comments
Overall hazards:				
Collapse or partial collapse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Building or story leaning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Structural hazards:				
Foundations	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Roofs, floors (vertical loads)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Columns, pilasters, corbels	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Diaphragms, horizontal bracing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Walls, vertical bracing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Precast connections	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Nonstructural hazards:				
Parapets, ornamentation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Cladding, glazing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Ceilings, light fixtures	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Interior walls, partitions	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Elevators	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Stairs, exits	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Electric, gas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Geotechnical hazards:				
Slope failure, debris	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Ground movement, fissures	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
General Comments: _____				

Continue on page 2

Figura 3.2.5 Formato de evaluación detallada de la metodología del ATC-20 (2005)

Estado del Arte de Metodologías de Evaluación Post-Sísmica

3-66

3.2.4 Atributos

3.2.4.1 Evaluación rápida

De forma general, el formato de inspección contiene cinco secciones. La primera sección corresponde a los datos generales de la inspección, como la identificación del inspector, la fecha y la hora de la inspección y la selección de la etiqueta final de categorización del edificio (“Inspeccionado”, “Uso restringido” e “Inseguro”).

La segunda sección recopila información referente a la descripción de la estructura, esta es:

- Nombre del edificio
- Dirección
- Número de contacto
- Número de niveles sobre el nivel de terreno
- Número de sótanos
- Área del terreno
- Tipo de construcción
- Uso

La tercera sección corresponde a la evaluación del edificio donde se enlistan las condiciones de la tabla 3.2.1. Para cada condición se elige el nivel de daño a juicio del inspector (Ligero/Nulo, Moderado y Severo) y, adicionalmente se estima de manera porcentual el daño global del edificio.

La cuarta sección corresponde al etiquetado de la edificación que resume las categorías en las que se puede clasificar el edificio, estas son:

- Inspeccionado
- Uso restringido
- Inseguro

La quinta sección contiene las futuras acciones, estas son:

- Necesidad de barreras en algún área
- Evaluación detallada (estructural, geotécnica, y/u otra)
- Otras recomendaciones
- Comentarios

3.2.4.2 Evaluación detallada

De forma general el formato de inspección contiene seis secciones. La primera sección corresponde a los datos generales de la inspección, como la identificación del inspector, la fecha y la hora de la inspección y las áreas inspeccionadas (exterior o exterior e interior).

La segunda sección recopila información referente a la descripción de la estructura, esta es:

- Nombre del edificio
- Dirección
- Número de contacto
- Número de niveles sobre el nivel de terreno
- Número de sótanos
- Área del terreno
- Tipo de construcción
- Uso

La tercera sección corresponde a la evaluación del edificio donde se enlistan las condiciones correspondientes a las amenazas generales, a las amenazas estructurales, a las amenazas no estructurales y amenazas geotécnicas. Para cada condición se elige el nivel de daño a juicio del inspector (Ligero/Nulo, Moderado y Severo) y se colocan comentarios. Adicionalmente se estima de manera porcentual el daño global del edificio y se realiza un croquis para señalar donde existen las afectaciones.

a) Amenazas generales

- Edificación colapsada total o parcialmente
- Edificación o pisos con desplomo
- Otro

b) Amenazas estructurales

- Cimentaciones
- Sistema de piso o techo
- Columnas, pilastras, ménsulas
- Diafragmas, arrostramiento horizontal
- Muros, arrostramiento vertical
- Conexiones prefabricadas
- Otro

c) Amenazas no estructurales

- Parapetos, decoración
- Revestimiento
- Cielos rasos, iluminación
- Paredes interiores
- Ascensores
- Escaleras, salidas
- Instalaciones eléctricas, tuberías de gas
- Otro

d) Amenazas geotécnicas

- Deslizamiento de taludes, escombros
- Abultamiento del suelo, fisuras
- Otro

La cuarta sección corresponde al etiquetado de la edificación que resume las categorías en las que se puede clasificar el edificio, estas son:

- Inspeccionado
- Uso restringido
- Inseguro

La quinta sección contiene las futuras acciones, estas son:

- Necesidad de barreras en alguna área
- Evaluación detallada (estructural, geotécnica, y/u otra)
- Otras recomendaciones
- Comentarios

3.2.5 Resultados

Los resultados de la inspección se asocian con tres niveles de seguridad “Inspeccionado”, “Uso Restringido” e “Inseguro”.

3.2.6 Limitaciones y precisión

La metodología de evaluación rápida es aplicable a estructuras del grupo A y B conformadas por cualquier tipo de sistema estructural y el número de niveles es indistinto. Su costo de aplicación es bajo, su tiempo de ejecución es corto y requiere de pocos evaluadores con juicio ingenieril y de una capacitación básica cuya finalidad es simplemente uniformar criterios para el correcto llenado del formato. Su precisión es baja debido a que, al ser cualitativa, los resultados son subjetivos. No se establecen intervalos definidos para establecer el nivel de seguridad de la edificaciones.

3.3 ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA - METODOLOGÍA FEMA P-154

En 2011, el Consejo de Tecnología Aplicada (ATC por sus siglas en inglés), con fondos de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA por sus siglas en inglés), comenzó una serie de proyectos (ATC-1-4, ATC-71- 5 y ATC-71-6) para actualizar el documento FEMA 154 al “Manual para la Evaluación Visual Rápida de Edificios para Amenazas Sísmicas Potenciales (FEMA, 2002a)”. El propósito de FEMA 154 es proporcionar una metodología para evaluar la seguridad sísmica de un gran inventario de edificios de manera rápida y económica, con un acceso mínimo a los edificios, e identificar aquellos edificios que requieren una evaluación más detallada. En 2002, FEMA 154 se actualizó a una Segunda Edición, basada en: (1) la experiencia del uso generalizado de FEMA 154 por agencias federales, estatales y municipales y otros; (2) nuevos conocimientos sobre el desempeño de los edificios durante sismos; (3) nuevos conocimientos sobre riesgo sísmico; y (4) otras

herramientas de predicción de desempeño y evaluación sísmica, como FEMA 310, “Manual para la Evaluación Sísmica de Edificios”. Tanto el manual original de FEMA 154 como la segunda edición fueron acompañados por un informe con documentación de respaldo (FEMA 155), que describía la base técnica del sistema de puntaje y otros procedimientos proporcionados en FEMA 154.

Desde la publicación de la Segunda Edición de FEMA 154, ha habido varias iniciativas que han avanzado el estado del arte de la evaluación visual rápida de edificios. Uno de ellos fue el desarrollo del software FEMA P-154 de Observación Rápida de Vulnerabilidad y Estimación de Riesgos (ROVER por sus siglas en inglés) para ser usada en teléfonos inteligentes (FEMA, 2014), que permite a los usuarios documentar y transmitir datos recopilados en el campo. La aplicación de FEMA P-154 ROVER se basa en la segunda edición de FEMA 154 e incorpora varias mejoras gracias a la capacidad de cálculo electrónico del dispositivo.

En 2015 se publicó la Tercera Edición (FEMA P-154). El objetivo esta edición sigue siendo el mismo que sus predecesores: identificar, inventariar y proteger edificios potencialmente peligrosos. Aunque algunas secciones del texto permanecieron sin cambios desde la segunda edición, la tercera edición incorpora varias mejoras importantes, que incluyen:

- Actualización del formulario de recopilación de datos y la adición de una página opcional más detallada al formulario.
- Actualización de los puntajes básicos y modificadores de puntaje.
- Actualización de las definiciones de movimiento sísmico.
- Preparación de guías de referencia adicionales.
- Inclusión de tipos de edificios adicionales que son frecuentes.
- Inclusión de consideraciones adicionales, tales como peligros no estructurales, modificaciones existentes, adiciones de niveles y golpeteo.
- Adición de una metodología opcional de puntuación electrónica.
- Información adicional sobre cómo ejecutar un programa de evaluación eficaz.

La base técnica para el procedimiento de Evaluación Visual Rápida está documentada en el informe FEMA P-155, “Evaluación Visual Rápida de Edificios por Posibles Amenazas Sísmicas: Documentación de Respaldo (FEMA, 2015)”, que también se actualizó a la tercera edición. El sistema de numeración actual de los informes de FEMA, correspondientes a las terceras ediciones de FEMA 154 y FEMA 155 ahora se denominan FEMA P-154 y FEMA P-155, respectivamente.

3.3.1 Niveles de análisis

La metodología FEMA P-154 tiene dos niveles de evaluación, un nivel de evaluación de nivel 1 y otro de nivel 2, que, de acuerdo con las consideraciones generales de este documento (sección 1.1), ambas corresponden a un nivel de evaluación de “Nivel 1”. La metodología fue desarrollada para aplicarse en la fase post-sismo y se emplea un formato de inspección para la obtención de la clasificación de seguridad de la estructura.

3.3.2 Objetivos

El procedimiento de Evaluación Visual Rápida (RVS por sus siglas en inglés) de FEMA P-154 se ha desarrollado para identificar, inventariar e identificar edificios que pueden ser sísmicamente riesgosos. Dichos edificios deben ser evaluados por un profesional de diseño con experiencia en diseño sísmico para determinar si, de hecho, son sísmicamente riesgosos. El procedimiento RVS utiliza una metodología basada en formatos para la recopilación de datos a nivel de banqueta del edificio. La metodología se basa en la observación visual del edificio desde el exterior y, si es posible, desde el interior.

3.3.3 Procedimiento

El proceso de recopilación de datos en el campo comienza con la identificación del sistema estructural primario resistente a fuerzas sísmicas y los materiales estructurales del edificio.

Los puntajes básicos para varios tipos de edificios se proporcionan en el formulario de nivel 1 (figura 3.3.1). El inspector establece el puntaje básico y lo modifica en función de los aspectos de evaluación, mediante los modificadores de puntaje. Los modificadores de puntaje están relacionados con los atributos de desempeño observados que se suman (o restan) al puntaje básico para llegar a un puntaje final.

Se puede realizar una inspección más detallada del edificio utilizando el formulario opcional presentado en la segunda página del formato de recopilación de datos (figura 3.3.2). Este formulario opcional permite al usuario ajustar el puntaje final con modificadores de puntaje adicionales. Los puntajes básicos, los modificadores de puntaje y los puntajes finales se relacionan con la probabilidad de colapso de un edificio, en caso de que ocurra un sismo raro (es decir, un nivel de sismo equivalente al sismo máximo considerado) utilizado actualmente en los estándares nacionales de diseño y evaluación para edificios existentes. Los puntajes finales generalmente varían de 0 a 7. Los puntajes más altos corresponden a un mejor desempeño sísmico y una menor probabilidad de colapso.

La aplicación de la metodología RVS permite a la autoridad, dividir los edificios seleccionados en dos categorías: aquellos que se espera que tengan un desempeño sísmico aceptable, y aquellos que pueden ser sísmicamente riesgosos y deben estudiarse más a detalle. Se sugiere un puntaje final de 2 como un "punto de corte", basado en los criterios de diseño sísmico actuales. Con este nivel de corte, un profesional con experiencia en diseño sísmico debe investigar los edificios con un puntaje final de 2 o menos.

Para ambos niveles, los inspectores requieren capacitación y, para fines de garantía de calidad, el programa de evaluación debe ser supervisado por un profesional con conocimientos en evaluación y diseño sísmico, y evaluación de riesgos.

Hay cinco versiones de cada forma, para regiones de sismicidad baja, moderada, moderadamente alta, alta y muy alta. Las formas para las regiones de sismicidad moderada, moderadamente alta, alta y muy alta varían en los valores asignados a los puntajes básicos, los modificadores de puntaje y en los criterios utilizados para evaluar los pesos porcentuales.

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards

**Level 2 (Optional)
 HIGH Seismicity**

FEMA P-154 Data Collection Form

Optional Level 2 data collection to be performed by a civil or structural engineering professional, architect, or graduate student with background in seismic evaluation or design of buildings.

Bldg Name:		Final Level 1 Score: $S_{L1} =$ _____ (do not consider S_{UB})	
Screener:		Level 1 Irregularity Modifiers: Vertical Irregularity, $V_{L1} =$ _____ Plan Irregularity, $P_{L1} =$ _____	
Date/Time:		ADJUSTED BASELINE SCORE: $S' = (S_{L1} - V_{L1} - P_{L1}) =$ _____	

STRUCTURAL MODIFIERS TO ADD TO ADJUSTED BASELINE SCORE					
Topic	Statement (If statement is true, circle the "Yes" modifier; otherwise cross out the modifier.)	Yes	No	Subtotals	
Vertical Irregularity, V_{L1}	Sloping Site	W1 building: There is at least a full story grade change from one side of the building to the other.	-1.2		
		Non-W1 building: There is at least a full story grade change from one side of the building to the other.	-0.3		
	Weak and/or Soft Story (circle one maximum)	W1 building cripple wall: An unbraced cripple wall is visible in the crawl space.	-0.6		
		W1 house over garage: Underside of an occupied story, there is a garage opening without a steel moment frame, and there is less than 8' of wall on the same line (for multiple occupied floors above, use 16' of wall minimum).	-1.2		
		W1A building open front: There are openings at the ground story (such as for parking) over at least 50% of the length of the building.	-1.2		
		Non-W1 building: Length of lateral system at any story is less than 50% of that at story above or height of any story is more than 2.0 times the height of the story above.	-0.9		
	Setback	Non-W1 building: Length of lateral system at any story is between 50% and 75% of that at story above or height of any story is between 1.3 and 2.0 times the height of the story above.	-0.5		
		Vertical elements of the lateral system at an upper story are outboard of those at the story below causing the diaphragm to cantilever at the offset.	-1.0		
		Vertical elements of the lateral system at upper stories are inboard of those at lower stories. There is an in-plane offset of the lateral elements that is greater than the length of the elements.	-0.3		
	Short Column/ Pier	C1,C2,C3,PC1,PC2,RM1,RM2: At least 20% of columns (or piers) along a column line in the lateral system have height/depth ratios less than 50% of the nominal height/depth ratio at that level.	-0.5		
C1,C2,C3,PC1,PC2,RM1,RM2: The column depth (or pier width) is less than one half of the depth of the spandrel, or there are infill walls or adjacent floors that shorten the column.		-0.5			
Split Level	There is a split level at one of the floor levels or at the roof.	-0.5			
Other Irregularity	There is another observable severe vertical irregularity that obviously affects the building's seismic performance.	-1.0			
	There is another observable moderate vertical irregularity that may affect the building's seismic performance.	-0.5			
Plan Irregularity, P_{L1}	Torsional irregularity: Lateral system does not appear relatively well distributed in plan in either or both directions. (Do not include the W1A open front irregularity listed above.)	-0.7		$V_{L1} =$ _____	
	Non-parallel system: There are one or more major vertical elements of the lateral system that are not orthogonal to each other.	-0.4		$P_{L1} =$ _____	
	Reentrant corner: Both projections from an interior corner exceed 25% of the overall plan dimension in that direction.	-0.4			
	Diaphragm opening: There is an opening in the diaphragm with a width over 50% of the total diaphragm width at that level.	-0.2			
	C1, C2 building out-of-plane offset: The exterior beams do not align with the columns in plan.	-0.4			
	Other irregularity: There is another observable plan irregularity that obviously affects the building's seismic performance.	-0.7			
Redundancy: The building has at least two bays of lateral elements on each side of the building in each direction.	+0.3		(Cap at -1.1)		
Pounding	Building is separated from an adjacent structure by less than 1% of the height of the shorter of the building and adjacent structure and	The floors do not align vertically within 2 feet. ; (Cap total)	-1.0	pounding modifiers at -1.2)	
		One building is 2 or more stories taller than the other.	-1.0		
		The building is at the end of the block.	-0.5		
S2 Building	"K" bracing geometry is visible.	-1.0			
C1 Building	Flat plate serves as the beam in the moment frame.	-0.4			
PC1/RM1 Bldg	There are roof-to-wall ties that are visible or known from drawings that do not rely on cross-grain bending. (Do not combine with post-benchmark or retrofit modifier.)	+0.3			
PC1/RM1 Bldg	The building has closely spaced, full height interior walls (rather than an interior space with few walls such as in a warehouse).	+0.3			
URM	Gable walls are present.	-0.4			
MH	There is a supplemental seismic bracing system provided between the carriage and the ground.	+1.2			
Retrofit	Comprehensive seismic retrofit is visible or known from drawings.	+1.4		$M =$ _____	

FINAL LEVEL 2 SCORE, $S_{L2} = (S' + V_{L2} + P_{L2} + M) \geq S_{RPM}$ (Transfer to Level 1 form)

There is observable damage or deterioration or another condition that negatively affects the building's seismic performance: Yes No
 If yes, describe the condition in the comment box below and indicate on the Level 1 form that detailed evaluation is required independent of the building's score.

OBSERVABLE NONSTRUCTURAL HAZARDS				
Location	Statement (Check "Yes" or "No")	Yes	No	Comment
Exterior	There is an unbraced unreinforced masonry parapet or unbraced unreinforced masonry chimney.			
	There is heavy cladding or heavy veneer.			
	There is a heavy canopy over exit doors or pedestrian walkways that appears inadequately supported.			
	There is an unreinforced masonry appendage over exit doors or pedestrian walkways.			
	There is a sign posted on the building that indicates hazardous materials are present.			
	There is a taller adjacent building with an unanchored URM wall or unbraced URM parapet or chimney.			
Interior	Other observed exterior nonstructural falling hazard.			
	There are hollow clay tile or brick partitions at any stair or exit corridor.			
	Other observed interior nonstructural falling hazard.			

Estimated Nonstructural Seismic Performance (Check appropriate box and transfer to Level 1 form conclusions)

Potential nonstructural hazards with significant threat to occupant life safety → Detailed Nonstructural Evaluation recommended

Nonstructural hazards identified with significant threat to occupant life safety → But no Detailed Nonstructural Evaluation required

Low or no nonstructural hazard threat to occupant life safety → No Detailed Nonstructural Evaluation required

Comments:

Figura 3.3.2 Formato de evaluación de nivel 2 para zonas de alta sismicidad de la metodología de FEMA P-154 (2015)

3.3.4 Atributos

De forma general el formato de inspección de Nivel 1 contiene seis secciones (figura 3.3.1) y el formato de inspección de Nivel 2 que corresponde a la continuación del formato de Nivel 1, contiene dos secciones (figura 3.3.2).

La primera sección está destinada a la fotografías del edificio y al bosquejo de la edificación. La segunda sección del formato corresponde a los datos generales de la inspección y de la edificación, como:

- Nombre del inspector
- Fecha y hora de la inspección
- Dirección
- Coordenadas
- Número de pisos sobre el nivel de banqueta
- Número de sótanos
- Año de construcción
- Área del terreno
- Uso
- Tipo de suelo

La tercera sección corresponde a la evaluación de la edificación con base en el puntaje básico y en los modificadores de puntaje que dependen del sistema estructural y de aspectos como:

- Irregularidad vertical severa
- Irregularidad vertical moderada
- Irregularidad en planta
- Antigüedad anterior a reglamentos sísmicos (Pre-código)
- Suelo tipo A o B
- Suelo tipo E de 1 a 3 niveles
- Suelo tipo E de más de 3 niveles

En esta sección, adicionalmente, se realiza la comparación entre el puntaje final de Nivel 1 con el puntaje mínimo especificado.

En la cuarta sección se especifica la extensión de las áreas inspeccionadas del edificio, estas pueden ser:

- Exterior (parcial, todos los lados, aérea)
- Interior (no, visual, ingreso)
- Planos revisados (sí, no)

En la quinta sección se especifican otras amenazas que conlleven a realizar la evaluación de Nivel 2 como:

- Desplomos
- Objetos en peligro de caer
- Suelo tipo F
- Daño significativo o deterioro del sistema estructural

En la sexta sección se especifican las acciones requeridas como, por ejemplo, evaluación detallada de elementos estructurales y de elementos no estructurales.

En la séptima sección se evalúan otras condiciones para ajustar el puntaje final de Nivel 1 que se refieren a irregularidades verticales, irregularidad en planta, redundancia, desplomos, sistemas estructurales vulnerables y rehabilitaciones previas. En esta sección se obtiene un puntaje ajustado de Nivel 2 que nuevamente debe ser comparado con el puntaje mínimo.

En la octava sección se evalúan las amenazas no estructurales en el exterior y el interior del edificio.

3.3.5 Resultados

Los resultados de la inspección se asocian al comportamiento esperado de las estructuras, de modo que se divide en aquellos que se espera que tengan un desempeño sísmico aceptable, y aquellos que pueden ser sísmicamente peligrosos y deben estudiarse más a detalle. Se sugiere un puntaje final de 2 como un "punto de corte". Con este nivel de corte, un profesional con experiencia en diseño sísmico debe investigar los edificios con un puntaje final de 2 o menos.

3.3.6 Limitaciones y precisión

La metodología de evaluación rápida es aplicable a estructuras conformadas por cualquier tipo de sistema estructural y el número de niveles es indistinto. Su costo de aplicación es bajo, su tiempo de ejecución es corto y requiere de pocos evaluadores con juicio ingenieril y de una capacitación básica cuya finalidad es simplemente uniformar criterios para el correcto llenado del formato. Su precisión es baja debido a que, al ser cualitativa, los resultados son subjetivos. Sin embargo, es importante destacar la asignación de puntajes a cada aspecto evaluado para obtener conclusiones de la seguridad del edificio.

Una evaluación desde el exterior, sin el beneficio de la revisión de planos y memorias de cálculo, significa que se prevé que la precisión de la metodología RVS sea menor que la de las revisiones más detalladas, largas y costosas. La determinación del sistema resistente a fuerzas sísmicas es parte integral del método. Es probable que, para un porcentaje relativamente pequeño de edificios, el sistema resistente a fuerzas sísmicas no pueda identificarse mediante una inspección visual rápida porque la estructura estará cubierta por acabados arquitectónicos por lo que se requerirá una evaluación estructural detallada para determinar el tipo de edificio. Y, por otra parte, siempre es deseable una revisión interior, pero no siempre es posible dado el tiempo disponible o las limitaciones de acceso.

El método RVS no incluye cálculos, por lo que las evaluaciones de la capacidad sísmica se basan en consideraciones más generales relacionadas con el tipo de construcción, las irregularidades geométricas y las condiciones del suelo del sitio. La falta de precisión es inevitable debido a que un

gran número de edificios son examinados y el nivel de experiencia puede variar ampliamente entre evaluadores.

3.4 GRECIA – METODOLOGÍA DE DEMARTINOS Y DRITSOS, 2006

Konstantinos Demartinos y Stephanos Dritsos propusieron en 2006 una evaluación visual rápida (EVR por sus siglas en inglés) basado en lógica difusa. Para mejorar la precisión del método, se emplearon redes neuronales adaptativas a partir de la información recopilada de 102 edificios de concreto reforzado afectados por el sismo de Atenas en 1999. Para realizar la calibración, se establecieron tres niveles de daño (ligero, moderado y severo) para los 102 edificios.

3.4.1 Niveles de análisis

La metodología tiene un nivel de evaluación que, de acuerdo con las consideraciones generales de este documento, corresponde a la fase pre-sismo y al nivel de evaluación de “Nivel 2” (sección 1.1). La metodología determina el daño estructural que puede experimentar el edificio, mediante un proceso de inferencia difusa a partir de la información obtenida en sitio y en gabinete, la cuales constituyen las variables de entrada al sistema. Posteriormente, se obtienen las variables intermedias que, a su vez, mediante un proceso de inferencia difusa obtiene la variable de salida que corresponde a un índice de daño. En la figura 3.4.1 se presenta un esquema que ilustra gráficamente la relación de las variables.

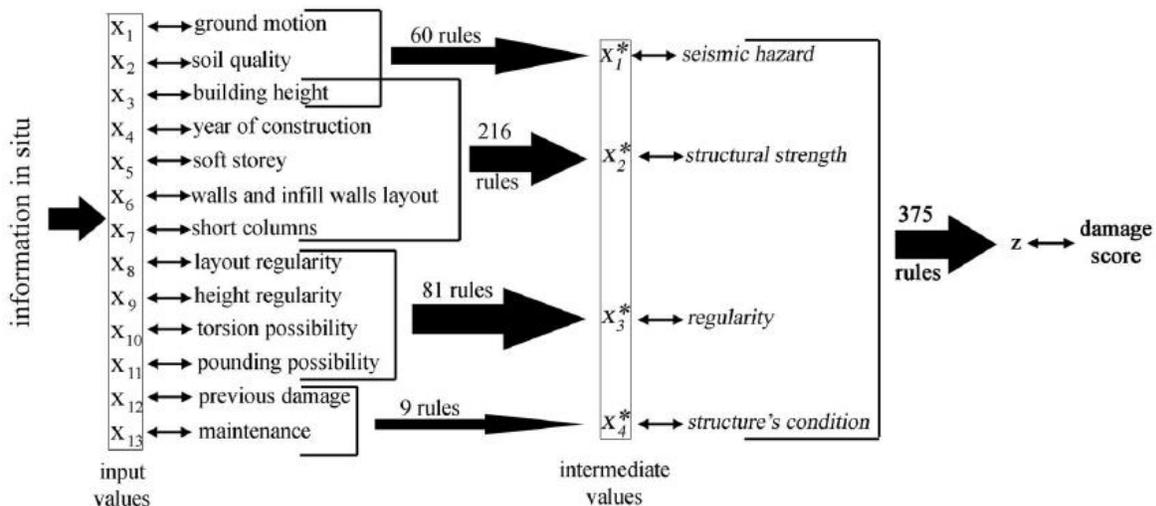


Figura 3.4.1 Representación del sistema de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006)

3.4.2 Objetivos

El objetivo de esta metodología es identificar, antes de un evento sísmico, los edificios con mayor probabilidad de experimentar daño estructural luego de un sismo.

3.4.3 Procedimiento

1. Variables de entrada

Para iniciar la evaluación visual rápida, se deben realizar inspecciones externas e, idealmente, ingresar al edificio para evaluar las variables que no se pueden apreciar a simple vista.

En sitio, se deben evaluar las variables de entrada, entre ellas, se debe revisar si el edificio presenta planta baja flexible, si la distribución de muros de carga y de relleno es simétrica, si hay elementos estructurales o no estructurales que provoquen efectos de columnas corta y la regularidad arquitectónica en planta y en elevación. Adicionalmente, es importante revisar las colindancias del edificio para ver si existe la posibilidad de golpeteo con edificios vecinos. Por último, se debe prestar atención a las condiciones actuales del edificio, es decir, si presenta reparaciones previas causadas por sismos anteriores y constatar el mantenimiento general del edificio.

Posterior a la visita, en gabinete, se deben determinar las propiedades del terreno, tales como la aceleración del terreno y la calidad del suelo donde se desplanta el edificio. Un dato importante que se puede conocer en la visita al edificio o bien realizando una investigación en gabinete es el año de construcción del edificio.

Una vez conocidos los parámetros anteriores se deben ingresar al sistema los valores numéricos escogidos de un intervalo de acuerdo con la variable de entrada analizada. En la tabla 3.4.1 se presenta el intervalo de valores a ingresar asociado a cada variable de entrada.

Tabla 3.4.1 Intervalos de variables de entrada de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006)

Variable de entrada	Intervalo
Aceleración del terreno	0 a 1
Calidad del suelo	0 a 1
Número de niveles	1 a 8
Año de construcción	1950 a 2005
Planta baja flexible	0 a 1
Configuración de muros de carga y muros de relleno	0 a 1
Columnas cortas	0 a 1
Configuración en planta	0 a 1
Configuración en elevación	0 a 1
Posibilidad de torsión	0 a 1
Posibilidad de golpeteo	0 a 1
Daño previo	0 a 1
Mantenimiento	0 a 1

2. Variables intermedias

Una vez definidas las variables de entrada, éstas se agrupan en cuatro grupos que conforman las variables intermedias. En la tabla 3.4.2 se presentan las variables de entrada agrupadas por variables

intermedias. Las variables intermedias de “Peligro sísmico” y de “Resistencia estructural” comparten la variable de entrada “Número de niveles”.

3. Funciones paramétricas

Para que el sistema pueda hacer inferencias difusas, se establecen funciones paramétricas para las variables de entrada (figuras 3.4.2 y 3.4.3) e intermedias (figura 3.4.4). En las figuras, en el eje de las abscisas se encuentran los valores posibles para la variable analizada y en el eje de las ordenadas se encuentran los valores de pertenencia que van de 0 a 1, donde 0 significa pertenencia nula y 1 pertenencia total.

Tabla 3.4.2 Variables intermedias agrupadas por variables de entrada de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006)

Variable intermedia	Variable de entrada
Peligro sísmico	Aceleración del terreno
	Calidad del suelo
	Número de niveles
Capacidad estructural	Número de niveles
	Año de construcción
	Planta baja flexible
	Configuración de muros de carga y muros de relleno
	Columnas cortas
Regularidad estructural	Configuración en planta
	Configuración en elevación
	Posibilidad de torsión
	Posibilidad de golpeteo
Condición de la estructura	Daño previo
	Mantenimiento

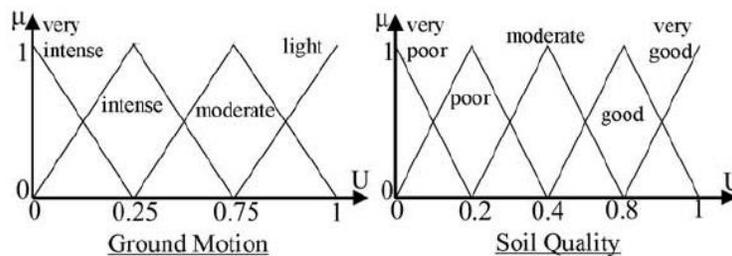


Figura 3.4.2 Funciones paramétricas para las variables de entrada de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006)

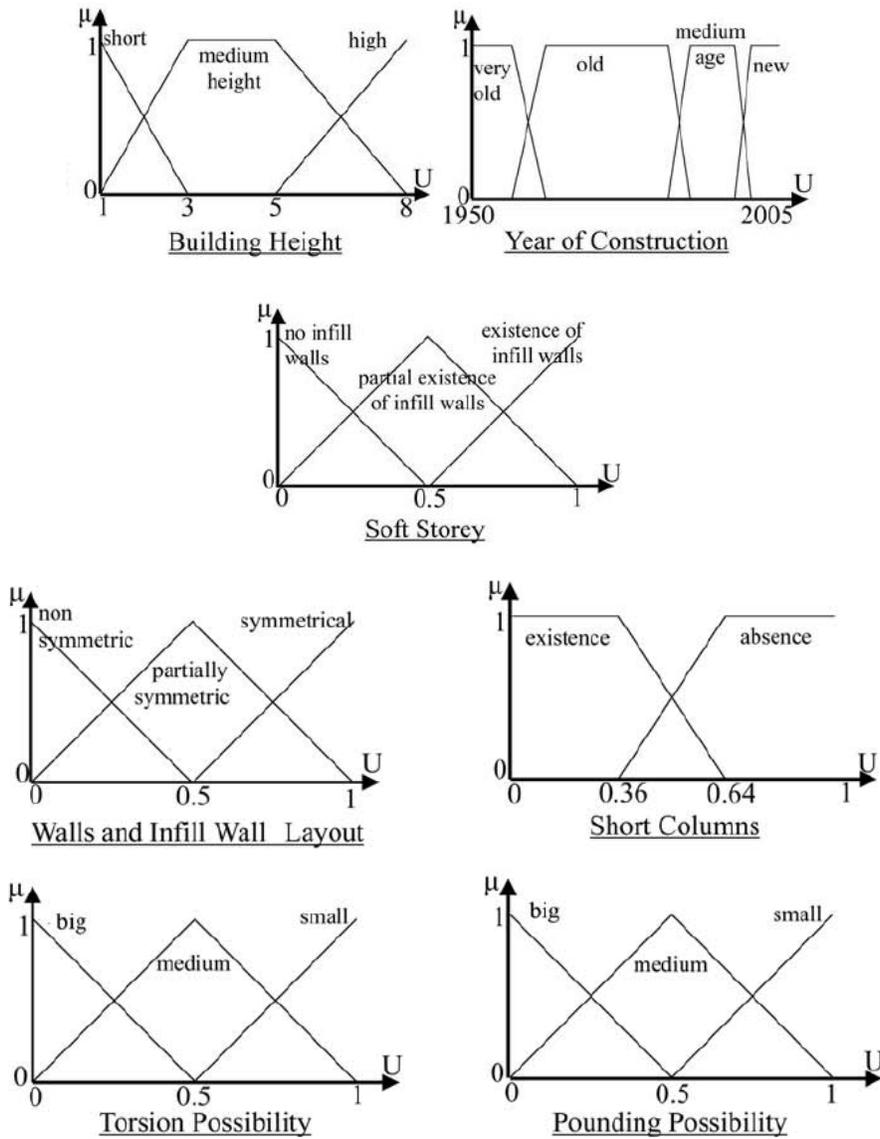


Figura 3.4.2 Funciones paramétricas para las variables de entrada de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006) (continuación)

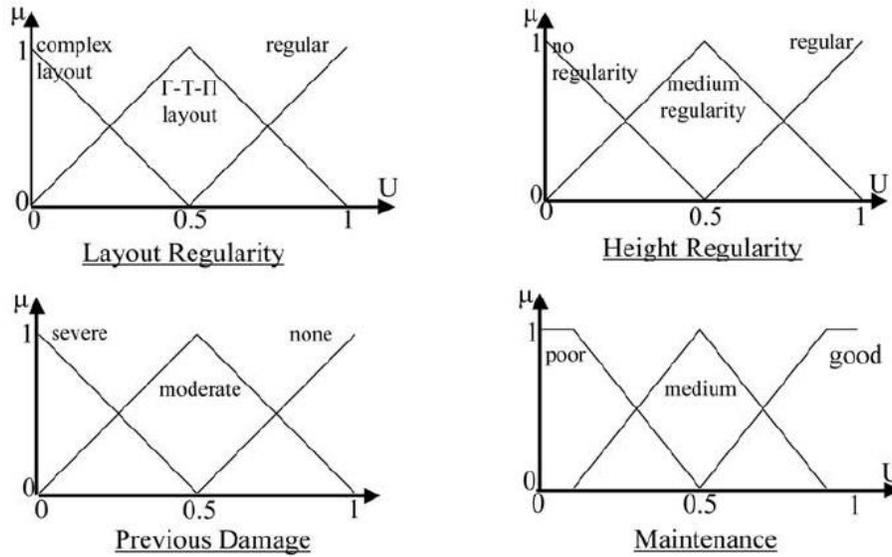


Figura 3.4.3 Funciones paramétricas para las variables de entrada de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006) (continuación)

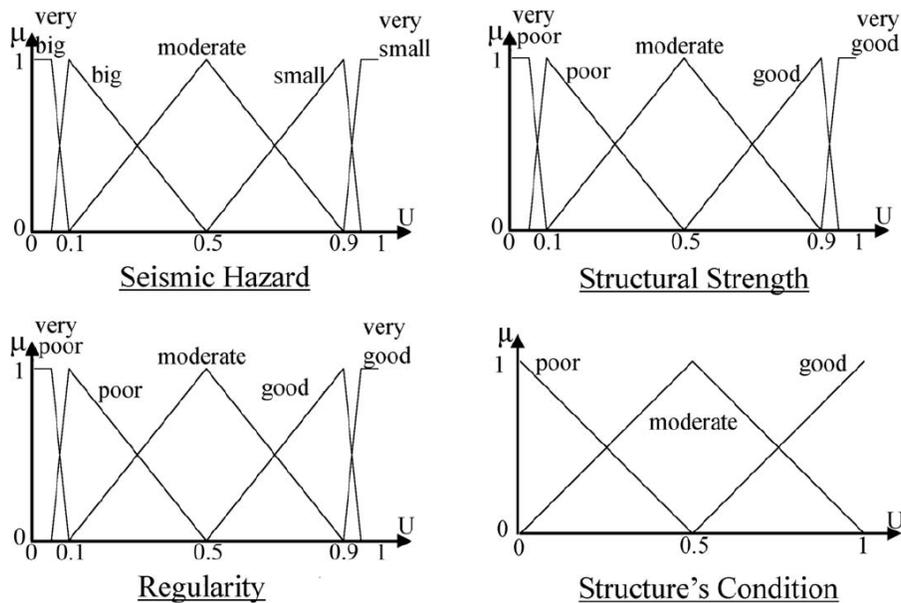


Figura 3.4.4 Funciones paramétricas para las variables intermedias de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006)

3.4.4 Resultados

Una vez evaluadas las reglas de comportamiento y las funciones paramétricas de las variables de entrada e intermedias, el programa muestra en esta etapa valores comprendidos entre 0 y 1.

Posteriormente, el valor de daño es obtenido a partir de los valores intermedios determinados previamente (U_1). Este valor está comprendido en un intervalo de 0 a 100 y con el cual se obtiene la probabilidad de daño estructural para el edificio.

En la figura 3.4.5, se observa la función paramétrica de salida y superpuesto dos ejemplos de aplicación, donde $U_1=35$ y $U_2=70$. Se concluye que para U_1 hay una probabilidad de daño severo de 0.75 y de 0.25 para daño moderado, mientras que para U_2 hay una probabilidad de 0.70 para colapso y de 0.25 para daño severo.

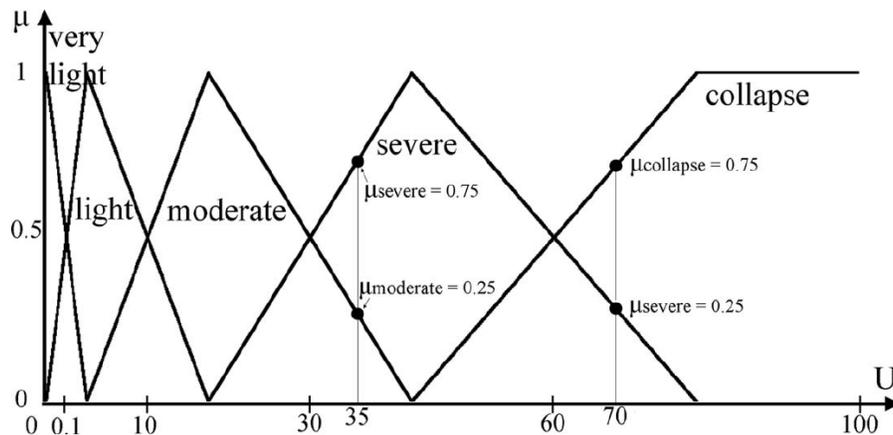


Figura 3.4.5 Función paramétrica para la variable de salida de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006)

3.4.5 Limitaciones y precisión

La metodología Demartinos y Dritsos, 2006, es aplicable a estructuras conformadas por sistemas estructurales a base de elementos de concreto reforzado y de mampostería. Esta metodología se limita a edificios de baja y mediana altura. Su costo de aplicación es medio, su tiempo de ejecución es medio y requiere de personal con experiencia en diseño sísmico, estructural y geotécnico por lo que se debe prever la necesidad de capacitar adecuadamente a los evaluadores con la finalidad de comprender los fundamentos de la metodología. La precisión de esta metodología es alta debido a que ha sido calibrada para las condiciones de peligro y vulnerabilidad de la zona de estudio.

a. Definición reglas de inferencia

La definición de las reglas de inferencia debe estar a cargo de expertos en ingeniería estructural con la finalidad de controlar el error de apreciación de los evaluadores provocado por la falta de experiencia y conocimiento en el tema. Definir las reglas de inferencia permite combinar las variables para que trabajen en conjunto y no de forma individual, común en otros métodos de evaluación.

Una dificultad de este método es que entre mayor precisión se busque será necesario incluir mayor cantidad de variables lo cual a su vez creará más reglas de inferencia.

b. Variables de entrada

Algunas variables de entrada restringen el uso de la metodología para cualquier tipo de estructura, tal es el caso de la altura del edificio y el año de construcción, para la primera variable el intervalo de aplicación es de 1 a 8 pisos, lo cual indica que es para estructuras de baja altura, quedando fuera edificios con más de 9 pisos, para el caso del año de construcción el sistema fue calibrado para edificios de los años 50's hasta el año 2005 que fue cuando se publicó la metodología, debido a ello los edificios construidos después de 2005 quedan fuera de la aplicación.

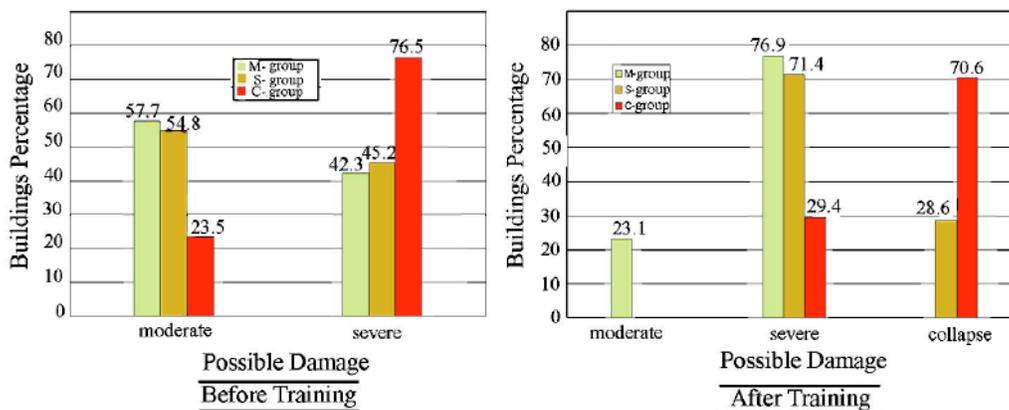
c. Uso de redes neuronales adaptativas

El sistema generado permite ser perfeccionado mediante algoritmos computaciones que mejoran la precisión de la probabilidad de daño; esto se puede realizar con muestras de edificios con una clasificación de daño establecida y se especifican los valores de probabilidad de daño deseados. Es importante destacar que para mejores resultados la muestra de edificios debe ser mayor.

d. Precisión

La metodología muestra cómo se entrenó al sistema para obtener mejores resultados en la probabilidad de daño. Para esto se usó una muestra de 102 edificios, de los cuales 26 edificios presentaron daño moderado, 42 daño severo y 34 colapsaron. Se agruparon en tres grupos grupo M (moderado), grupo S (severo) y grupo C (colapso). A estos edificios se les asignaron valores de daño dentro de los intervalos [60,100], [30,60] y [10,30] respectivamente.

Dichos valores fueron ingresados al algoritmo con su par obtenido en la metodología propuesta, con ello el sistema mediante los algoritmos fue capaz de dar resultados más precisos que los obtenidos previamente con la metodología (figura 3.4.6).



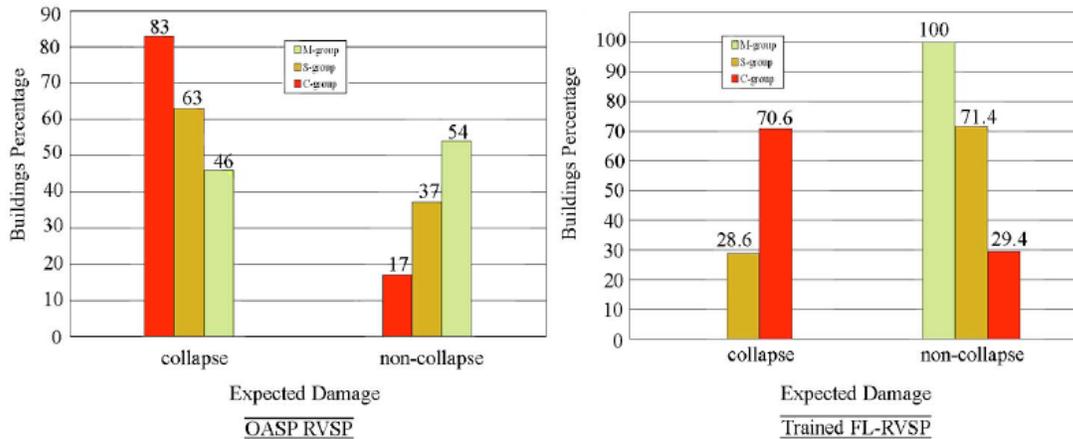


Figura 3.4.6 Resultados obtenidos antes y después del entrenamiento del sistema de la metodología de Demartinos y Dritsos (2006)

3.5 GRECIA – METODOLOGÍA DE PARDALOPOULOS ET AL., 2013

En el año 2013, Stylianos Pardalopoulos, Georgia Thermou y Stavroula Pantazopoulou desarrollaron una metodología de evaluación rápida para identificar las fallas frágiles que pueden desarrollarse, como producto de los sismos, en estructuras de concreto reforzado con muros de mampostería de relleno, de baja y mediana altura. Para probar la aplicabilidad del procedimiento de ésta metodología se utilizó la información de 10 edificios, cuya configuración es representativa de la construcción en los países mediterráneos, mismos experimentaron daños severos o colapsos durante sismos pasados en Grecia y Turquía.

3.5.1 Niveles de análisis

La metodología Pardalopoulos et al. 2013 tiene un nivel de evaluación, que de acuerdo con las consideraciones generales de este documento (sección 1.1), corresponde a la fase pre-sismo y a un nivel de evaluación de “Nivel 2”. La metodología emplea la resolución de ecuaciones para obtener conclusiones acerca de la probabilidad de experimentar fallas frágiles o el colapso durante un evento sísmico.

3.5.2 Objetivos

La metodología Pardalopoulos et al. 2013 fue desarrollada para identificar los edificios más probables que pueden desarrollar comportamiento frágiles o experimentar un colapso. La metodología aplica dos criterios, que están basados en principios básicos de mecánica de concreto reforzado, para cuantificar la probabilidad de falla frágil o el colapso de una estructura. El primero corresponde a la evaluación de la rigidez de la estructura asociada a la demanda de distorsión y el segundo corresponde a la capacidad a resistencia a cortante de los elementos verticales del edificio.

3.5.3 Procedimiento

Para realizar la evaluación sísmica rápida de edificios (SER por sus siglas en inglés), la metodología estima la rigidez asociada a la demanda de distorsión del entrepiso crítico, y la resistencia a cortante normalizada que depende de los diversos modos de falla que causan inestabilidad en las columnas y posiblemente el colapso del entrepiso crítico.

Para la evaluación de estos criterios se requieren datos básicos del edificio, como la configuración en planta y en elevación del edificio, las propiedades de los materiales y el detallado del refuerzo de los elementos acorde con la época de construcción del edificio. A continuación se describe el procedimiento para la evaluación de los criterios descritos:

1. *Demanda sísmica en términos de la distorsión en el entrepiso crítico*

Usando la función $\phi_i = \text{sen}(\pi Zi/2n)$ como una aproximación de la configuración de la deformada del modo fundamental de vibración de la estructura y asumiendo un comportamiento por cortante, se obtiene la siguiente expresión para el cálculo del periodo fundamental:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m_i \sum \phi_i^2}{K_i \sum (\phi_i - \phi_{i-1})^2}}$$

Donde:

K_i es la rigidez del nivel i .
 m_i es la masa del nivel i .

A partir de lo anterior, y en función del espectro de diseño para suelo tipo I y tipo B construido de conformidad con EC8-I (2004) es posible establecer una relación entre la demanda de distorsión para el primer nivel de la estructura y el índice de rigidez geométrica k , como sigue:

$$0.15 \leq T \leq 0.50 \quad \theta_1 = 121.6 a_g n^2 \left(\frac{\gamma}{E_c k} \right) \text{sen} \left(\frac{\pi}{2n} \right)$$

$$0.50 \leq T \leq 2.00 \quad \theta_1 = 1.52 a_g \frac{n}{h_{st}^{0.5}} \left(\frac{\gamma}{E_c k} \right)^{0.5} \text{sen} \left(\frac{\pi}{2n} \right)$$

Donde:

a_g es la aceleración máxima del terreno.
 n es el número de niveles.
 E_c es el módulo de elasticidad del concreto.
 h_{st} es la altura de entrepiso.
 γ es la masa por unidad de área de la planta.

2. *Rigidez del entrepiso crítico*

El índice geométrico de rigidez k para sistemas duales es obtenido mediante la siguiente ecuación:

$$k = \rho_c + \eta_{wm}\rho_{wm}^e$$

Donde:

$$\eta_{wm} = \frac{25E_{wm}}{E_c \left(\frac{h_{st}^2}{l_{m,ave}^2} + 2.5 \right)}$$

$$\rho_{wm,i}^e = \rho_{wm,i} + \frac{\left(4 \frac{h_{st}^2}{l_{m,ave}^2} + 2.5 \right)}{\left(\frac{h_{st}^2}{l_{w,ave}^2} + 2.5 \right)} \frac{E_c}{E_{wm}} \rho_{wc,i}$$

En el caso de estructuras conformadas por marcos, el índice k es substituido por k' , tal como sigue:

$$k' = \rho_c + \eta_{wm}'\rho_{wm}$$

Donde:

$$\eta_{wm}' = \frac{10f_{wk} \sqrt{\left(1 + \frac{h_{st}^2}{l_{w,ave}^2} \right)}}{E_c\theta_1}$$

Donde:

- E_{wm} es el módulo de elasticidad de la mampostería.
- ρ_{wm}^e es la densidad de muros equivalente de mampostería y de concreto.
- $l_{m,ave}$ longitud promedio de muros de mampostería.
- $l_{w,ave}$ longitud promedio de muros de concreto.
- f_{wk} es el esfuerzo especificado a compresión del concreto.

3. Estimación de la demanda de distorsión a la falla

Cuando la demanda de distorsión θ_u , en el entrepiso crítico, es decir, en el primer nivel $\theta_{u,1}$, es menor que la distorsión estimada a la falla θ_{fail} , las estructuras desarrollan un adecuado comportamiento ante un sismo y se previene el colapso.

La demanda de distorsión de un nivel intermedio, desarrollada como consecuencia de la deformación de las columnas, es $\theta = \lambda_c\theta$, donde λ_c es la rigidez promedio de las columnas que llegan a una unión en un marco y se obtiene con la siguiente expresión:

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{(1 + \lambda)}$$

Donde:

$$\lambda = \frac{\sum EI_b h_{st}}{\sum EI_c h_{st}}$$

De manera similar, La demanda de distorsión desarrollada como consecuencia de la deformación de las vigas es $\theta = \lambda_b \theta$, donde $\lambda_b = 1 - \lambda_c$.

Si la falla ocurre antes de la fluencia de las columnas y la fuerza cortante del modo de falla que controla la respuesta de la columna ($V_{u,lim}$) es menor que el cortante correspondiente a la fluencia del refuerzo longitudinal de las columnas ($V_{y,flex}$), entonces la distorsión a la falla es obtenida por:

$$\theta_{fail}^c = \frac{V_{u,lim}}{V_{y,flex}} \theta_{y,nom}^c = r_{u,lim} \theta_{y,nom}^c \leq \theta_{y,nom}^c$$

$$\theta_{fail}^b = \frac{1}{\lambda_c} \theta_{fail}^c$$

Donde $\theta_{y,nom}^c$ es la distorsión relativa de las columnas cuando fluye el refuerzo longitudinal. Para estructuras de marcos típicas con alturas de entrepiso de 3 m, éste valor usualmente es del orden de 0.5%. θ_{fail}^c es la distorsión de las columnas al inicio de la falla antes de la fluencia a flexión de la columna. Para construcciones antiguas típicas donde los estribos están espaciados más de 200 mm, la resistencia última de las columnas $r_{u,lim}$ debe estar entre 0.3 a 0.6 dependiendo del tamaño de las columnas. La distorsión de las vigas en este estado es:

$$\theta_{fail}^b = \lambda_b \theta_{fail}$$

En la figura 3.5.1 se representa gráficamente la relación entre la densidad de los elementos verticales k o k' y la demanda de distorsión en el nivel crítico θ_1 en correspondencia con el número de niveles. En ella se observa que, a mayor densidad de elementos estructurales distribuidos en todos los niveles, la demanda de distorsión disminuye.

Espacio dejado intencionalmente en blanco

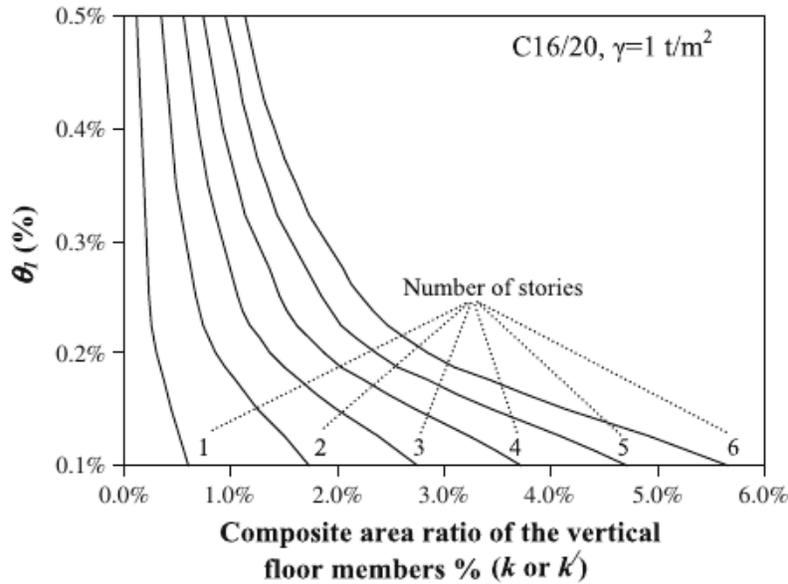


Figura 3.5.1 Relación entre el índice de rigidez geométrica y la demanda de distorsión para el primer nivel (Metodología de Paradalopoulos et al., 2013)

4. Evaluación de la capacidad

El colapso de una estructura ocurre cuando los elementos verticales del entrepiso crítico pierden la capacidad de soportar las cargas verticales. Este proceso puede iniciar por la pérdida la capacidad de carga lateral de las columnas o por efectos de punzonamiento o pérdida de soporte de los diafragmas.

Suponiendo el punto de inflexión (punto de cero momento flexionante) a la mitad de la longitud de la columna, como se muestra en la figura 3.5.2 (a), se establece una relación entre las resistencias críticas de varios mecanismos que pueden provocar la falla en una columna y la resistencia a cortante de las columnas. De tal modo que ante la ocurrencia de cualquiera de estos fenómenos, el cortante en la columna, $V_{col} = (M^{top} + M^{bottom})/h_{st}$ donde h_{st} es la longitud deformada de la columna. Esto permite usar el cortante de la columna como una base común para la comparación de resistencias con el fin de establecer una jerarquía de los posibles eventos que amenacen la integridad de una estructura bajo cargas laterales. La demanda de cortante asociada a la fluencia a flexión en los extremos de la columna es un punto de referencia para establecer la jerarquía de la falla:

$$V_{y,flex}^{col} = 2M_y/h_{st}$$

Tomando como referencia el modelo de equilibrio representado en la figura 3.5.2 (a), los demás casos se obtienen considerando la inversión de momento en la columna, debido a la transferencia de momento de los elementos horizontales a los verticales, en la unión viga-columna (en estructuras a base de marcos) o en las uniones losa-columna en estructuras de losas planas. En la figura 3.5.2 se

presentan el diagrama de momentos (a) y los mecanismos de falla de las columnas de concreto (b a g) considerados en la calibración de la metodología. Estos son:

- a) Diagrama de momentos flexionantes
- b) Fluencia a flexión
- c) Falla por cortante
- d) Falla en traslapes o anclajes
- e) Falla en uniones por cortante
- f) Falla por punzonamiento
- g) Cortante en columna limitado por articulaciones plásticas en vigas (comportamiento dúctil)

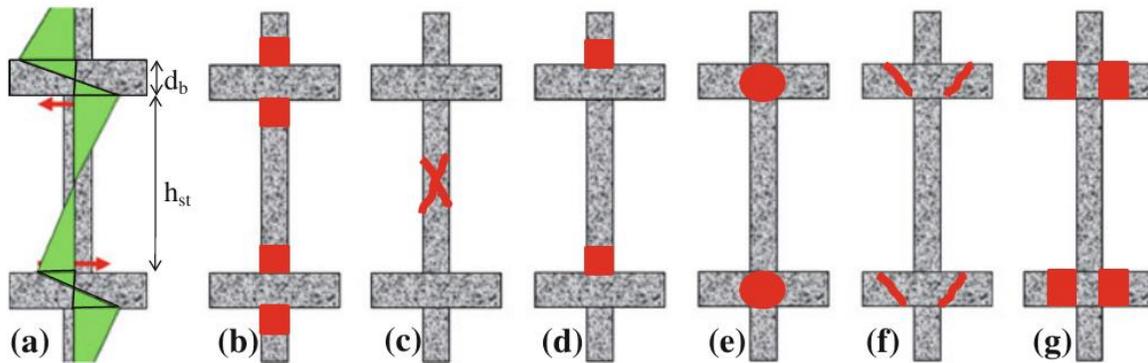


Figura 3.5.2 Mecanismos de falla considerados en la metodología de Paradalopoulos et al. (2013)

El menor valor del comportamiento controla el modo de falla de la columna, tal como sigue:

$$r_{u,lim} = \min\{r_v; r_a; r_{lap}; r_j; r_{pn}\}$$

Donde:

- r_v es la relación entre la resistencia a cortante de las columnas y el cortante a flexión $V_{y,flex}^{col}$.
- r_a es la relación entre la resistencia de las columnas considerando la falla en los anclajes y el cortante a flexión $V_{y,flex}^{col}$.
- r_{lap} es la relación entre la resistencia de las columnas considerando la falla en los traslapes y el cortante a flexión $V_{y,flex}^{col}$.
- r_j es la relación entre la resistencia de las columnas considerando la falla en los nudos y el cortante a flexión $V_{y,flex}^{col}$.
- r_{pn} es la relación entre la resistencia de las columnas considerando la falla por punzonamiento y el cortante a flexión $V_{y,flex}^{col}$.
- r_{by} es la relación entre la resistencia de las columnas considerando la fluencia en vigas y el cortante a flexión $V_{y,flex}^{col}$.

Si la fuerza cortante inducida en la columna es limitada por la fluencia de las vigas adyacentes $r_{u,lim} > r_{rby}$, y la demanda de distorsión θ_1 excede el límite θ_y^b/λ_b , donde θ_y^b es la rotación a flexión de la viga, se desarrollan articulaciones plásticas dúctiles en las vigas. Si, por el contrario, $\theta_1 < \theta_y^b/\lambda_b$, se supone que la estructura permanece elástica en un estado de pre-fluencia.

Las expresiones para el cálculo de cada una de las relaciones de resistencias de los modos de falla se presentan a continuación:

a) Resistencia a cortante de las columnas

$$r_v = \frac{v \cdot \tan \alpha \cdot b \cdot d \cdot f'_c + A_{st} \cdot f_{st} \cdot \frac{d-\xi \cdot d}{s} \cdot \cot \theta_1}{\left[\rho_{\ell,tot} \cdot \frac{f_y}{f'_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right] \cdot \frac{b \cdot d^2 \cdot f'_c}{h_{st}}} \Leftrightarrow$$

$$r_v = \frac{v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) + \frac{A_{st}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{st}}{f'_c} \cdot \frac{h_{st}}{d} \cdot (1 - \xi) \cdot \cot \theta_1 \cdot \frac{d}{s}}{\rho_{\ell,tot} \cdot \frac{f_y}{f'_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right)}$$

b) Resistencia asociada a la falla en anclajes de las columnas

$$r_a = \frac{\left[\rho_{\ell,tot} \cdot \frac{\min \left\{ \frac{4 \cdot L_b \cdot f_b}{D_b} + a_{hook} \cdot 50 \cdot f_b ; f_y \right\}}{f'_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right] \cdot \frac{b \cdot d^2 \cdot f'_c}{h_{st}}}{\left[\rho_{\ell,tot} \cdot \frac{f_y}{f'_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right] \cdot \frac{b \cdot d^2 \cdot f'_c}{h_{st}}}$$

$$r_a = \frac{\left[\rho_{\ell,tot} \cdot \frac{\min \left\{ 4 \cdot \psi \cdot f_b + a_{hook} \cdot 50 \cdot f_b ; f_y \right\}}{f'_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right]}{\left[\rho_{\ell,tot} \cdot \frac{f_y}{f'_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right]}$$

c) Resistencia asociada a la falla en traslapes de las columnas

$$r_{lap} = \frac{\left[\min \left\{ \left(\mu_{fr} \cdot L_b \left[\frac{A_{tr}}{s} \cdot f_{st} + \alpha_b \cdot (b - N_b \cdot D_b) \cdot f_t \right] + a_{hook} \cdot 50 \cdot N_b \cdot A_b \cdot f_b \right) ; N_b \cdot A_b \cdot f_y \right\}}{(h_{st}/2) \cdot d \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot b \cdot d^2 \cdot f_c \cdot (0.5 \cdot h/d - 0.4 \cdot \xi)} \right]}{\left[\rho_{\ell,tot} \cdot \frac{f_y}{f'_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right] \cdot \frac{b \cdot d^2 \cdot f'_c}{h_{st}}}$$

$$r_{lap} \cong \frac{\min \cdot \left\{ \left(2 \cdot \psi \cdot \mu_{fr} \cdot \frac{D_b}{d} \cdot \left[\frac{A_{tr}}{b \cdot s} \cdot \frac{f_{st}}{f'_c} + \alpha_b \cdot \frac{f_t}{f'_c} \right] + a_{hook} \cdot 50 \cdot \rho_{\ell,tot} \cdot \frac{f_b}{f'_c} \right) ; \rho_{\ell,tot} \cdot \frac{f_y}{f'_c} \right\} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right)}{\left[\rho_{\ell,tot} \cdot \frac{f_y}{f'_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right]}$$

d) **Resistencia asociada a la falla en uniones**

$$r_j = \frac{\gamma_j \cdot 0.5 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \sqrt{1 + \frac{v_j \cdot f'_c}{0.5 \cdot \sqrt{f'_c}}} \cdot b_j \cdot d \cdot d_{beam} / h_{st}}{\left[\rho_{\ell, tot} \cdot \frac{f_y}{f'_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right] \cdot \frac{b \cdot d^2 \cdot f'_c}{h_{st}}} \Leftrightarrow$$

$$r_j = \frac{\gamma_j \cdot 0.5 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot v_j \cdot f_c^{0.5}} \cdot b_j \cdot d_{beam}}{\left[\rho_{\ell, tot} \cdot \frac{f_y}{f'_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right] \cdot b \cdot d \cdot \sqrt{f'_c}}$$

e) **Resistencia asociada a la falla por punzonamiento**

$$r_{pn} = \frac{\left[0.12 \cdot \min \left\{ 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{sl}}}; 2 \right\} \cdot (100 \rho_{\ell, sl} \cdot f'_c)^{1/3} \cdot d_{sl} \cdot 0.25 u_{crit} \cdot (h + 4d_{sl}) \right] / h_{st}}{\left[\rho_{\ell, tot} \cdot \frac{f_y}{f'_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right] \cdot \frac{b \cdot d^2 \cdot f'_c}{h_{st}}}$$

$$r_{pn} = \frac{\frac{0.12}{f'_c} \cdot \min \left\{ 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{sl}}}; 2 \right\} \cdot (100 \rho_{\ell, sl} \cdot f'_c)^{1/3} \cdot \frac{d_{sl}}{d} \cdot \frac{0.25 u_{crit}}{b} \cdot \left(\frac{h}{d} + 4 \frac{d_{sl}}{d} \right)}{\left[\rho_{\ell, tot} \cdot \frac{f_y}{f'_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right]}$$

f) **Resistencia asociada a la flexión de las vigas**

$$r_{by} = \frac{(M_{beam}^+ + M_{beam}^-) / h_{st}}{r_{u, lim} \cdot \left[\rho_{\ell, tot} \cdot \frac{f_y}{f'_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right] \cdot \frac{b \cdot d^2 \cdot f'_c}{h_{st}}} \Leftrightarrow$$

$$r_{by} = \frac{0.85 \cdot \rho_{beam}}{r_{u, lim} \cdot \left[\rho_{\ell, tot} \cdot \frac{f_y}{f'_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right]} \cdot \frac{b_{beam} \cdot d_{beam}^2}{b \cdot d^2} \cdot \frac{f_y^{beam}}{f'_c}$$

Donde:

$\rho_{l, tot}$ es la cuantía de acero de refuerzo longitudinal de una columna de dimensiones h y b , $\rho_{l, tot} = A_{s, tot} / bd$.

$A_{s, tot}$ es el área total del refuerzo longitudinal en la sección crítica de la columna.

d es la altura efectiva de la columna.

N_b es el número de barras longitudinales a tensión.

A_b es el área de una sola barra a tensión.

L_b es la longitud de anclaje del refuerzo longitudinal expresado en múltiplos del diámetro de la barra de acero principal, $L_b = \psi D_b$.

D_b es el diámetro de las barras de refuerzo longitudinal.

f_b es el esfuerzo de unión del concreto. Para barras corrugadas $f_b = 2f_{b,0}$, $f_{b,0} = n_1 n_4 (f_c / 20)^{0.5}$, $n_1 = 1.80$, $n_4 = 1.2$ para $f_y = 400 \text{ MPa}$, $n_4 = 1.0$ para $f_y = 500 \text{ MPa}$. Para el caso de una barra lisa la capacidad de unión es $50f_b A_b$.

- α_{hook} es un índice binario (1 o 0) que toma en cuenta anclajes de gancho, $\alpha_{hook} = 0$ si no hay ganchos.
- μ_{fr} es el coeficiente de fricción, $0.2 \leq \mu_{fr} \leq 0.3$ para barras lisas y $1.0 \leq \mu_{fr} \leq 1.5$ para barras corrugadas.
- α_b es una variable que regula la contribución del recubrimiento del concreto. Es 1 para concretos cuya deformación en la sección transversal crítica permanece menor a 0.002.
- a_b se supone que decae gradualmente a 0 si la deformación en la sección transversal crítica excede 0.0035.
- f'_c es el esfuerzo especificado a compresión del concreto.
- f_t es el esfuerzo especificado a tensión del concreto.
- f_y es el esfuerzo especificado de fluencia del refuerzo longitudinal.
- f_{st} es el esfuerzo especificado de fluencia de los estribos.
- ξ es la altura normalizada de la zona de compresión en función de $\rho_{l,tot}$ y ν
- ν es la relación de carga axial actuando sobre la sección transversal de la columna en la unión, $\nu = N_{g+0.3q}/bdf_c$.
- γ_j es 1.40 para uniones interiores, 1.00 para otros casos, para uniones sin estribos los valores se reducen a 0.4 y 0.3 respectivamente.
- $\rho_{j,horiz}$ es la cuantía de acero de refuerzo horizontal de las vigas, $\rho_{j,horiz} = A_{tr}/sb_j$.
- A_{tr} es el área total de los ganchos de los estribos en un patrón sencillo de estribos, que son interceptados por una plano inclinado de deslizamiento.
- s es la separación entre estribos.
- b_j es el ancho de la unión.
- b_{beam} es el ancho de la viga adyacente.
- d_{beam} es la altura de la viga.
- h_{st} es la longitud deformada de las columnas.
- d_{sl} es la altura de la losa.
- $\rho_{l,sl}$ es el refuerzo de la losa en el perímetro de punzonamiento alrededor de la columna, u_{crit} .
- ρ_{beam} es la cuantía de refuerzo longitudinal de la viga adyacente.

3.5.4 Resultados

La metodología estima la fuerza cortante máxima que puede ser resistida en el piso crítico (nivel 1), de modo que se pueda estimar la distorsión asociada a la pérdida de la capacidad de carga vertical de las columnas. A su vez, se compara con la demanda de deriva calculada para un espectro de diseño elástico Tipo I (EC8, 2004) ajustado al PGA registrado en el evento sísmico, que se asocia al índice de rigidez de la estructura, con la finalidad de establecer el desempeño (daño o colapso) .

3.5.5 Limitaciones y precisión

La metodología de Pardalopoulos et al., 2013 es aplicable a estructuras conformadas por sistemas estructurales a base de elementos de concreto reforzado con muros de mampostería. Esta metodología se limita a edificios de baja y mediana altura. Su costo de aplicación es medio, su tiempo de ejecución es medio y requiere de personal con experiencia en diseño sísmico, estructural y geotécnico por lo que se debe prever la necesidad de capacitar adecuadamente a los evaluadores con la finalidad de

comprender los fundamentos de la metodología. La precisión de esta metodología es alta debido a que ha sido calibrada para las condiciones de peligro y vulnerabilidad de la zona de estudio.

Para la calibración de la metodología, se utilizaron una serie edificios de concreto que se demolieron o sufrieron daños graves durante sismos pasados. Para medir la funcionalidad del enfoque propuesto, se empleó la metodología en 10 estructuras que también experimentaron fallas frágiles y colapsos.

Los procedimientos en esta metodología son más detallados que los expuestos en secciones anteriores pero pueden servir para la evaluación sísmica preliminar de un edificio cuando son utilizados por ingenieros experimentados que pueden identificar de manera confiable los datos de entrada requeridos para las ecuaciones. Estas ecuaciones han sido derivadas de condiciones de equilibrio a la falla. Se debe tener especial cuidado cuando se usa por primera vez para evitar errores en la definición de los conceptos, en unidades de medida y en el cálculo de las variables.

3.6 GRECIA – METODOLOGÍA DE PARDALOPOULOS ET AL., 2018

En el año 2018, Stylianos I. Pardalopoulos, Stavroula J. Pantazopoulou y Vasilios A. Lekidis actualizaron la metodología de Pardalopoulos et al. de 2013. Según los autores, esta metodología representa una versión mejorada del procedimiento de evaluación rápida en términos de:

- a) Aplicación a edificios que cuyos muros de relleno de mampostería tienen una contribución significativa a la resistencia lateral del edificio
- b) Mejora y simplificación de las ecuaciones utilizadas en el procedimiento
- c) Determinación de la demanda sísmica en términos del valor de aceleración máxima del terreno (PGA), que la estructura puede soportar sin daños
- d) Creación de un formulario de fácil aplicación para que los evaluadores puedan utilizar como una guía para realizar de forma rápida en sitio.

3.6.1 Niveles de análisis

La metodología Pardalopoulos et al. 2018 tiene un nivel de evaluación, que de acuerdo con las consideraciones generales de este documento (sección 1.1), corresponde a la fase pre-sismo y a un nivel de evaluación de “Nivel 2”. La metodología emplea la resolución de ecuaciones para obtener conclusiones acerca de la probabilidad de experimentar fallas frágiles o el colapso de la estructura durante un evento sísmico.

3.6.2 Objetivos

La metodología de Pardalopoulos et al. 2018 fue desarrollada para facilitar la evaluación sísmica preliminar de edificios existentes. El procedimiento permite identificar la respuesta del elemento más débil que controla el cortante y la capacidad de distorsión del piso más crítico del edificio. Para tales fines, la metodología utiliza las características geométricas y las propiedades de los materiales del edificio, los cuales pueden identificarse, de una manera relativamente sencilla, mediante la observación y/o pruebas no destructivas.

3.6.3 Procedimiento

Para la aplicación de esta metodología se debe contar con información del edificio referente a: número de niveles, altura de entrepiso, área de la planta, ubicación y área en planta de los elementos resistentes a cargas laterales, año y zona de construcción). La metodología se fundamenta en dos criterios fundamentales. El primero considera que la demanda de desplazamiento depende de la rigidez de la estructura, para lo cual usa la densidad de los elementos verticales en planta. El segundo corresponde al valor límite de la demanda de desplazamiento, que está asociado a la fluencia de las columnas y que asegura un comportamiento dúctil de la estructura. Este valor es reducido para contemplar la respuesta frágil de las columnas para lo cual utiliza la resistencia disponible de las columnas que es inferior a la demanda de flexión.

1. *Criterio de evaluación de la resistencia*

En estructuras que han sido diseñadas de acuerdo con conceptos modernos de diseño por capacidad y con un detallado de elementos, se desarrollan articulaciones plásticas de flexión que se generan en ubicaciones estratégicas en toda la estructura tal que éstas actúan como un fusible, evitando así los modos de falla frágiles que pueden poner en peligro la resistencia de la estructura. Sin embargo, existen estructuras que ante un evento sísmico colapsan debido a la formación de un mecanismo de falla frágil que impide la posibilidad de desarrollar ductilidad.

Este criterio supone que la resistencia a cortante que puede soportar una columna se define a partir del mecanismo más débil que pueda desarrollar y corresponderá al modo de falla de la columna (figura 3.6.1), es decir, un edificio puede considerarse vulnerable cuando el mecanismo de falla frágil domina la respuesta antes de que ocurra la falla por flexión.

A partir del diagrama de momentos de la figura 3.6.1 (a), el momento total en las vigas en la unión viga-columna debido a una acción sísmica se calcula como $M_o = (M_b^+ + M_b^-)$. M_o se supone distribuido en la parte superior e inferior de la unión lo que permite establecer que el momento flexionante arriba y debajo de la columnas es $0.5 M_o$. El cortante es obtenido de la pendiente del diagrama de momentos de las figura 3.6.1 (a) y se define como $V_{by} = M_o/h_{cl}$ donde es la altura libre de la columna.

Usando el diagrama de momentos como una herramienta básica de equilibrio, se definen todos los mecanismos de resistencia que son competentes para definir la menor resistencia de una columna, estos son: M_1 : fluencia a flexión en columnas; M_2 : falla a cortante en el alma de la columna; M_3 : falla de anclaje del refuerzo longitudinal en la base de la columna; M_4 : falla en los traslapes del refuerzo longitudinal; M_5 : falla por corte en la unión viga-columna; M_6 : falla por punzonamiento en la unión losa-columna. También se considera el escenario ideal en el que la fuerza cortante inducida a las columnas se limita por medio de la fluencia dúctil del refuerzo longitudinal de las vigas adyacentes. Todos los mecanismos de falla se ilustran en la figura 3.6.1 [b) a h)] y están asociados a la falla del material y están expresados en términos de la magnitud del cortante de la columna que se desarrolla en la estructura cuando éstos ocurren.

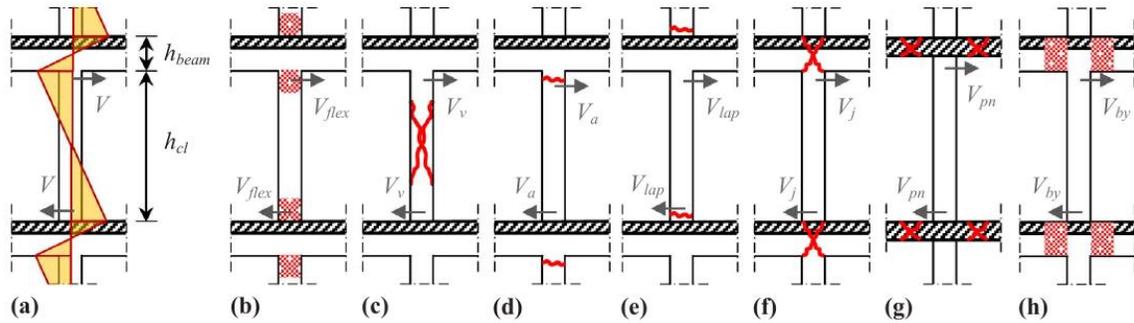


Figura 3.6.1 Mecanismos de falla considerados en la metodología de Paradalopoulos et al. (2018)

La evaluación de la resistencia se basa en el cálculo de la relación de la resistencia límite, r_{fail} . La relación de resistencia límite se calcula como la resistencia a cortante asociada al mecanismo de falla crítico (predominante) normalizado por la fuerza cortante requerida para desarrollar la falla por flexión en columnas, V_{flex} . El modo de falla que controla se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$r_{fail} = \min\{r_v; r_a; r_{lap}; r_j; r_{pn}\} \leq r_{by}$$

Donde:

$$r_v = \frac{V_v}{V_{flex}}$$

$$r_a = \frac{V_a}{V_{flex}}$$

$$r_{lap} = \frac{V_{lap}}{V_{flex}}$$

$$r_j = \frac{V_j}{V_{flex}}$$

$$r_{pn} = \frac{V_{pn}}{V_{flex}}$$

$$r_{by} = \frac{V_{by}}{V_{flex}}$$

Las expresiones para el cálculo de la resistencia a cortante de cada modo de falla se presentan a continuación:

- **Demanda de cortante por flexión**

$$V_{flex} = 2 \cdot M_y / h_{col} = \left[\rho_{\ell, tot} \cdot \frac{f_y}{f_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right] \cdot \frac{b \cdot d^2 \cdot f_c}{h_{cl}}$$

- **Pérdida de resistencia a cortante**

$$\text{If } v \geq 0.10: \quad V_v = v \cdot \tan \alpha \cdot b \cdot d \cdot f_c + A_{tr} \cdot f_{st} \cdot \frac{d \cdot (1 - \xi)}{s} \cdot \cot \theta_v$$

$$\text{If } v < 0.10: \quad V_v = A_{tr} \cdot f_{st} \cdot \frac{d \cdot (1 - \xi)}{s} \cdot \cot \theta_v$$

- **Falla de anclaje del refuerzo longitudinal**

$$V_a = \left[\rho_{\ell, tot} \cdot \frac{\min \left\{ \frac{4 \cdot L_a \cdot f_b}{D_b} + \alpha_{hook} \cdot 50 \cdot f_b \cdot f_y \right\}}{f_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right] \cdot \frac{b \cdot d^2 \cdot f_c}{h_{cl}}$$

- **Falla en traslapes del refuerzo longitudinal**

$$V_{lap} = \frac{\left[\min \left\{ \left(\mu_{\bar{p}} \cdot L_{lap} \cdot \left[\frac{A_{tr}}{s} \cdot f_{st} + \alpha_b \cdot (b - N_b \cdot D_b) \cdot f_t \right] + \alpha_{hook} \cdot 50 \cdot N_b \cdot A_b \cdot f_b \right); N_b \cdot A_b \cdot f_y \right\} \cdot d \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot b \cdot d^2 \cdot f_c \cdot (0.5 \cdot h/d - 0.4 \cdot \xi) \right]}{h_{cl}/2}$$

- **Resistencia a cortante en uniones viga-columna sin refuerzo o ligeramente detalladas**

$$V_j = \gamma_j \cdot 0.5 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \sqrt{1 + \frac{v_j \cdot f_c}{0.5 \cdot \sqrt{f_c}} \cdot \frac{b_j \cdot d \cdot d_{beam}}{h_{cl}}}$$

- **Resistencia a cortante en uniones viga-columna bien detalladas**

$$V_j = \left[\gamma_j \cdot 0.5 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \sqrt{1 + \frac{v_j \cdot f_c}{0.5 \cdot \sqrt{f_c}} \cdot \frac{b_j \cdot d \cdot d_{beam}}{h_{cl}}} \right] \cdot \sqrt{1 + \rho_{j, horiz} \cdot \frac{f_{st}}{f_t}}$$

- **Cortante por punzonamiento en uniones losa-columna**

$$V_{pn} = \frac{0.12 \cdot \min \left\{ 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{sl}}}; 2 \right\} \cdot (100 \cdot \rho_{\ell, sl} \cdot f_c)^{1/3} \cdot d_{sl} \cdot 0.25 \cdot u_{crit} \cdot (h + 4 \cdot d_{sl})}{h_{cl}}$$

- **Cortante límite debido a la fluencia del refuerzo longitudinal de las vigas**

$$V_{by} = \frac{(M_{beam}^+ + M_{beam}^-)}{h_{cl}} = \frac{0.85 \cdot \rho_{beam} \cdot b_{beam} \cdot d_{beam}^2 \cdot f_y^{beam}}{h_{cl}}$$

Donde:

$\rho_{l,tot}$ es la cuantía de acero de refuerzo longitudinal de una columna de dimensiones h y b , $\rho_{l,tot} = A_{s,tot}/bd$.

$A_{s,tot}$ es el área total del refuerzo longitudinal en la sección crítica de la columna.

d es la altura efectiva de la columna.

f_y es el esfuerzo especificado de fluencia del refuerzo longitudinal.

f_c es el esfuerzo especificado a compresión del concreto.

ξ es la altura normalizada de la zona de compresión, $\xi = x/d$.

ν es la relación de carga axial actuando sobre la sección transversal, $\nu = N_{g+0.3q}/bdf_c$.

H_{cl} es la longitud deformada de la columna.

$\tan \alpha$ es el ángulo de inclinación de la diagonal creada entre los centroides de las zonas de compresión por arriba y por debajo de la sección transversal de las columnas (representa la cruz formada por la carga axial actuando sobre la columna), $\tan \alpha = (h/d - 0.8\xi)d/H_{cl}$, $\alpha \leq \theta_v$.

θ_v es el ángulo formado por el eje longitudinal del elemento y la mayor grieta inclinada desarrollada en la articulación plástica de la columna, $\theta_v = 45^\circ$ cuando $\nu < 0.10$, $\theta_v = 30^\circ$ cuando $\nu \geq 0.10$ y para $0.10 \leq \nu < 0.25$ se interpola linealmente.

h_{st} es la altura de los ganchos de los estribos.

A_{tr} es el área total de los ganchos de los estribos en un patrón sencillo de estribos, que son interceptados por una plano inclinado de deslizamiento.

s es la separación entre estribos.

f_{st} es el esfuerzo especificado de fluencia de los estribos.

L_α es la longitud de anclaje del refuerzo longitudinal.

D_b es el diámetro de las barras de refuerzo longitudinal.

α_{hook} es un índice binario (1 o 0) que toma en cuenta anclajes de gancho, $\alpha_{hook} = 0$ si no hay ganchos.

f_b es el esfuerzo de unión del concreto, $f_b = 2f_{b,0}$, $f_{b,0} = 180(f_c/20)^{0.5}$.

μ_{fr} es el coeficiente de fricción, $0.2 \leq \mu_{fr} \leq 0.3$ para barras lisas y $1.0 \leq \mu_{fr} \leq 1.5$ para barras corrugadas.

L_{lap} es la longitud de traslape.

α_b es un índice binario (1 o 0) que depende de si las barras son lisas o corrugadas.

N_b es el número de barras longitudinales a tensión.

A_b es el área de una sola barra a tensión.

f_t es el esfuerzo especificado a tensión del concreto, $f_t = 0.3f_c^{2/3}$.

γ_j es 1.40 para uniones interiores, 1.00 para otros casos, para uniones sin estribos los valores se reducen a 0.4 y 0.3 respectivamente.

ν_j es la carga axial de servicio actuando en la base de la columna ajustado arriba de la unión.

b_j es el ancho de la unión, $b_j = (b + b_{beam})/2$.

b_{beam} es el ancho de la viga adyacente.

d_{beam} es la altura de la viga.

$\rho_{j,horiz} = A_{tr}/sb_j$.

d_{sl} es la altura de la losa.

$\rho_{l,sl}$ es el refuerzo de la losa en el perímetro de punzonamiento alrededor de la columna, u_{crit} .

ρ_{beam} es la cuantía de refuerzo longitudinal a tensión.

f_y^{beam} es el esfuerzo especificado de fluencia de al acero longitudinal de las vigas.

En el caso en el que $r_{fail} > r_{by}$, se espera el desarrollo de articulaciones plásticas en los extremos de las vigas adyacentes a la columna analizada. Cuando $r_{fail} < r_{by}$ y $r_{fail} \geq 1$, se espera una respuesta dúctil de la columna como resultado de la fluencia del refuerzo longitudinal, mientras que si $r_{fail} < 1$, se espera que la columna experimente una falla frágil.

2. Criterio de evaluación de la rigidez

El modo fundamental de vibración para un edificios con una configuración en planta regular y que tiene una comportamiento predominante a cortante puede ser aproximado como $\Phi_1(Z_i) = \text{sen}(\pi Z_i/2H)$, donde Z_i es la distancia del nivel de banqueta al nivel i y H es la altura total del edificio. En el caso de que los muros de mampostería contribuyan a la rigidez lateral del edificio, la forma modal puede ser aproximada como $\Phi_1(Z_i) = Z_i/H$. En el caso de edificios con plantas bajas flexibles el modo fundamental se supone por simplicidad como $\Phi_1(Z_i) = 1$.

Para edificios con rigideces K y masas M de entrepisos uniformes. El periodo fundamental de un sistema de un grado de libertad se calcula mediante la siguiente expresión:

$$T = 2\pi\Omega \sqrt{\frac{M}{K}}$$

Donde

$$\Omega = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Phi(Z_i)^2}{\sum_{i=1}^n \Delta\Phi(Z_i)^2}}$$

Ω también puede obtenerse de la tabla 3.6.1 para cualquier forma modal, como se muestra a continuación.

Espacio dejado intencionalmente en blanco

Tabla 3.6.1 Valores de Ω , $2\pi\Omega$, $\Delta\Phi_1$ y Φ_s para la metodología de Paradalopoulos et al. (2018)

Number of storeys, n	Buildings with uniform plan configuration								Pilotis-type buildings			
	$\Phi_1(z_i) = \sin(\pi z_i/(2H))$				$\Phi_1(z_i) = z_i/H$				Ω	$2\pi\Omega$	$\Delta\Phi_1$	Φ_s
	Ω	$2\pi\Omega$	$\Delta\Phi_1$	Φ_s	Ω	$2\pi\Omega$	$\Delta\Phi_1$	Φ_s				
2	1.600	10.05	0.707	1.138	1.581	9.93	0.500	1.200	\sqrt{n}	$2\pi\sqrt{n}$	1.000	1.000
3	2.231	14.02	0.500	1.183	2.160	13.57	0.333	1.286				
4	2.865	18.00	0.383	1.205	2.739	17.21	0.250	1.333				
5	3.501	22.00	0.309	1.219	3.317	20.84	0.200	1.364				
6	4.138	26.00	0.259	1.228	3.894	24.47	0.167	1.385				
7	4.774	30.00	0.223	1.234	4.472	28.10	0.143	1.400				
8	5.411	34.00	0.195	1.239	5.050	31.73	0.125	1.412				

El periodo fundamental es esencial para la estimación de la demanda sísmica en términos de la aceleración pico $S_a(T)$. La demanda pico de desplazamiento relativo $S_d(T)$ para un sistema equivalente de un grado de libertad es obtenido a partir de $S_a(T)$ de acuerdo con los siguientes principios:

$$S_d(T) = S_a(T) \frac{T^2}{4\pi^2} \approx S_a(T) \frac{T^2}{40}$$

La demanda de desplazamiento en cada nivel y la demanda de distorsión a la respuesta pico están dadas por:

$$\Delta(Z_i) = \Phi(Z_i)\Delta_{top} = \Phi(Z_i)\Phi_s S_d(T)$$

$$\Theta_i = \frac{(\Phi(Z_i) - \Phi(Z_{i-1}))}{h_{cl}} \Phi_s S_d(T)$$

Para los valores espectrales definidos del espectro para suelos tipo B y tipo 1 del espectro EC8-I (2004), se obtienen las siguientes expresiones para el cálculo de la demanda de distorsión ($\Delta\Phi_1$, Φ_s y $2\pi\Omega$ se obtienen de la tabla 3.6.1):

$$0.15 \text{ s} \leq T \leq 0.50 \text{ s} \quad ID_{cr} = 0.075 a_g \frac{\Delta\Phi_1 \Phi_s (2\pi\Omega)^2 M}{h_{cl} K_{cr}}$$

$$0.50 \text{ s} < T \leq 2.00 \text{ s} \quad ID_{cr} = 0.0375 a_g \frac{1 \Delta\Phi_1 \Phi_s (2\pi\Omega)^2 M}{T h_{cl} K_{cr}}$$

Donde:

- K_{cr} es la rigidez total del entrepiso crítico en la dirección débil. Incluye la contribución de columnas y de muros de relleno de mampostería.
- M es la masa traslacional de un entrepiso típico del edificio.

La fracción de la demanda de distorsión desarrollada por la columna en el entrepiso crítico es $\Theta_{c,cr} = \lambda_c ID_{cr}$ donde $\lambda_c = \lambda/(1 + \lambda)$ y $\lambda = n_b EI_b h_{cl}/n_c EI_c L_b$.

Donde:

- n_b y n_c representa el número de vigas y columnas que convergen en una unión de un entrepiso típico.
 EI_b y EI_c representa la rigidez a flexión de vigas y columnas.
 L_b es la longitud típica de las vigas.

Una columna que es llevada a una falla frágil a una relación de resistencia $r_{fail} < 1$ tiene una capacidad de distorsión reducida igual a $\theta_{c, fail} = \theta_{c,y} r_{fail}$. Entonces en lugar de estimar la demanda y compararla con la capacidad, es posible resolver por un proceso inverso la aceleración máxima que puede soportar una estructura antes del colapso $a_{g, lim}$. Para un suelo tipo B y tipo 1 del EC8-I (2004), $a_{g, lim}$ puede calcularse como:

$$0.15 \text{ s} \leq T \leq 0.50 \text{ s} \quad a_{g, lim} = 4.667 \frac{r_{fail}}{\lambda_c} \frac{\varepsilon_y h_{cl}^2}{\Delta\Phi_1 \Phi_s (2\pi\Omega)^2 h_{sec}} \frac{K_{cr}}{M}$$

$$0.50 \text{ s} < T \leq 2.00 \text{ s} \quad a_{g, lim} = 9.333 T \frac{r_{fail}}{\lambda_c} \frac{\varepsilon_y h_{cl}^2}{\Delta\Phi_1 \Phi_s (2\pi\Omega)^2 h_{sec}} \frac{K_{cr}}{M}$$

En el caso de edificios con una configuración en planta regular, la rigidez lateral total del entrepiso crítico K_{cr} puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$K_{cr} = \frac{A_f}{h_{cl}} D^c \rho_{cr}$$

Donde:

- A_f es el área en planta.
 D^c se calcula como $D^c = (E_c/a)(h_{sec}/h_{cl})^2$.
 ρ_{cr} se calcula como $\rho_{cr} = \rho_{c, cr} + (D^{mw}/D^c)\rho_{mw, cr}$.
 D^{mw} se calcula como $D^{mw} = \frac{0.1f_{mw}}{\mu_{y, mw}\theta_{y, mw}\sqrt{1+h_{cl}^2/l_{mw}^2}}$.
 E_c es el módulo de elasticidad del concreto.
 a es igual a 2 para bajos niveles de distorsión o 3 para distorsiones del orden de 0.5%.
 $\rho_{c, cr}$ se calcula como A_c/A_f , donde A_c es el área de columnas en el entrepiso crítico.
 $\rho_{mw, cr}$ se calcula como A_{mw}/A_f , donde A_{mw} es el área de muros de relleno en el entrepiso crítico.
 f_{mw} es la resistencia especificada a compresión de los muros de mampostería.
 $\theta_{y, mw}$ es 0.2% y representa la rotación de los muros de mampostería a la fluencia.
 $\mu_{y, mw}$ es el nivel de ductilidad de los muros de relleno.
 l_{mw} es la longitud total del muro de relleno paralela a la dirección débil del entrepiso crítico.

En el caso de edificios sin muros de concreto K_{cr} se puede aproximar utilizando el área total de la sección transversal de las columnas como:

$$K_{cr} = \frac{E_c}{3} \frac{A_c}{\left(\frac{h_{cl}}{h_{sec}}\right)^2 h_{cl}}$$

3. Formato de evaluación sísmica rápida (RSA)

El procedimiento de evaluación sísmica rápida (RSA) descrito en el apartado anterior puede simplificarse aún más, mediante la implementación un formato para la evaluación sísmica preliminar para edificios. La plantilla RSA está diseñada para guiar a los ingenieros de campo que realizan inspecciones visuales de edificios de concreto reforzado, en la identificación automatizada de las estructuras que son sísmicamente vulnerables. Esto es posible completando los campos del formulario RSA con datos derivados de mediciones en sitio y luego realizando cálculos numéricos simples.

El formato RSA consta de tres secciones (A, B y C). En la Sección A se ingresan datos sobre la identidad del edificio inspeccionado, su clasificación con respecto al uso, su ubicación geográfica y la zona de peligro. La sección B se refiere a las características geométricas y técnicas del edificio examinado. Los datos que se derivan de la inspección visual son el número de pisos y el número de sótanos, las características geométricas de los miembros estructurales (columnas, vigas y muros de concreto y mampostería) en planta y en elevación (dimensiones de la sección transversal, longitud y ubicación geográfica en planta). Además, se requiere conocimiento sobre las propiedades de los materiales de los elementos estructurales y sus detalles de refuerzo. Para obtener esta información, idealmente, se debe realizar un mapeo detallado del edificio, así como ensayos no destructivos para obtener las propiedades de los materiales de concreto reforzado y de mampostería. Alternativamente, cuando la determinación directa de las propiedades del material y los detalles de refuerzo es imposible, esta información se puede suponer a partir de propiedades predeterminadas de acuerdo con la fecha de diseño y construcción del edificio. Por último, los detalles sobre las intervenciones de rehabilitación anteriores del sistema estructural del edificio examinado también deben incluirse.

Con base en los datos que se ingresan en las dos primeras secciones, en la Sección C se realiza la evaluación de la resistencia de las columnas del entrepiso crítico del edificio examinado. Esto se logra mediante la determinación de la relación de resistencia límite, r_{fail} , para cada columna del piso crítico, en ambas direcciones en planta, a partir de las tablas de diseño proporcionadas en la Sección C que relacionan el valor de la relación de resistencia a cortante de todos los posibles mecanismos de falla, r_i , con las propiedades de material y los detalles de refuerzo. A continuación, la evaluación de la rigidez se realiza calculando los parámetros necesarios para realizar el procedimiento (T , A_c , a_g , Φ_s , etc.) a partir de gráficos y tablas de diseño que asocian estos parámetros con los datos de las Secciones A y B. Finalmente, la demanda sísmica del edificio examinado, en términos de distorsión del entrepiso del piso crítico, así como de la aceleración límite del terreno a nivel de la cimentación, en comparación con la capacidad sísmica correspondiente y las conclusiones sobre la capacidad sísmica del edificio examinado son obtenidos. La figura 3.6.2 ilustra el proceso de comparación entre la demanda sísmica y la capacidad sísmica de la estructura examinada, para el caso de edificios de varios pisos de 2 a 8 plantas con una configuración de planta uniforme.

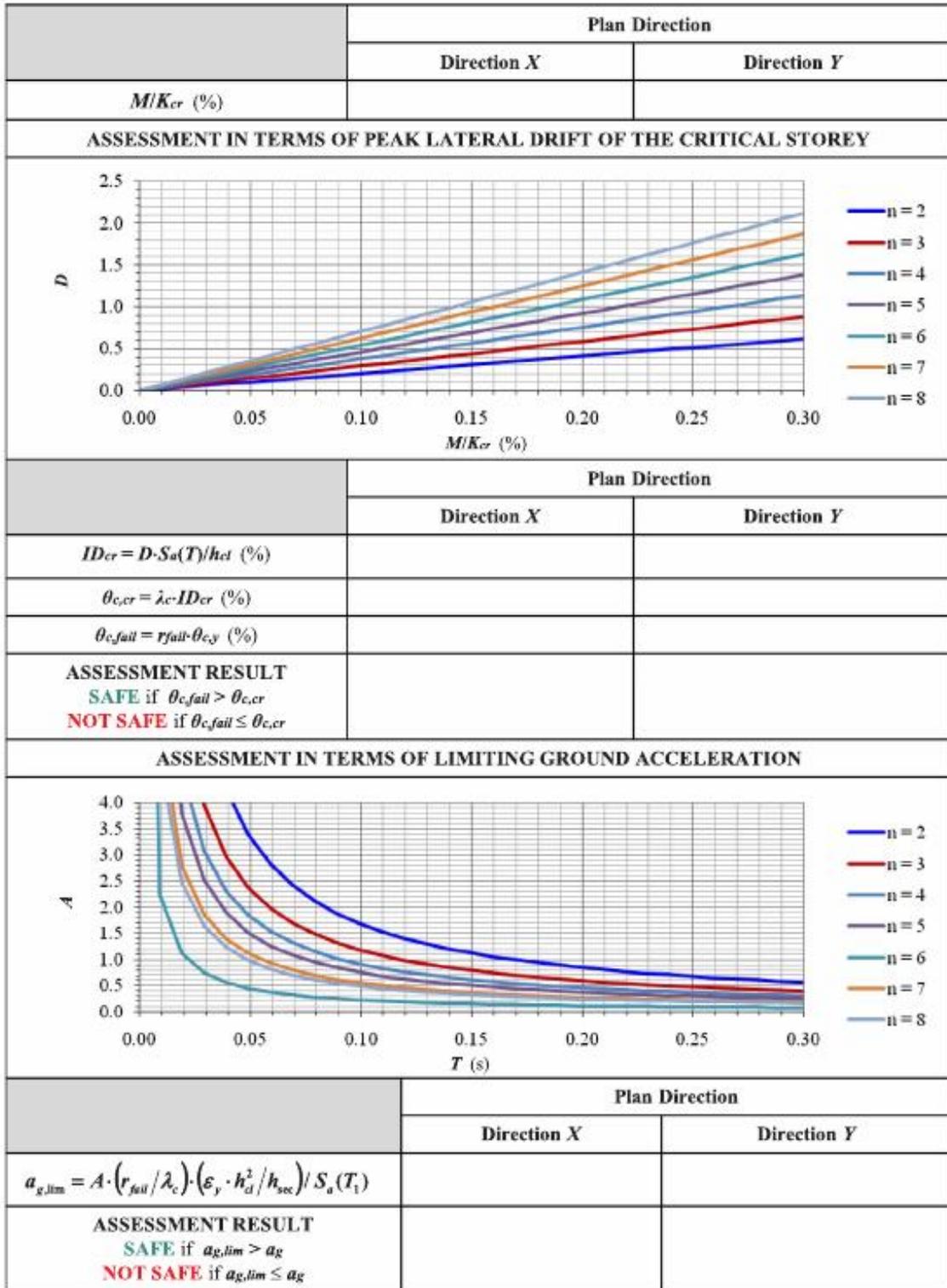


Figura 3.6.2 Formato de la metodología de Pardalopoulos et al. (2018)

3.6.4 Resultados

La metodología Pardalopoulos et al. (2018) se asocian a dos niveles de seguridad “Seguro” y “No Seguro” que se determinan cuando $a_{g,lim} > a_g$ y $a_{g,lim} \leq a_g$, respectivamente.

3.6.5 Limitaciones y precisión

La metodología Pardalopoulos et al., 2018 es aplicable a estructuras conformadas por sistemas estructurales a base de elementos de concreto reforzado con muros de mampostería de rellena. Esta metodología se limita a edificios de baja y mediana altura. Su costo de aplicación es medio, su tiempo de ejecución es medio y requiere de personal con experiencia en diseño sísmico, estructural y geotécnico por lo que se debe prever la necesidad de capacitar adecuadamente a los evaluadores con la finalidad de comprender los fundamentos de la metodología. La precisión de esta metodología es alta debido a que ha sido calibrada para las condiciones de peligro y vulnerabilidad de la zona de estudio.

3.7 GRECIA – METODOLOGÍA DE PARDALOPOULOS Y PANTAZOPOULOU, 2019

En el año 2019, Stylianos I. Pardalopoulos y Stavroula J. Pantazopoulou realizaron la actualización del procedimiento RSA de la metodología de Pardalopoulos et al. (2018). El procedimiento RSA se mejoró, principalmente, por la inclusión de expresiones que estiman de manera directa las demandas de distorsión del edificio utilizando las propiedades geométricas y de materiales de los elementos de la estructura. La precisión del procedimiento RSA se evaluó mediante la comparación de los resultados del procedimiento con la respuesta sísmica experimental de dos estructuras sometidas a cargas pseudo dinámicas. Se eligieron dos estructuras a gran escala con un diseño relativamente simple (marcos planos), con el fin de desarrollar un instructivo de la aplicación del procedimiento RSA.

3.7.1 Niveles de análisis

La metodología Pardalopoulos y Pantazopoulou (2019) tiene dos niveles de evaluación, que de acuerdo con las consideraciones generales de este documento (sección 1.1), corresponden a la fase pre-sismo y ambas a un nivel de evaluación de “Nivel 2”.

El procedimiento RSA emplea la resolución de ecuaciones para obtener conclusiones acerca de la probabilidad de experimentar fallas frágiles o el colapso de la estructura durante un evento sísmico.

3.7.2 Objetivos

La metodología Pardalopoulos y Pantazopoulou (2019) fue desarrollada para facilitar la evaluación sísmica preliminar de edificios existentes que no cumplen con los estándares actuales de diseño sismoresistente. El procedimiento RSA se basa en la identificación de los modos de falla prevalentes que pudieran provocarse debido a la acción del sismo de diseño tanto para los elementos estructurales

individuales como para todo el edificio, lo que permite la estimación de la capacidad sísmica del edificio examinado.

3.7.3 Procedimiento

El procedimiento RSA fue concebido como una herramienta práctica de diagnóstico para la evaluación rápida de edificios existentes de concreto reforzado. Por esta razón, el procedimiento utiliza la información que está disponible durante la inspección, como las propiedades geométricas del edificio (número de pisos, altura de entrepisos típica, área de piso incluidos los balcones, distribución en planta y secciones transversales de los elementos verticales, ubicación, orientación y dimensiones de los muros de relleno de mampostería), así como los detalles de refuerzo y las propiedades de materiales de los elementos estructurales, en función de las propiedades típicas que se utilizaron en la época de construcción, o, a partir de pruebas no destructivas. Luego, esta información se procesa mediante un proceso de dos criterios, denominados “Criterio de evaluación de rigidez” y “Criterio de evaluación de resistencia” que, utilizando principios simples de mecánica estructural, proporcionan una estimación rápida de la respuesta sísmica de los edificios

1. Criterio de evaluación de rigidez

Para determinar la demanda sísmica que un futuro evento sísmico puede imponer sobre un edificio se requiere definir el peligro sísmico de la región de interés y estimar el periodo fundamental de la estructura que domina la respuesta.

En el caso de un edificio de concreto reforzado de hasta cuatro niveles, una aproximación del modo fundamental de vibración traslacional se define en función de su masa y de su rigidez por medio de la siguiente expresión:

$$\Phi_i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}}$$

Donde:

$$\Phi_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^i \frac{1}{K_j} \sum_{l=1}^N l M_l$$

$$\Phi_{max} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{1}{K_j} \sum_{l=j}^N l M_l$$

$$\Delta\Phi_j = \frac{1}{N K_j} \sum_{l=j}^N l M_l$$

Una aproximación más precisa de la configuración deformada de edificios de hasta cuatro niveles de concreto reforzado con masas de entrepisos constantes puede obtenerse de la aplicación de las

expresiones de la tabla 3.7.1 que depende de la rigidez traslacional del i-ésimo nivel, K_i . En el caso de estructuras con piso débil $\Phi_i = 1$.

Tabla 3.7.1 Expresiones para determinar la configuración deformada de la metodología de Pardalopoulos y Pantazopoulou (2019)

Número de niveles	Configuración deformada	Términos auxiliares
2	$\tilde{\Phi} = \left\{ \frac{1}{Q_2} \cdot (1.5 \cdot K_2) \right\}$	$Q_2 = 1.5 \cdot K_2 + K_1$
3	$\tilde{\Phi} = \left\{ \begin{array}{c} 1 \\ \frac{1}{Q_3} \cdot (2 \cdot K_2 \cdot K_3 + 1.67 \cdot K_1 \cdot K_3) \\ \frac{1}{Q_3} \cdot (2 \cdot K_2 \cdot K_3) \end{array} \right\}$	$Q_3 = 2 \cdot K_2 \cdot K_3 + 1.67 \cdot K_1 \cdot K_3 + K_1 \cdot K_2$
4	$\tilde{\Phi} = \left\{ \begin{array}{c} 1 \\ \frac{1}{Q_4} \cdot (2.5 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 + 2.25 \cdot K_1 \cdot K_3 \cdot K_4 + 1.75 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_4) \\ \frac{1}{Q_4} \cdot (2.5 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 + 2.25 \cdot K_1 \cdot K_3 \cdot K_4) \\ \frac{1}{Q_4} \cdot (2.5 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4) \end{array} \right\}$	$Q_4 = 2.5 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 + 2.25 \cdot K_1 \cdot K_3 \cdot K_4 + 1.75 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_4 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$

En edificios con una configuración en planta uniforme y muros de relleno sin aberturas, la rigidez lateral K_i se calcula mediante la siguiente expresión:

$$K_i = \frac{A_f}{H_{cl}} D_i^c \rho_i$$

Donde:

$$\rho_i = \rho_{c,i} + \frac{D_i^{inf}}{D_i^c} \rho_{inf,i}$$

$$D_i^c = a_{c,av,i} E_c \left(\frac{h_{av,i}}{H_{cl}} \right)^2$$

$$D_i^{inf} = \beta \sum_{k=1}^{N_{inf}} \frac{20 f_{inf,k}}{\sqrt{1 + H_{inf,k}^2 / L_{inf,k}^2}}$$

En el caso edificios de concreto reforzado con distribución en planta no regular y con la premisa de que tiene diafragmas rígidos, K_i se determina como la suma de las rigideces traslacionales de las columnas N_c y de los muros de relleno N_{inf} del nivel correspondiente, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$K_i = \sum_{j=1}^{N_c} \alpha_{c,j} \frac{E_c}{H_{cl}} A_{col,j} \left[\frac{h_j}{H_{cl}} \right]^2 + \sum_{k=1}^{N_{inf}} \frac{A_{inf,k}}{H_{cl}} \frac{0.10 f_{inf,k}}{\mu_{y,k}^{inf} \theta_{y,k}^{inf} \sqrt{1 + H_{inf,k}^2 / L_{inf,k}^2}}$$

Donde:

E_c es el módulo de elasticidad del concreto, $E_c = 4500\sqrt{f_c}$.

f_c es la resistencia especificada a la compresión del concreto.

α_c es un factor que reduce E_c para considerar el agrietamiento existente, $\alpha_c = 0.33$ para $0 \leq V_{G+\psi EQ} \leq 0.1$; $\alpha_c = 0.5$ para $V_{G+\psi EQ} \geq 0.1$ y $\alpha_c = 0$ para columnas en tensión.

$V_{G+\psi EQ}$ es la carga axial que actúa sobre la columna que se obtiene de la combinación de cargase gravitacionales y sísmicas.

H_{cl} es la altura libre de columnas de un entrepiso.

h_j es la dimensión de la columna en la dirección de acción del sismo.

$A_{col,j}$ es el área de la sección transversal de la columna.

$A_{inf,k}$ es el área de la sección transversal de los muros de relleno orientados en la dirección de acción del sismo.

$f_{inf,k}$ es la resistencia especificada a la compresión de la mampostería.

$\mu_{y,k}^{inf}$ es la ductilidad de los muros de mampostería, $\mu_{y,k}^{inf} = \theta_i / \theta_{y,k}^{inf}$, $\theta_{y,k}^{inf} \approx 0.2\%$.

$H_{inf,k}$ es la altura de los muros de relleno (figura 3.7.2).

$L_{inf,k}$ es la longitud de los muros de relleno (figura 3.7.2).

$\rho_{c,i}$ es la densidad de columnas.

$\rho_{inf,i}$ es la densidad de muros de relleno.

β es un factor que es 1, 0.5 y 0.25 si la distorsión es 0.5%, 1% y 2%, respectivamente.

$\alpha_{c,av,i}$ es el valor promedio de α_c en un nivel.

$h_{av,i}$ es el valor promedio de h en un nivel.

Espacio dejado intencionalmente en blanco

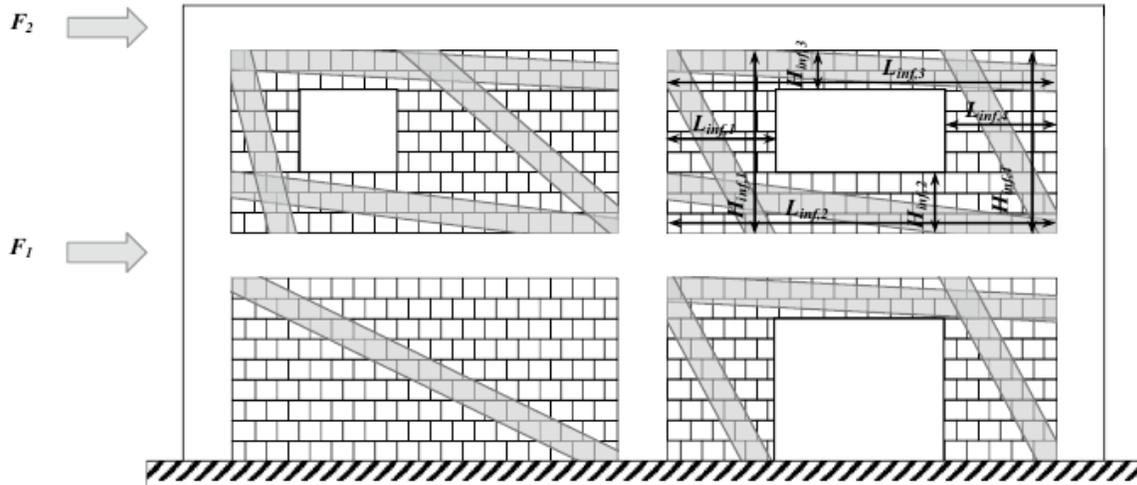


Figura 3.7.1 Diagonales a compresión durante la deformación lateral (Metodología de Pardalopoulos y Pantazopoulou, 2019)

Luego de determinar la configuración deformada del edificio Φ , el piso crítico se define como el entrepiso que tiene el máximo valor de distorsión, $\Delta\Phi_{cr} = \Phi_i - \Phi_{i-1}$.

Considerando los valores espectrales definidos del espectro para suelos tipo B y tipo 1 del espectro EC8-I (2004), se obtienen las siguientes expresiones para el cálculo de la demanda de distorsión límite:

$$\begin{aligned}
 0.15 \text{ s} \leq T \leq 0.50 \text{ s} \quad \theta_{c,lim} &= 0.075 a_g \lambda_c \frac{\Delta\Phi_{cr} \Phi_s (2\pi\Omega)^2 M_{cr}}{H_{cl} K_{cr}} \\
 0.50 \text{ s} < T \leq 2.00 \text{ s} \quad \theta_{c,lim} &= 0.0375 a_g \lambda_c \frac{\Delta\Phi_{cr} \Phi_s 2\pi\Omega M_{cr}}{H_{cl} K_{cr}}
 \end{aligned}$$

Cuando el espectro de respuesta de desplazamientos de una excitación sísmica está disponible en términos de $S_d(T_1)$, la demanda de distorsión límite se calcula como:

$$\theta_{c,lim} = \lambda_c S_d(T_1) \frac{\Delta\Phi_{cr} \Phi_s}{H_{cl}}$$

En las ecuaciones anteriores $S_d(T_1)$ es el valor del desplazamiento relativo del espectro de respuesta que corresponde al periodo fundamental de la estructura T_1 , a_g es el PGA para el sitio en consideración, M_{cr} y K_{cr} son la masa y rigidez del entrepiso crítico en la dirección del movimiento que provoca la máxima respuesta. Φ_s , Ω y T_1 se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 \Phi_s &= \frac{\sum_{i=1}^N \Phi_i}{\sum_{i=1}^N \Phi_i^2} \\
 \Omega &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \Phi_i^2}{\sum_{i=1}^N \Delta\Phi_i^2}}
 \end{aligned}$$

$$T_1 = 2\pi\Omega \sqrt{\frac{M_{cr}}{K_{cr}}}$$

En el caso de un edificio con entrepiso débil se emplean las siguientes expresiones:

$$\Phi_s = 1$$

$$\Omega = \sqrt{N}$$

$$T_1 = 2\pi\sqrt{N} \sqrt{\frac{M_{cr}}{K_{cr}}}$$

La relación $\lambda_c = \lambda/(1 + \lambda)$ es el factor de distribución de momento que toma en cuenta la rigidez relativa de las columnas de un entrepiso comparada con la de las vigas. En el caso de diafragmas rígidos $\lambda_c = 1$ lo que implica que toda la deformación se desarrollará en las columnas, $\lambda_c = 0$ implica que toda la deformación ocurre en las vigas y también si se desarrollan articulaciones plásticas en ellas. Un valor intermedio de 0.5 corresponde a estructuras bien diseñadas. λ_c es el promedio de un nivel que depende de la rigidez de las vigas n_b y de las columnas n_c en una unión. $\lambda = n_b E_c I_b H_{cl} / n_c E_c I_c L_b$, donde $E_c I_b$ y $E_c I_c$ es la rigidez seccional secante de las vigas y columnas, respectivamente y H_{cl} y L_b son la altura y la longitud de los elementos.

2. Criterio de evaluación de resistencia

En el segundo paso del procedimiento RSA, la capacidad sísmica del piso crítico se estima a partir de la relación entre la resistencia límite a cortante del piso crítico, asociada a los diferentes modos de falla que podrían presentarse en una columna en el instante de la respuesta sísmica máxima, y la resistencia a cortante de la columna del piso correspondiente al inicio de la respuesta inelástica. Para tales fines, se supone un estado de equilibrio a lo largo de toda la altura de cada columna como se ilustra en el diagrama de momento bajo carga lateral, que se muestra en la figura 3.7.3. La pendiente del diagrama de momento de la columna dentro de un piso es la fuerza cortante de la columna, mientras que la pendiente en el mismo diagrama dentro de la altura de la viga representa el cortante en la unión. Con referencia a este estado de equilibrio, el cortante de la columna en cualquier piso crítico puede estar limitada por el agotamiento de cualquier mecanismo de falla.

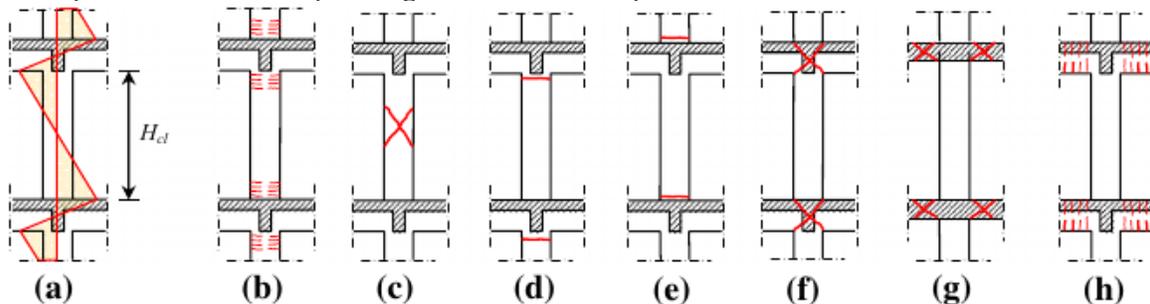


Figura 3.7.2 Diagrama de momentos y mecanismos de falla (Metodología Pardalopoulos y Pantazopoulou, 2019)

La resistencia a cortante de cada columna del piso crítico, al igual, que en las metodologías anteriores, corresponde a todos los posibles mecanismos de falla que pueden desarrollarse en una columna bajo una excitación sísmica, estas son:

- F1: fluencia a flexión en columnas, V_{flex} ;
- F2: falla por cortante la columna, V_v ;
- F3: falla de anclaje del refuerzo longitudinal de la columna, V_a ;
- F4: falla de traslapes del refuerzo longitudinal de la columna, V_{lap} ;
- F5: falla por cortante en la unión viga-columna, V_j ;
- F6: falla por punzonamiento en la unión losa-columna, V_{pn}
- F7: fluencia dúctil del refuerzo longitudinal de las vigas adyacentes a la columna examinada, V_{by} , que limitan la falla por cortante en la columna.

A continuación, las relaciones de resistencia, r , de cada columna asociada a los modos de falla considerados se determinan normalizando la resistencia a cortante correspondiente con el V_{flex} de la columna, como:

$$r_v = \frac{V_v}{V_{flex}}$$

$$r_a = \frac{V_a}{V_{flex}}$$

$$r_{lap} = \frac{V_{lap}}{V_{flex}}$$

$$r_j = \frac{V_j}{V_{flex}}$$

$$r_{pn} = \frac{V_{pn}}{V_{flex}}$$

$$r_{by} = \frac{V_{by}}{V_{flex}}$$

Las expresiones para el cálculo de las resistencia a cortante de cada modo de falla se presentan a continuación:

- ***Demanda de cortante por flexión***

$$V_{flex} = 2 \cdot M_y / h_{col} = \left[\rho_{\ell, tot} \cdot \frac{f_y}{f_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right] \cdot \frac{b \cdot d^2 \cdot f_c}{h_{cl}}$$

- **Pérdida de resistencia a cortante**

$$\text{If } v \geq 0.10: \quad V_v = v \cdot \tan \alpha \cdot b \cdot d \cdot f_c + A_{tr} \cdot f_{st} \cdot \frac{d \cdot (1 - \xi)}{s} \cdot \cot \theta_v$$

$$\text{If } v < 0.10: \quad V_v = A_{tr} \cdot f_{st} \cdot \frac{d \cdot (1 - \xi)}{s} \cdot \cot \theta_v$$

- **Falla de anclaje del refuerzo longitudinal**

$$V_a = \left[\rho_{\ell, tot} \cdot \frac{\min \left\{ \frac{4 \cdot L_a \cdot f_b}{D_b} + \alpha_{hook} \cdot 50 \cdot f_b \cdot f_y \right\}}{f_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right] \cdot \frac{b \cdot d^2 \cdot f_c}{h_{cl}}$$

- **Falla en traslapes del refuerzo longitudinal**

$$V_{lap} = \frac{\left[\min \left\{ \left(\mu_{fr} \cdot L_{lap} \cdot \left[\frac{A_{tr}}{s} \cdot f_{st} + \alpha_b \cdot (b - N_b \cdot D_b) \cdot f_l \right] + \alpha_{hook} \cdot 50 \cdot N_b \cdot A_b \cdot f_b \right); N_b \cdot A_b \cdot f_y \right\} \cdot d \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot b \cdot d^2 \cdot f_c \cdot (0.5 \cdot h/d - 0.4 \cdot \xi) \right]}{h_{cl}/2}$$

- **Resistencia a cortante en uniones viga-columna sin refuerzo o ligeramente detalladas**

$$V_j = \gamma_j \cdot 0.5 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \sqrt{1 + \frac{v_j \cdot f_c}{0.5 \cdot \sqrt{f_c}} \cdot \frac{b_j \cdot d \cdot d_{beam}}{h_{cl}}}$$

- **Resistencia a cortante en uniones viga-columna bien detalladas**

$$V_j = \left[\gamma_j \cdot 0.5 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \sqrt{1 + \frac{v_j \cdot f_c}{0.5 \cdot \sqrt{f_c}} \cdot \frac{b_j \cdot d \cdot d_{beam}}{h_{cl}}} \right] \cdot \sqrt{1 + \rho_{j, horiz} \cdot \frac{f_{st}}{f_t}}$$

- **Cortante por punzonamiento en uniones losa-columna**

$$V_{pn} = \frac{0.12 \cdot \min \left\{ 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{sl}}}; 2 \right\} \cdot (100 \cdot \rho_{\ell, sl} \cdot f_c)^{1/3} \cdot d_{sl} \cdot 0.25 \cdot u_{crit} \cdot (h + 4 \cdot d_{sl})}{h_{cl}}$$

- **Cortante límite debido a la fluencia del refuerzo longitudinal de las vigas**

$$V_{by} = \frac{(M_{beam}^+ + M_{beam}^-)}{h_{cl}} = \frac{0.85 \cdot \rho_{beam} \cdot b_{beam} \cdot d_{beam}^2 \cdot f_y^{beam}}{h_{cl}}$$

Donde:

- $\rho_{l,tot}$ es la cuantía de acero de refuerzo longitudinal de una columna de dimensiones h y b , $\rho_{l,tot} = A_{s,tot}/bd$.
- $A_{s,tot}$ es el área total del refuerzo longitudinal en la sección crítica de la columna.
- d es la altura efectiva de la columna.
- f_y es el esfuerzo especificado de fluencia del refuerzo longitudinal.
- f_c es el esfuerzo especificado a compresión del concreto.
- ξ es la altura normalizada de la zona de compresión, $\xi = x/d$.
- ν es la relación de carga axial actuando sobre la sección transversal, $\nu = N_{g+0.3q}/bdf_c$.
- H_{cl} es la longitud deformada de la columna.
- $\tan \alpha$ es el ángulo de inclinación de la diagonal creada entre los centroides de las zonas de compresión por arriba y por debajo de la sección transversal de las columnas (representa la cruz formada por la carga axial actuando sobre la columna), $\tan \alpha = (h/d - 0.8\xi)d/H_{cl}$, $\alpha \leq \theta_v$.
- θ_v es el ángulo formado por el eje longitudinal del elemento y la mayor grieta inclinada desarrollada en la articulación plástica de la columna, $\theta_v = 45^\circ$ cuando $\nu < 0.10$, $\theta_v = 30^\circ$ cuando $\nu \geq 0.10$ y para $0.10 \leq \nu < 0.25$ se interpola linealmente.
- h_{st} es la altura de los ganchos de los estribos.
- A_{tr} es el área total de los ganchos de los estribos en un patrón sencillo de estribos, que son interceptados por una plano inclinado de deslizamiento.
- s es la separación entre estribos.
- f_{st} es el esfuerzo especificado de fluencia de los estribos.
- L_α es la longitud de anclaje del refuerzo longitudinal.
- D_b es el diámetro de las barras de refuerzo longitudinal.
- α_{hook} es un índice binario (1 o 0) que toma en cuenta anclajes de gancho, $\alpha_{hook} = 0$ si no hay ganchos.
- f_b es el esfuerzo de unión del concreto, $f_b = 2f_{b,0}$, $f_{b,0} = 180(f_c/20)^{0.5}$.
- μ_{fr} es el coeficiente de fricción, $0.2 \leq \mu_{fr} \leq 0.3$ para barras lisas y $1.0 \leq \mu_{fr} \leq 1.5$ para barras corrugadas.
- L_{lap} es la longitud de traslape.
- α_b es un índice binario (1 o 0) que depende de si las barras son lisas o corrugadas.
- N_b es el número de barras longitudinales a tensión.
- A_b es el área de una sola barra a tensión.
- f_t es el esfuerzo especificado a tensión del concreto, $f_t = 0.3f_c^{2/3}$.
- γ_j es 1.40 para uniones interiores, 1.00 para otros casos, para uniones sin estribos los valores se reducen a 0.4 y 0.3 respectivamente.
- ν_j es la carga axial de servicio actuando en la base de la columna ajustado arriba de la unión.
- b_j es el ancho de la unión, $b_j = (b + b_{beam})/2$.
- b_{beam} es el ancho de la viga adyacente.
- d_{beam} es la altura de la viga.
- $\rho_{j,horiz} = A_{tr}/sb_j$.
- d_{sl} es la altura de la losa.

$\rho_{l,sl}$ es el refuerzo de la losa en el perímetro de punzonamiento alrededor de la columna, u_{crit} .
 ρ_{beam} es la cuantía de refuerzo longitudinal a tensión.
 f_y^{beam} es el esfuerzo especificado de fluencia de al acero longitudinal de las vigas.

El modo de falla predominante de cada línea de columna se identifica por la relación de resistencia r_{fail} :

$$r_{fail} = \min\{r_v; r_a; r_{lap}; r_j; r_{pn}\} \leq r_{by}$$

En el caso en el que $r_{fail} > r_{by}$, se espera el desarrollo de articulaciones plásticas en los extremos de las vigas adyacentes a la columna analizada. Cuando $r_{fail} < r_{by}$ y $r_{fail} \geq 1$, se espera una respuesta dúctil de la columna como resultado de la fluencia del refuerzo longitudinal, mientras que si $r_{fail} < 1$, se espera que la columna experimente una falla frágil. Si $r_{fail} = r_{by}$, se espera la formación de articulaciones plásticas en los extremos de las vigas adyacentes a la columna examinada, limitando así la fuerza cortante inducida a la columnas y protegiéndola de desarrollar otros modos de falla.

En lugar de estimar la demanda y compararla con la capacidad, es posible resolver por un proceso inverso la aceleración máxima que puede soportar una estructura antes del colapso $a_{g,lim}$. Para un suelo tipo B y tipo 1 del EC8-I (2004), $a_{g,lim}$ puede calcularse como:

$$0.15 \text{ s} \leq T \leq 0.50 \text{ s} \quad a_{g,lim} = 13.333 \left(R_{fail,cr} \frac{\theta_{c,y}}{\lambda_c} \right) \frac{H_{cl}}{\Delta\Phi_{cr}\Phi_s(2\pi\Omega)^2} \frac{K_{cr}}{M_{cr}}$$

$$0.50 \text{ s} < T \leq 2.00 \text{ s} \quad a_{g,lim} = 26.667 \left(R_{fail,cr} \frac{\theta_{c,y}}{\lambda_c} \right) \frac{H_{cl}}{\Delta\Phi_{cr}\Phi_s 2\pi\Omega} \sqrt{\frac{K_{cr}}{M_{cr}}}$$

Donde:

$$R_{fail,cr} = \sum_{j=1}^{N_c} r_{fail,j} / N_c$$

Sin embargo, $a_{g,lim}$ puede ser aproximado multiplicando el valor del PGA $a_{g,0}$ por un factor de atenuación $A = S_a(T_1)/S_{a,e}(T_1)$ donde $S_{a,e}(T_1)$ es el valor de la aceleración elástica absoluta del espectro de respuesta calculado para T_1 y $S_a(T_1)$ se obtiene de:

$$S_a(T_1) = \left(R_{fail,cr} \frac{\theta_{c,y}}{\lambda_c} \right) \frac{H_{cl}}{\Delta\Phi_{cr}\Phi_s} \left(\frac{2\pi}{T_1} \right)^2$$

Donde:

$$a_{g,lim} = a_{g,0}A$$

En las ecuaciones anteriores, $\theta_{c,y}$ es la rotación a fluencia del refuerzo longitudinal de las columnas ($\theta_{c,y} = 0.5\%$ para columnas con relación de aspecto de seis; $\theta_{c,y} = 0.33\%$ para columnas con relación de aspecto de cuatro o menos y $\theta_{c,y} = 0.75\%$ para columnas esbeltas con relación de aspecto de ocho o más. $A_{c,cr}$ es el valor promedio de λ_c de todas las columnas en el entrepiso crítico donde $\lambda_c = \lambda/(1 + \lambda)$ y $\lambda = n_b E_c I_b h_{cl} / n_c E_c I_c L_b$.

Cuando una o más columnas del entrepiso crítico exhiben fluencia del acero de refuerzo longitudinal de las vigas adyacentes, el producto $R_{fail,cr} \theta_{c,y} / A_{c,cr}$, se reemplaza por θ_u / λ_b donde $\theta_u = \mu_\theta \theta_{y,b}$; $\lambda_b \approx 1$; $\mu_\theta = [1 + (\mu_\phi - 1)0.5(T_1/0.5)]$ para $0.15 s \leq T_1 \leq 0.50 s$ y $[0.5(\mu_\phi + 1)]$ para $0.50 s < T_1 \leq 2.0 s$; $\mu_\phi \approx b_1 0.0035/\varepsilon_{sy}$ donde b_1 está entre cuatro y cinco para secciones transversales típicas de vigas.

Una estimación más simple se puede determinar en términos del coeficiente de cortante en la base que el edificio puede soportar:

$$\eta = R_{fail,cr} \left[\frac{\sum_{k=1}^{N_c} V_{flex}}{W} \right]$$

3.7.4 Resultados

La metodología Pardalopoulos y Pantazopoulou (2019) estima la fuerza cortante máxima que puede ser resistida en el piso crítico (nivel 1), de modo que se pueda estimar la distorsión asociada a la pérdida de la capacidad de carga vertical de las columnas. A su vez, se compara con la demanda de deriva calculada para un espectro de diseño elástico Tipo I (EC8, 2004) ajustado al PGA registrado en el evento sísmico, que se asocia al índice de rigidez de la estructura, con la finalidad de establecer el desempeño (daño o colapso).

3.7.5 Limitaciones y precisión

Los procedimientos de la metodología Pardalopoulos y Pantazopoulou (2019) es aplicable a estructuras conformadas por sistemas estructurales a base de elementos de concreto reforzado con muros de mampostería de relleno. Esta metodología se limita a edificios de baja y mediana altura. Su costo de aplicación es medio, su tiempo de ejecución es medio y requiere de personal con experiencia en diseño sísmico, estructural y geotécnico por lo que se debe prever la necesidad de capacitar adecuadamente a los evaluadores con la finalidad de comprender los fundamentos de la metodología. La precisión de esta metodología es alta debido a que ha sido calibrada para las condiciones de peligro y vulnerabilidad de la zona de estudio.

3.8 GRECIA – METODOLOGÍA DE PARDALOPOULOS Y LEKIDIS, 2019

En el año 2019, Stylianos I. Pardalopoulos y Vasilios A. Lekidis desarrollaron una modificación a las metodologías anteriores, incluyendo en ésta un procedimiento de evaluación de segundo nivel. Así, esta metodología está conformada por un procedimiento de Evaluación Sísmica Rápida (RSA, por

sus siglas en inglés) y por otro de segundo nivel para la estimación de la capacidad sísmica, que actualmente están siendo investigados por el comité de la Organización de Protección y Planificación de Sismos en Grecia (EPPO, por sus siglas en inglés). Para determinar la exactitud y la facilidad de aplicación de los dos procedimientos se evaluó experimentalmente un edificio de 3 niveles de concreto reforzado a gran escala en el Laboratorio de Evaluación Sísmica Europeo (ELSA, por sus siglas en inglés). El edificio se sometió a dos procedimientos que se describen a continuación.

3.8.1 Niveles de análisis

La metodología Pardalopoulos y Lekidis (2019) tiene dos niveles de evaluación, que de acuerdo con las consideraciones generales de este documento (sección 1.1), corresponden a la fase pre-sismo y ambas a un nivel de evaluación de “Nivel 2”.

El procedimiento RSA emplea la resolución de ecuaciones para obtener conclusiones acerca de la probabilidad de experimentar fallas frágiles o el colapso de la estructura durante un evento sísmico.

El procedimiento de segundo nivel emplea la resolución de ecuaciones para clasificar el edificio de acuerdo con su nivel de atención prioritaria para someterse a un procedimiento de evaluación de “Nivel 3”.

3.8.2 Objetivos

La metodología Pardalopoulos y Lekidis (2019) fue desarrollada para facilitar la evaluación sísmica preliminar de edificios existentes.

El procedimiento RSA se basa en la identificación de los daños potenciales que pudieran provocarse debido a la acción del sismo de diseño tanto para los elementos estructurales individuales como para todo el edificio, lo que permite la estimación de la capacidad sísmica del edificio examinado. Para hacerlo, se requiere conocer las propiedades geométricas y de materiales de los elementos estructurales.

El procedimiento de segundo nivel tiene por objetivo reducir el número de edificios que son catalogados como riesgosos después de realizar una evaluación sísmica de “Nivel 1” mediante cálculos simplificados que califican a los edificios de acuerdo con un nivel de atención prioritaria asignado.

3.8.3 Procedimiento

3.8.3.1 Procedimiento RSA

El procedimiento RSA identifica el mecanismo de falla predominante de los elementos estructurales en el piso crítico y luego calcula la capacidad sísmica en términos de aceleración máxima del terreno (PGA por sus siglas en inglés) que los edificios pueden soportar sin desarrollar cualquier daño estructural, y/o en términos del valor límite de la distorsión de entrepiso que se puede desarrollar en el piso crítico. El procedimiento consta de tres pasos:

1. Aproximación de la forma deformada del edificio en el pico de su respuesta sísmica e identificación del piso crítico.

En edificios con configuraciones típicas en planta en todos los niveles, la opción más simple para aproximar su configuración deformada, en el instante de la respuesta sísmica máxima, es suponer una de las tres configuraciones deformadas ilustradas en la figura 3.8.1. El esquema de la figura 3.8.1 (a) corresponde a edificios antiguos de concreto reforzado, generalmente diseñados y construidos hasta principios de la década de 1980, que poseen columnas de pequeñas dimensiones de sección transversal y vigas de altura significativa. Esta combinación de columnas débiles con vigas fuertes conduce a la concentración de desplazamientos laterales en los pisos inferiores. El esquema de la figura 3.8.1 (b) representa un enfoque conservador en la que se supone que las deformaciones laterales se concentran en el piso débil del edificio, mientras que, en el esquema de la figura 3.8.1 (c) se representa el caso de los edificios diseñados y construidos de acuerdo con los códigos sísmicos modernos, en los que las distorsiones de entrepiso se distribuyen de manera uniforme en todos los niveles.

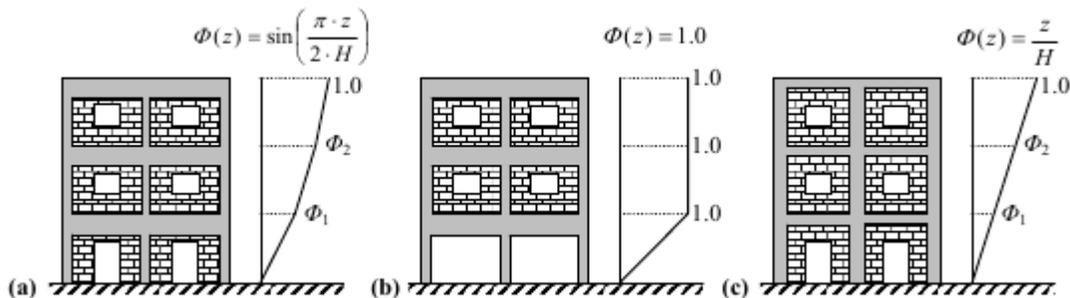


Figura 3.8.1 Aproximaciones de la configuración deformada de edificios para la metodología Pardalopoulos y Lekidis (2019)

Una aproximación más precisa de la configuración deformada de edificios de hasta cuatro niveles de concreto reforzado con masas de entrepisos constantes puede obtenerse de la aplicación de las expresiones de la tabla 3.8.1 que depende de la rigidez traslacional del i -ésimo nivel, K_i .

Tabla 3.8.1 Expresiones para determinar la configuración deformada de la metodología Pardalopoulos y Lekidis (2019)

Número de niveles	Configuración deformada	Términos auxiliares
2	$\tilde{\Phi} = \left\{ \frac{1}{Q_2} \cdot (1.5 \cdot K_2) \right\}$	$Q_2 = 1.5 \cdot K_2 + K_1$

3	$\tilde{\Phi} = \begin{Bmatrix} 1 \\ \frac{1}{Q_3} \cdot (2 \cdot K_2 \cdot K_3 + 1.67 \cdot K_1 \cdot K_3) \\ \frac{1}{Q_3} \cdot (2 \cdot K_2 \cdot K_3) \end{Bmatrix}$	$Q_3 = 2 \cdot K_2 \cdot K_3 + 1.67 \cdot K_1 \cdot K_3 + K_1 \cdot K_2$
4	$\tilde{\Phi} = \begin{Bmatrix} \frac{1}{Q_4} \cdot (2.5 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 + 2.25 \cdot K_1 \cdot K_3 \cdot K_4 + 1.75 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_4) \\ \frac{1}{Q_4} \cdot (2.5 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 + 2.25 \cdot K_1 \cdot K_3 \cdot K_4) \\ \frac{1}{Q_4} \cdot (2.5 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4) \end{Bmatrix}$	$Q_4 = 2.5 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 + 2.25 \cdot K_1 \cdot K_3 \cdot K_4 + 1.75 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_4 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$

La rigidez traslacional del *i*-ésimo de edificios de concreto reforzado con diafragmas rígidos K_i se determina como la suma de las rigideces traslacionales de las columnas N_c y de los muros de relleno N_{inf} del nivel correspondiente de acuerdo con la siguiente expresión:

$$K_i = \sum_{j=1}^{N_c} \alpha_{c,j} \frac{E_c}{H_{cl}} A_{col,j} \left[\frac{h_j}{H_{cl}} \right]^2 + \sum_{k=1}^{N_{inf}} \frac{A_{inf,k}}{H_{cl}} \frac{0.10 f_{inf,k}}{\mu_{y,k}^{inf} \theta_{y,k}^{inf} \sqrt{1 + H_{inf,k}^2 / L_{inf,k}^2}}$$

Donde:

E_c es el módulo de elasticidad del concreto, $E_c = 4500 \sqrt{f_c}$.

f_c es la resistencia especificada a la compresión del concreto.

α_c es un factor que reduce E_c para considerar el agrietamiento existente, $\alpha_c = 0.33$ para $0 \leq V_{G+\psi EQ} \geq 0.1$; $\alpha_c = 0.5$ para $V_{G+\psi EQ} \geq 0.1$ y $\alpha_c = 0$ para columnas en tensión.

$V_{G+\psi EQ}$ es la carga axial que actúa sobre la columna que se obtiene de la combinación de cargas gravitacionales y sísmicas.

H_{cl} es la altura libre de columnas de un entrepiso.

h_j es la dimensión de la columna en la dirección de acción del sismo.

$A_{col,j}$ es el área de la sección transversal de la columna.

$A_{inf,k}$ es el área de la sección transversal de los muros de relleno orientados en la dirección de acción del sismo.

$f_{inf,k}$ es la resistencia especificada a la compresión de la mampostería.

$\mu_{y,k}^{inf}$ es la ductilidad de los muros de mampostería, $\mu_{y,k}^{inf} = \theta_i / \theta_{y,k}^{inf}$, $\theta_{y,k}^{inf} \approx 0.2\%$.

$H_{inf,k}$ es la altura de los muros de relleno (figura 3.8.2).

$L_{inf,k}$ es la longitud de los muros de relleno (figura 3.8.2).

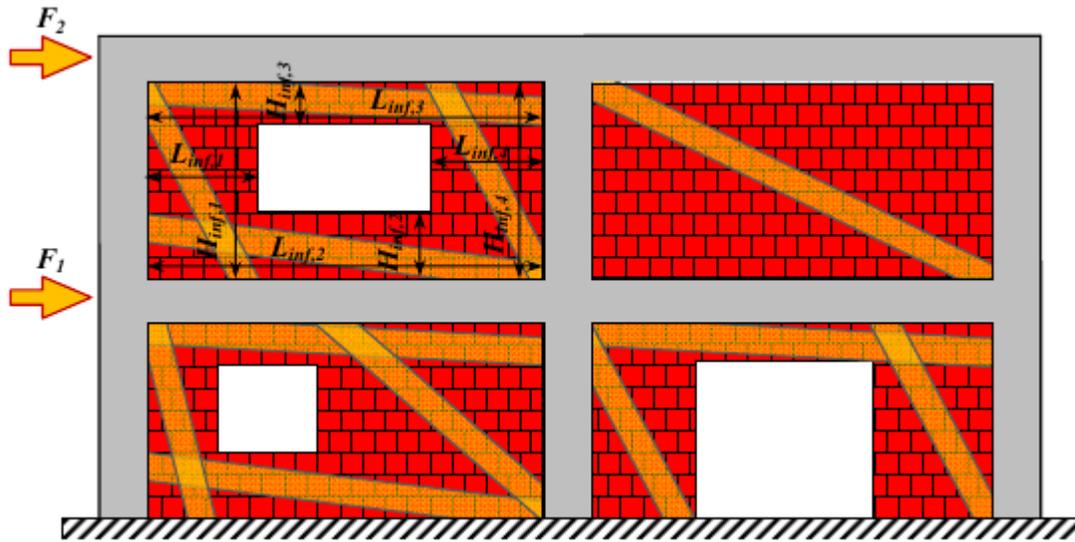


Figura 3.8.2 Diagonales a compresión durante la deformación lateral (Metodología Pardalopoulos y Lekidis, 2019)

Luego de determinar la configuración deformada del edificio Φ , el piso crítico se define como el entrepiso que tiene el máximo valor de distorsión, $\Delta\Phi_{cr} = \Phi_i - \Phi_{i-1}$.

2. Identificación del modo de falla predominante de los elementos estructurales verticales y cálculo de la relación de resistencia límite correspondiente.

En el segundo paso del procedimiento RSA, la capacidad sísmica del piso crítico se estima mediante a partir de la relación entre la resistencia límite a cortante del piso crítico, asociada a los diferentes modos de falla que podrían presentarse en una columna en el instante de la respuesta sísmica máxima, y la resistencia a cortante de la columna del piso correspondiente al inicio de la respuesta inelástica.

La resistencia a cortante de cada columna del piso crítico, al igual, que en las metodologías anteriores, corresponde a todos los posibles mecanismos de falla que pueden desarrollarse en una columna bajo una excitación sísmica, estas son:

- F1: fluencia a flexión en columnas, V_{flex} ;
- F2: falla por cortante la columna, V_p ;
- F3: falla de anclaje del refuerzo longitudinal de la columna, V_a ;
- F4: falla de traslapes del refuerzo longitudinal de la columna, V_{lap} ;
- F5: falla por cortante en la unión viga-columna, V_j ;
- F6: falla por punzonamiento en la unión losa-columna, V_{pn}
- F7: fluencia dúctil del refuerzo longitudinal de las vigas adyacentes a la columna examinada, V_{by} , que limitan la falla por cortante en la columna.

A continuación, las relaciones de resistencia, r , de cada columna asociada a los modos de falla considerados se determinan normalizando la resistencia a cortante correspondiente con el V_{flex} de la columna, como:

$$r_v = \frac{V_v}{V_{flex}}$$

$$r_a = \frac{V_a}{V_{flex}}$$

$$r_{lap} = \frac{V_{lap}}{V_{flex}}$$

$$r_j = \frac{V_j}{V_{flex}}$$

$$r_{pn} = \frac{V_{pn}}{V_{flex}}$$

$$r_{by} = \frac{V_{by}}{V_{flex}}$$

Las expresiones para el cálculo de las resistencia a cortante de cada modo de falla se presentan a continuación:

- **Demanda de cortante por flexión**

$$V_{flex} = 2 \cdot M_y / h_{col} = \left[\rho_{\ell, tot} \cdot \frac{f_y}{f_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right] \cdot \frac{b \cdot d^2 \cdot f_c}{h_{cl}}$$

- **Pérdida de resistencia a cortante**

$$\text{If } v \geq 0.10: \quad V_v = v \cdot \tan \alpha \cdot b \cdot d \cdot f_c + A_{tr} \cdot f_{st} \cdot \frac{d \cdot (1 - \xi)}{s} \cdot \cot \theta_v$$

$$\text{If } v < 0.10: \quad V_v = A_{tr} \cdot f_{st} \cdot \frac{d \cdot (1 - \xi)}{s} \cdot \cot \theta_v$$

- **Falla de anclaje del refuerzo longitudinal**

$$V_a = \left[\rho_{\ell, tot} \cdot \frac{\min \left\{ \frac{4 \cdot L_a \cdot f_b}{D_b} + \alpha_{hook} \cdot 50 \cdot f_b \cdot f_y \right\}}{f_c} \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot \left(\frac{h}{d} - 0.8 \cdot \xi \right) \right] \cdot \frac{b \cdot d^2 \cdot f_c}{h_{cl}}$$

- **Falla en traslapes del refuerzo longitudinal**

$$V_{lap} = \frac{\left[\min \left\{ \left(\mu_{\mu} \cdot L_{lap} \cdot \left[\frac{A_{tr}}{s} \cdot f_{st} + \alpha_b \cdot (b - N_b \cdot D_b) \cdot f_t \right] + \alpha_{hook} \cdot 50 \cdot N_b \cdot A_b \cdot f_b \right); N_b \cdot A_b \cdot f_y \right\} \cdot d \cdot (1 - 0.4 \cdot \xi) + v \cdot b \cdot d^2 \cdot f_c \cdot (0.5 \cdot h/d - 0.4 \cdot \xi) \right]}{h_{cl}/2}$$

- **Resistencia a cortante en uniones viga-columna sin refuerzo o ligeramente detalladas**

$$V_j = \gamma_j \cdot 0.5 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \sqrt{1 + \frac{v_j \cdot f_c}{0.5 \cdot \sqrt{f_c}} \cdot \frac{b_j \cdot d \cdot d_{beam}}{h_{cl}}}$$

- **Resistencia a cortante en uniones viga-columna bien detalladas**

$$V_j = \left[\gamma_j \cdot 0.5 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \sqrt{1 + \frac{v_j \cdot f_c}{0.5 \cdot \sqrt{f_c}} \cdot \frac{b_j \cdot d \cdot d_{beam}}{h_{cl}}} \right] \cdot \sqrt{1 + \rho_{j,horiz} \cdot \frac{f_{st}}{f_t}}$$

- **Cortante por punzonamiento en uniones losa-columna**

$$V_{pn} = \frac{0.12 \cdot \min \left\{ 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{sl}}}; 2 \right\} \cdot (100 \cdot \rho_{e,sl} \cdot f_c)^{1/3} \cdot d_{sl} \cdot 0.25 \cdot u_{crit} \cdot (h + 4 \cdot d_{sl})}{h_{cl}}$$

- **Cortante límite debido a la fluencia del refuerzo longitudinal de las vigas**

$$V_{by} = \frac{(M_{beam}^+ + M_{beam}^-)}{h_{cl}} = \frac{0.85 \cdot \rho_{beam} \cdot b_{beam} \cdot d_{beam}^2 \cdot f_y^{beam}}{h_{cl}}$$

Donde:

$\rho_{l,tot}$ es la cuantía de acero de refuerzo longitudinal de una columna de dimensiones h y b , $\rho_{l,tot} = A_{s,tot}/bd$.

$A_{s,tot}$ es el área total del refuerzo longitudinal en la sección crítica de la columna.

d es la altura efectiva de la columna.

f_y es el esfuerzo especificado de fluencia del refuerzo longitudinal.

f_c es el esfuerzo especificado a compresión del concreto.

ξ es la altura normalizada de la zona de compresión, $\xi = x/d$.

v es la relación de carga axial actuando sobre la sección transversal, $v = N_{g+0.3q}/bdf_c$.

H_{cl} es la longitud deformada de la columna.

$\tan \alpha$ es el ángulo de inclinación de la diagonal creada entre los centroides de las zonas de compresión por arriba y por debajo de la sección transversal de las columnas (representa la cruz formada por la carga axial actuando sobre la columna), $\tan \alpha = (h/d - 0.8\xi)d/H_{cl}$, $\alpha \leq \theta_v$.

θ_v es el ángulo formado por el eje longitudinal del elemento y la mayor grieta inclinada desarrollada en la articulación plástica de la columna,

$\theta_v = 45^\circ$ cuando $v < 0.10$, $\theta_v = 30^\circ$ cuando $v \geq 0.10$ y para $0.10 \leq v < 0.25$ se interpola linealmente.

h_{st} es la altura de los ganchos de los estribos.

A_{tr} es el área total de los ganchos de los estribos en un patrón sencillo de estribos, que son interceptados por una plano inclinado de deslizamiento

s es la separación entre estribos.

f_{st} es el esfuerzo especificado de fluencia de los estribos.

L_α es la longitud de anclaje del refuerzo longitudinal.

D_b es el diámetro de las barras de refuerzo longitudinal.

α_{hook} es un índice binario (1 o 0) que toma en cuenta anclajes de gancho, $\alpha_{hook} = 0$ si no hay ganchos.

f_b es el esfuerzo de unión del concreto, $f_b = 2f_{b,0}$, $f_{b,0} = 180(f_c/20)^{0.5}$.

μ_{fr} es el coeficiente de fricción, $0.2 \leq \mu_{fr} \leq 0.3$ para barras lisas y $1.0 \leq \mu_{fr} \leq 1.5$ para barras corrugadas.

L_{lap} es la longitud de traslape.

α_b es un índice binario (1 o 0) que depende de si las barras son lisas o corrugadas.

N_b es el número de barras longitudinales a tensión.

A_b es el área de una sola barra a tensión.

f_t es el esfuerzo especificado a tensión del concreto, $f_t = 0.3f_c^{2/3}$.

γ_j es 1.40 para uniones interiores, 1.00 para otros casos, para uniones sin estribos los valores se reducen a 0.4 y 0.3 respectivamente.

v_j es la carga axial de servicio actuando en la base de la columna ajustado arriba de la unión.

b_j es el ancho de la unión, $b_j = (b + b_{beam})/2$.

b_{beam} es el ancho de la viga adyacente.

d_{beam} es la altura de la viga.

$\rho_{j,horiz} = A_{tr}/sb_j$.

d_{sl} es la altura de la losa.

$\rho_{l,sl}$ es el refuerzo de la losa en el perímetro de punzonamiento alrededor de la columna, u_{crit} .

ρ_{beam} es la cuantía de refuerzo longitudinal a tensión.

f_y^{beam} es el esfuerzo especificado de fluencia de al acero longitudinal de las vigas.

El modo de falla predominante de cada línea de columna se identifica por la relación de resistencia r_{fail} :

$$r_{fail} = \min\{r_v; r_a; r_{lap}; r_j; r_{pn}\} \leq r_{by}$$

En el caso en el que $r_{fail} > r_{by}$, se espera el desarrollo de articulaciones plásticas en los extremos de las vigas adyacentes a la columna analizada. Cuando $r_{fail} < r_{by}$ y $r_{fail} \geq 1$, se espera una respuesta dúctil de la columna como resultado de la fluencia del refuerzo longitudinal, mientras que si $r_{fail} < 1$, se espera que la columna experimente una falla frágil. Si $r_{fail} = r_{by}$, se espera la formación de articulaciones plásticas en los extremos de las vigas adyacentes a la columna examinada, limitando así la fuerza cortante inducida a la columnas y protegiéndola de desarrollar otros modos de falla.

Habiendo identificado el modo de falla prevalente de cada columna en el entrepiso crítico, la capacidad sísmica del entrepiso expresado en términos de resistencia límite $R_{fail,cr}$, es igual al promedio de los valores de las relaciones de resistencia r_{fail} de las columnas N_c del entrepiso crítico:

$$R_{fail,cr} = \sum_{j=1}^{N_c} r_{fail,j} / N_c$$

3. Aproximación del valor de PGA y/o de la relación de distorsión promedio que el piso crítico del edificio puede tolerar antes de desarrollar daños estructurales.

El último paso del procedimiento RSA se refiere a la aproximación de la capacidad sísmica. La capacidad sísmica se estima en término de la aceleración del suelo límite que el edificio puede soportar sin desarrollar daños en el entrepiso crítico, $a_{g,lim}$.

Para edificios con masas constantes (M) y rigidez traslacional (K) en todos los niveles, $a_{g,lim}$ se obtiene de la siguiente expresión:

$$a_{g,lim} = \left(R_{fail,cr} \frac{\theta_{c,y}}{A_{c,cr}} \right) \frac{H_{cl,cr}}{\Delta\Phi_{cr}} \frac{1}{\Phi_s} \frac{K}{\Omega^2 M}$$

Donde:

$$\Phi_s = \frac{\sum_{i=1}^N \Phi_i}{\sum_{i=1}^N \Phi_i^2}$$

$$\Omega = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \Phi_i^2}{\sum_{i=1}^N \Delta\Phi_i^2}}$$

En los casos más generales, en los que la masa y la rigidez varían de nivel a nivel, $a_{g,lim}$ se obtiene de la siguiente expresión;

$$a_{g,lim} = \left(R_{fail,cr} \frac{\theta_{c,y}}{A_{c,cr}} \right) \frac{H_{cl,cr}}{\Delta\Phi_{cr}} \frac{K^*}{\Phi_s L^*}$$

Donde:

$$L^* = M_i \Phi_i$$

$$K^* = \sum_{i=1}^N K_i \Delta\Phi_i^2$$

En las ecuaciones anteriores, $\theta_{c,y}$ es la rotación a fluencia del refuerzo longitudinal de las columnas ($\theta_{c,y} = 0.5\%$ para columnas con relación de aspecto de seis; $\theta_{c,y} = 0.33\%$ para columnas con relación de aspecto de cuatro o menos y $\theta_{c,y} = 0.75\%$ para columnas esbeltas con relación de aspecto de ocho o más. $A_{c,cr}$ es el valor promedio de λ_c de todas las columnas en el entrepiso crítico donde $\lambda_c = \lambda/(1 + \lambda)$ y $\lambda = n_b E_c I_b h_{cl}/n_c E_c I_c L_b$.

Cuando una o más columnas del entrepiso crítico exhiben fluencia del acero de refuerzo longitudinal de las vigas adyacentes, el producto $R_{fail,cr} \theta_{c,y}/A_{c,cr}$, se reemplaza por θ_u/λ_b donde $\theta_u = \mu_\theta \theta_{y,b}$; $\lambda_b \approx 1$; $\mu_\theta = [1 + (\mu_\phi - 1)0.5(T_1/0.5)]$ para $0.15 s \leq T_1 \leq 0.50 s$ y $[0.5(\mu_\phi + 1)]$ para $0.50 s < T_1 \leq 2.0 s$; $\mu_\phi \approx b_1 0.0035/\varepsilon_{sy}$ donde b_1 está entre cuatro y cinco para secciones transversales típicas de vigas. El periodo fundamental T_1 se calcula mediante la siguiente expresión:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{M^*}{K^*}}; M^* = M_i \Phi_i^2; K^* = \sum_{i=1}^N K_i \Delta \Phi_i^2$$

O por simplicidad se puede aproximar mediante la siguiente expresión empírica que depende de la altura total del edificio H_{tot}

$$T_1 = 0.075 H_{tot}^{0.75}$$

La capacidad sísmica del edificio se estima en términos de la distorsión promedio de las columnas del entrepiso crítico que es tolerada por el edificio antes de la falla. En este caso la demanda sísmica $\theta_{c,dem}^{crit}$, se estima mediante la siguiente expresión en el caso de que el edificio tenga masas y rigideces constantes en todos los entrepisos:

$$\theta_{c,dem}^{crit} = A_{c,cr} \frac{\Delta \Phi_{cr} \Phi_s}{H_{cl,cr}} S_a(T_1) \frac{L^*}{K^*}$$

Mientras que en el caso de que las masas y las rigideces varíen de nivel a nivel se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\theta_{c,dem}^{crit} = A_{c,cr} \frac{\Delta \Phi_{cr}}{H_{cl,cr}} S_a(T_1) \frac{L^*}{K^*}$$

Donde $S_a(T_1)$ es la aceleración espectral absoluta en la ubicación del edificio en función del periodo fundamental de vibración del edificio en la dirección de interés.

3.8.3.2 Procedimiento de segundo nivel

El procedimiento de segundo nivel es un procedimiento semi empírico destinado a reducir el número de edificios que se identifican como sísmicamente riesgosos después de realizar una evaluación sísmica de primer nivel. Mediante cálculos simplificados se clasifican los edificios examinados de

acuerdo con su prioridad para posteriormente realizar en ellos procedimientos de evaluación de tercer nivel. El procedimiento de estimación de capacidad sísmica de segundo nivel consta de tres pasos:

1. *Determinación de la demanda sísmica*

El primer paso del procedimiento corresponde al cálculo de la demanda sísmica del edificio, el cual se expresa en términos del cortante basal (V_{req}) y se calcula en la base del edificio y las direcciones principales (X o Y).

$$V_{req} = M_{tot} \times S_{a,i}(T_1)$$

Donde:

M_{tot} es la masa total de la estructura considerando las cargas gravitacionales y sísmicas, $G + \psi EQ$.

$S_{a,i}(T_1)$ aceleración espectral en la base calculada para el periodo fundamental de la estructura en la dirección i de análisis (X o Y).

2. *Cálculo de la resistencia sísmica tomando en cuenta factores de reducción que dependen de las vulnerabilidades estructurales*

La resistencia sísmica del edificio se determina en función de la resistencia a cortante (V_R) en la base de la estructura para la i -ésima dirección en planta del edificio:

$$V_{R,i} = B_i \times V_{RO,i}$$

Donde:

B_i es un coeficiente que toma en cuenta la reducción de la capacidad sísmica del edificio por criterios inadecuados.

$V_{RO,i}$ Es la resistencia a cortante máxima que se desarrolla en la base del edificio.

El cálculo de $V_{RO,i}$ depende de la suma de resistencia a cortante de columnas (C), de muros (W) y de columnas cortas (SC).

$$V_{RO,i} = a_1 \sum_{j=1}^{N_c} V_{RO,i}^C + a_2 \sum_{k=1}^{N_w} V_{RO,i}^W + a_3 \sum_{l=1}^{N_{sc}} V_{RO,i}^{SC}$$

Donde:

a_1, a_2 y a_3 son coeficientes de configuración estructural (tabla 3.7.1).

N_c, N_w y N_{sc} son el número de columnas, muros y columnas cortas.

$V_{RO,i}^C, V_{RO,i}^W$ y $V_{RO,i}^{SC}$ son el cortante resistente de columnas, muros y columnas cortas respectivamente.

Para determinar los coeficientes a_1 , a_2 y a_3 , se emplea la tabla 3.8.1, la cual indica los valores correspondientes para estos factores dependiendo la presencia de los elementos estructurales en el edificio y sus posibles combinaciones.

Tabla 3.8.2 valores de los coeficientes a_1 , a_2 , a_3 de la metodología de Pardalopoulos y Lekidis (2019)

Columnas	Muros	Columnas cortas	a_1	a_2	a_3
Existe	Existe	Existe	0.5	0.7	0.9
Existe	Existe		0.7	0.9	0.0
Existe		Existe	0.7	0.0	0.9
Existe			0.8	0.0	0.0

El factor de reducción B_i depende de la evaluación de 13 criterios de vulnerabilidad (tabla 3.8.3). A cada criterio se le asigna un valor base (σ_n), el cual es modificado por el coeficiente (β_n), cuyos valores varían entre 1 a 5 dependiendo del nivel de influencia de la vulnerabilidad en la capacidad sísmica del edificio, donde 1 significa una máxima influencia, mientras que 5 corresponde a una influencia nula (respuesta óptima).

Tabla 3.8.3 Criterios de reducción de la capacidad sísmica de la metodología de Pardalopoulos y Lekidis (2019)

Criterio de reducción de la capacidad sísmica	β_n	σ_n
Daño estructural previo	$1 \leq \beta_1 \leq 5$	0.10
Corrosión en el acero de refuerzo	$1 \leq \beta_2 \leq 5$	0.10
Magnitud de la relación de carga axial, ν	$1 \leq \beta_3 \leq 5$	0.05
Regularidad en planta	$1 \leq \beta_4 \leq 5$	0.05
Regularidad de rigidez en planta – Torsión	$1 \leq \beta_5 \leq 5$	0.10
Regularidad en elevación	$1 \leq \beta_6 \leq 5$	0.05
Piso flexible	$1 \leq \beta_7 \leq 5$	0.15
Distribución de masa	$1 \leq \beta_8 \leq 5$	0.05
Columnas cortas	$1 \leq \beta_9 \leq 5$	0.15
Discontinuidad estructural en elevación	$1 \leq \beta_{10} \leq 5$	0.05
Transmisión de cargas y debilidad estructural	$1 \leq \beta_{11} \leq 5$	0.05
Golpeteo	$1 \leq \beta_{12} \leq 5$	0.05
Mal funcionamiento	$1 \leq \beta_{13} \leq 5$	0.05

Una vez identificados los coeficientes (β_n) y los valores base (σ_n) para cada criterio de reducción se emplea la siguiente ecuación para determinar el valor de B_i :

$$B_i = \sum_{n=1}^{13} \frac{\sigma_n \times \beta_n}{5}$$

3. Determinación del coeficiente estructural λ

El coeficiente λ clasifica los edificios examinados en una lista de prioridad para llevar a cabo una evaluación sísmica de tercer nivel. El coeficiente λ en el procedimiento de evaluación de segundo nivel tiene un significado físico completamente diferente al del coeficiente λ del procedimiento RSA.

$$\lambda = 100 \times \max\{\lambda_x; \lambda_y\}; \lambda_x = \frac{V_{req,X} + 0.30 V_{req,Y}}{V_{R,X} + 0.30 V_{R,Y}}; \lambda_y = \frac{V_{req,Y} + 0.30 V_{req,X}}{V_{R,Y} + 0.30 V_{R,X}}$$

3.8.4 Resultados

3.8.4.1 Procedimiento RSA

La metodología Pardalopoulos y Lekidis (2019) se asocia a dos niveles de seguridad “Seguro” y “No Seguro” que se determinan cuando $\theta_{c,dem}^{crit} < \theta_{c,lim}^{crit}$ y $\theta_{c,dem}^{crit} \geq \theta_{c,lim}^{crit}$, respectivamente. Donde $\theta_{c,lim}^{crit} = R_{fail}\theta_{c,y}$. En el primer caso se espera que el edificio responda elásticamente, mientras que en el segundo caso se esperan daños en las columnas del entrepiso crítico.

3.8.4.2 Procedimiento de segundo nivel

Los valores de λ menores que 100% corresponden a casos en los que los edificios son sísmicamente adecuados y no requieren una evaluación adicional, mientras que los edificios con un coeficiente λ igual o mayor que 100% requieren análisis adicionales de su desempeño sísmico utilizando un procedimiento de evaluación sísmica de tercer nivel. La prioridad para realizar una evaluación sísmica de tercer nivel aumenta junto con el aumento del coeficiente λ .

3.8.5 Limitaciones y precisión

Los procedimientos de la metodología Pardalopoulos y Lekidis (2019) son aplicables a estructuras conformadas por sistemas estructurales a base de elementos de concreto reforzado con muros de mampostería de rellena. Esta metodología se limita a edificios de baja y mediana altura. Su costo de aplicación es medio, su tiempo de ejecución es medio y requiere de personal con experiencia en diseño sísmico, estructural y geotécnico por lo que se debe prever la necesidad de capacitar adecuadamente a los evaluadores con la finalidad de comprender los fundamentos de la metodología. La precisión de esta metodología es alta debido a que ha sido calibrada para las condiciones de peligro y vulnerabilidad de la zona de estudio.

3.9 INDIA - METODOLOGÍA DE JAIN ET AL., 2010

El procedimiento de evaluación visual rápida (RVS por sus siglas en inglés) fue desarrollado por Sudhir K. Jain en 2010, a raíz del sismo de Bhuj en 2001. Para la calibración de esta metodología se utilizó una base de datos con información de 3,720 edificios.

3.9.1 Niveles de análisis

La metodología RVS (Jain et al., 2010) consta de un nivel de evaluación, que de acuerdo con las consideraciones generales de este documento (sección 1.1) corresponde a las fases pre-sismo y al nivel de evaluación de “Nivel 2”. La metodología emplea la resolución de cálculos de bajo nivel de complejidad para obtener conclusiones acerca de la condición del edificio.

3.9.2 Objetivos

La metodología RVS (Jain et al., 2010) fue desarrollada para evaluar rápidamente una gran cantidad de edificios dañados a través de parámetros que se obtienen de una inspección desde banqueta del edificio. La metodología tiene como objetivo identificar el nivel de daño esperado del edificio luego de un evento sísmico, para lo cual define los siguientes estados de daño: (“Nulo”, “Ligero no estructural”, “Ligero estructural”, “Moderado”, “Severo” y “Muy severo” o “Colapso”)

3.9.3 Procedimiento

La metodología RVS consiste en el cálculo del índice de comportamiento esperado de la estructura (*EPS*) que depende a su vez del cálculo de dos índices. El primero, el índice de vulnerabilidad estructural (*VS*) y el segundo, el índice del valor base (*BS*). Para su obtención se debe realizar una inspección a nivel de banqueta del edificio sin la necesidad de ingresar.

1. Índice de vulnerabilidad estructural *VS*

Para calcular el índice *VS* es necesario identificar y evaluar las características de la tabla 3.9.1, asignando valores de acuerdo con lo siguiente:

- Si el edificio tiene sótanos, X_1 es igual a 10 de lo contrario es 0.
- Si el edificio tiene menos de cinco pisos, X_2 es igual a 10. Si tiene seis o más pisos es 0.
- Si el edificio cuenta con un buen mantenimiento, X_3 es igual a 0, si el mantenimiento es medio, X_3 es igual a -10 y si el mantenimiento es malo es igual a -20.
- Si el edificio cuenta con entrantes en las esquinas, X_4 es igual a -20 de lo contrario es 0.
- Si el edificio presenta planta baja flexible, X_5 es igual a -10 de lo contrario es 0.
- Si el edificio tiene efectos de columnas cortas, X_6 será igual a -10 de lo contrario es 0.

Tabla 3.9.1 Valores del índice *VS* de la metodología de Jain et al., 2010

Simbología	Característica	Valor		
		Sí		No
X_1	Existencia de sótanos	10		0
X_2	Número de pisos $SNB \leq 5$	10		0
X_3	Condición de mantenimiento	Bueno (0)	Medio (-10)	Malo (-20)
X_4	Entrantes en las esquinas	-20		0
X_5	Planta baja flexible	-10		0
X_6	Columnas cortas	-10		0

Una vez definidos los valores de cada una de las características evaluadas, se procede a calcular el índice de vulnerabilidad estructural (VS) mediante la siguiente ecuación:

$$VS = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6$$

2. Índice de valor base BS

Para calcular el índice BS es necesario conocer la ubicación de la estructura dentro de las zonas sísmicas y el tipo de suelo en el cual está desplantada. La zonificación sísmica de la India está dividida en cinco zonas y tres tipos de suelo (blando, medio o transición y roca). El detalle se presenta en la tabla 3.9.2

Tabla 3.9.2 Valores del índice BS de la metodología de Jain et al., 2010

Tipo de suelo	Zonas sísmicas			
	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona V
Blando	85	70	55	40
Transición	100	85	70	55
Roca	115	100	85	70

3. Índice de comportamiento esperado EPS

El índices de comportamiento esperado, EPS se obtiene a partir de la suma de los índices VS y BS , de acuerdo con la siguiente ecuación

$$EPS = BS + VS$$

En el caso de los edificios de uso no habitacional, se añade al resultado anterior cinco puntos, debido a que en India estos tipos de edificios poseen configuraciones estructurales más simétricas comparadas con los edificios de uso habitacional.

$$EPS_{nhab} = BS + VS + 5$$

3.9.4 Resultados

Para definir el nivel de daño de una estructura se realiza la comparación del índice EPS con los valores de la tabla 3.9.3. Dependiendo del intervalo en el que se encuentre, el índice EPS corresponde al nivel de daño estructural esperado en el edificio evaluado.

Tabla 3.9.3 Valores del índice EPS de la metodología de Jain et al., 2010

EPS	Nivel de daño esperado	Valores
G0	Nulo	$EPS \geq 100$
G1	Ligero no estructural	$100 < EPS \geq 77.5$
G2	Ligero estructural	$77.5 < EPS \geq 60$
G3	Moderado	$60 < EPS \geq 37.5$
G4	Severo	$37.5 < EPS > 0$

G5	Muy severo o colapso	$EPS = 0$
----	----------------------	-----------

3.9.5 Limitaciones y precisión

El EVR es aplicable a estructuras de marcos resistentes a momento de concreto reforzado de baja y mediana altura. Su costo de aplicación es bajo, su tiempo de ejecución es corto debido a que no es necesario entrar al edificio y requiere de pocos evaluadores con juicio ingenieril cuya finalidad es simplemente uniformar criterios para la identificación de las vulnerabilidades del edificio. Su precisión es media debido a que se establecen intervalos definidos para establecer el nivel de seguridad de la edificaciones. Para el caso de edificios con niveles de daño (G0, G1 y G3) existe una sobreestimación de este valor, mientras que para los edificios con niveles de daño superiores el valor resulta ser apropiado. El método resulta ser útil para priorizar la seguridad estructural de una gran cantidad de edificios dañados luego de la emergencia.

3.10 JAPÓN - METODOLOGÍA JBDPC

En Japón, los daños severos en los edificios, debido a los sismos de Fukui de 1948, de Niigata de 1964, de Tokachi-oki de 1968 y de Oita de 1975, dejaron en evidencia que las disposiciones del método de diseño sísmico existente eran inadecuadas para garantizar la seguridad de los nuevos diseños. Por lo tanto, se desarrolló un nuevo método de diseño sísmico bajo el liderazgo del Ministerio de Construcción de Japón (ahora Ministerio de Tierra, Infraestructura y Transporte). Como resultado de este esfuerzo, la Ley de Construcción y la Orden de Ejecución se promulgaron en 1980 y entraron en vigor en 1981.

La Ley de Construcción y la Orden de Cumplimiento se basaron en la evaluación de la resistencia última de los edificios, entre otras características, y en consecuencia creó una situación en la que gran parte del inventario existente de edificios en Japón, que había sido diseñado de acuerdo con el antiguo método de diseño sísmico, no se pudo actualizar al nuevo código de diseño. Por lo tanto, se realizó un estudio que condujo a la Norma/Guía de Evaluación Sísmica para la Rehabilitación Sísmica de Edificios Existentes, cuya primera edición data de 1977. Las ediciones revisadas se publicaron en 1990 y 2001, pero estaban limitadas al idioma japonés.

El Building Research Institute (BRI) realizó la traducción al inglés y el Japan Building Disaster Prevention Center (JBPDC) realizó la publicación en 2005.

3.10.1 Niveles de análisis

La metodología japonesa de evaluación post sísmica versión 2005 tiene tres niveles de evaluación del comportamiento ante sismo de estructuras, que van desde el más sencillo al más detallado, constituyéndose así los procedimientos de primer, segundo y tercer nivel. De acuerdo con las consideraciones generales de este documento (sección 1.1), las metodologías de primer y segundo nivel corresponden a la fases pre y post-sismo y al nivel de evaluación de “Nivel 2”, mientras que la metodología de tercer nivel corresponde a la fase post-sismo y al nivel de evaluación de “Nivel 3”. La metodología emplea cálculos de baja complejidad para obtener conclusiones acerca del nivel de seguridad del edificio.

3.10.1.1 Inspección de primer nivel

La inspección de primer nivel debe realizarse considerando los siguientes factores, los cuales son principalmente necesarios para el cálculo del índice sísmico de estructura para el procedimiento de primer nivel:

- Resistencias de material y dimensiones de sección transversal para el cálculo de resistencias de miembros estructurales.
- Grietas en el concreto y deformaciones de la estructura para la evaluación del índice de tiempo.
- Configuración del edificio para la evaluación del índice de irregularidad.

3.10.1.2 Inspección de segundo nivel

La inspección de segundo nivel debe realizarse considerando los siguientes factores, necesarios para el cálculo del índice sísmico de la estructura en los procedimientos de segundo o tercer nivel:

- Resistencias de material y dimensiones de sección transversal para el cálculo de resistencias de miembros estructurales.
- Grados de ocurrencia y intervalos de grietas y deformaciones estructurales.
- Grados e intervalos de deterioro y envejecimiento.

3.10.1.3 Inspección detallada

La inspección detallada debe realizarse considerando los siguientes factores, además de la inspección de segundo nivel si es necesario para una evaluación más precisa y/o un diseño de rehabilitación:

- Resistencias y módulo de elasticidad del concreto.
- Disposiciones, dimensiones y esfuerzo de fluencia de las barras de refuerzo.
- Capacidad de los miembros estructurales considerando las condiciones de construcción, grietas y defectos.
- Resistencias del material considerando la carbonatación y el envejecimiento del concreto, y la oxidación de las barras de refuerzo.

En la inspección detallada, se realizarán pruebas de muestreo de los cilindros de concreto extraídos del edificio, la eliminación del acabado y la destrucción local de la cubierta de concreto para columnas, vigas y muros.

3.10.2 Objetivos

La finalidad de la metodología es realizar la evaluación del comportamiento ante sismo de un gran número de estructuras en el menor tiempo posible. Este proceso de evaluación permite identificar aquellos edificios que están en riesgo y posteriormente, llevar a cabo la reconstrucción o la rehabilitación sísmica ya que se puede conocer en primera instancia dónde y cómo reparar y reforzar.

3.10.3 Procedimiento

Para evaluar el comportamiento ante sismo, la metodología se basa en calcular el producto de una serie de índices y factores que determinan el nivel de seguridad estructural de un edificio. A continuación, se detallan las consideraciones para la obtención de los índices y factores.

1. Índice sísmico de la estructura I_S

El índice I_S representa las características de comportamiento sísmico de una estructura, cuyo valor será mayor mientras más alta sea la capacidad final de la estructura ante las cargas laterales y a mayor capacidad de deformación. El índice sísmico de la estructura I_S se calcula mediante la siguiente ecuación, para cada nivel y para cada dirección principal del edificio.

$$I_S = E_0 S_D T$$

Donde:

- E_0 índice básico de capacidad existente.
- S_D índice de configuración estructural.
- T índice de edad.

2. Índice básico de capacidad existente E_0

El índice básico de capacidad existente E_0 , representa las características de comportamiento ante sismo que posee una estructura con base en la capacidad última del edificio, el mecanismo de falla y la capacidad de deformación. A mayor resistencia, mayor capacidad de deformación, mayor ductilidad y la formación de un adecuado mecanismo de falla, se obtendrán valores más altos del índice E_0 . Cuando se usa el procedimiento de primer nivel de evaluación, los elementos verticales de la estructura se clasifican de acuerdo con la tabla 3.10.1, para el procedimiento de segundo nivel, se clasifican de acuerdo con la tabla 3.10.2 y para el procedimiento de tercer nivel, se clasifican de acuerdo con la tabla 3.10.3. La figura 3.10.1 es un esquema de la definición de h_0 y D .

Tabla 3.10.1 Clasificación de miembros verticales para la evaluación de primer nivel de la metodología JBDPC (2005)

Miembro vertical	Definición
Columna	Columnas cuyo $h_0/D > 2$
Columna extremadamente corta	Columnas cuyo $h_0/D \leq 2$
Muro	Muros incluidos aquellos sin columnas de borde (o elementos de refuerzo)

Nota:

h_0 : altura libre de la columna

D : peralte de la columna en la dirección de análisis

Tabla 3.10.2 Clasificación de miembros verticales para la evaluación de segundo nivel de acuerdo con los modos de falla de la metodología JBDPC (2005)

Miembro vertical	Definición
Muro a cortante	Muros cuya falla por cortante antecede falla por flexión
Muro a flexión	Muros cuya deformación por flexión antecede la falla por cortante
Columna a cortante	Columnas cuya falla por cortante antecede la falla por flexión (excepto para columnas extremadamente cortas)
Columna a flexión	Columnas cuya deformación por flexión antecede la falla por cortante
Columna extremadamente corta	Columnas cuyo $h_0/D \leq 2$ y la falla por cortante antecede la falla a flexión

Nota:

h_0 : altura libre de la columna

D : peralte de la columna en la dirección de análisis

Tabla 3.10.3 Clasificación de miembros verticales para la evaluación de tercer nivel de acuerdo con los modos de falla de la metodología JBDPC (2005)

Miembro vertical y tipo de falla	Definición
Muro, a cortante	Muros cuya falla por cortante antecede la falla por flexión
Muro, a flexión	Muros cuya deformación por flexión antecede la falla por cortante
Columna, a cortante	Columnas cuya falla por cortante antecede la falla por flexión (excepto para columnas extremadamente cortas)
Columna, a flexión	Columnas cuya deformación por flexión antecede la falla por cortante
Columna, extremadamente corta	Columnas cuyo $h_0/D \leq 2$ y la falla por cortante antecede falla a flexión
Columnas, gobernadas por vigas a flexión	Columnas gobernadas por vigas cuya falla a flexión antecede la falla por cortante
Columnas, gobernadas por vigas a cortante	Columnas gobernadas por vigas cuya falla por cortante antecede la falla a flexión
Muros, que fallan por rotación en la base	Muros cuya falla por elevación (rotación) antecede la falla a flexión o la falla a cortante

Nota:

h_0 : altura libre de la columna

D : peralte de la columna en la dirección de análisis

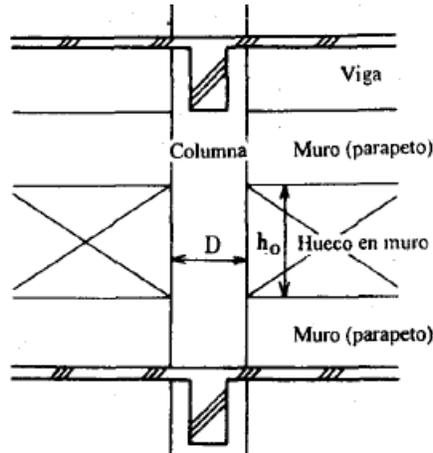


Figura 3.10.1 Altura libre de columna h_0 de la metodología JBDPC (2005)

Para el procedimiento de primer nivel, el índice básico de capacidad de la estructura E_0 se toma como el mayor valor de las ecuaciones siguientes.

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} (C_W + \alpha_1 C_C) F_W$$

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} (C_{SC} + \alpha_2 C_W + \alpha_3 C_C) F_{SC}$$

Donde:

- n número de niveles del edificio.
- i número del nivel en evaluación, donde el primer piso es enumerado como 1 y el superior como n .
- $\frac{n+1}{n+i}$ representa la distribución del cortante de entrepiso ante sismo.
- C_W índice de resistencia de muros de concreto.
- C_C índice de resistencia de columnas.
- C_{SC} índice de resistencia de columnas cortas.
- α_1 suma de la resistencia de columnas al momento de la deformación de resistencia última de muros entre la resistencia última de columnas, se puede igualar a 0.7. Sin embargo, cuando $C_W \approx 0$, α_1 se considerará igual a 1.0.
- α_2 suma de la resistencia de muros cuando se alcanza la deformación de capacidad última de columnas cortas entre la suma de capacidad última de muros, puede considerarse igual a 0.7.
- α_3 suma de la resistencia de columnas cuando se alcanza la deformación de capacidad última de columnas cortas entre la suma de capacidad última de columnas, puede considerarse igual a 0.5.
- F_W índice de ductilidad de muros. Cuando $C_W \approx 0$, se considerará el índice de ductilidad de columnas F_C igual a 1.0.
- F_{SC} índice de ductilidad de columnas cortas, puede considerarse igual a 0.8.

Para el procedimiento de segundo nivel, el índice básico de capacidad existente, E_0 , se calcula en función de las relaciones entre el índice de resistencia acumulada C_T y el índice de ductilidad F derivado de la evaluación detallada del índice de capacidad C , del índice de ductilidad F y del factor de resistencia α que representa la diferencia en la rigidez lateral de los elementos.

El índice de resistencia acumulada C_T , se evalúa como la suma de los índices de capacidad en correspondencia con los índices de ductilidad para cada nivel multiplicado por el factor de modificación del cortante de entrepiso $\frac{n+1}{n+i}$.

Cuando el índice básico de capacidad existente es controlado por la capacidad dúctil de la estructura, E_0 se calcula mediante:

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} \sqrt{(C_1 F_1)^2 + (C_2 F_2)^2 + (C_3 F_3)^2}$$

Donde:

- C_1 índice de capacidad para el primer grupo con un índice de ductilidad pequeño.
- C_2 índice de capacidad para el segundo grupo con un índice de ductilidad medio.
- C_3 índice de capacidad para el tercer grupo con un índice de ductilidad grande.
- F_1 índice de ductilidad para el primer grupo.
- F_2 índice de ductilidad para el segundo grupo.
- F_3 índice de ductilidad para el tercer grupo.

Cuando el índice básico de capacidad existente es controlado por resistencia, E_0 se calcula mediante:

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} \left(C_1 + \sum_j \alpha_j C_j \right) F_1$$

Donde:

- α_j factor efectivo de resistencia para el grupo j a la deformación última R_1 correspondiente al primer grupo (tablas 3.10.4 y 3.10.5).

Tabla 3.10.4 Factor efectivo de resistencia ($F_1=0.8$) de la metodología JBDPC (2005)

Primer grupo	F_1	0.8
	R_1	1/500
Segundo y tercer grupo	Cortante $R_{su} = R_{250}$	α_s
	Cortante $R_{250} < R_{su}$	α_s
	Flexión $R_{my} = R_{250}$	0.65
	Flexión $R_{250} < R_{my} < R_{150}$	α_m
	Flexión $R_{my} = R_{150}$	0.51
	Muros a cortante y flexión	0.65

Tabla 3.10.5 Factor efectivo de resistencia ($F_1 > 1.0$) de la metodología JBDPC (2005)

Primer grupo	F_1	1.0	1.0-1.27	>1.27
	R_1	1/250	1/250 – 1/150	>1/150
Segundo y tercer grupo	Cortante $R_{su} = R_{250}$	1.0	0.0	0.0
	Cortante $R_1 < R_{su}$	α_s	α_s	0.0
	Flexión $R_{my} < R_1$	1.0	1.0	1.0
	Flexión $R_1 < R_{my}$	α_m	α_m	1.0
	Flexión $R_{my} = R_{150}$	0.72	α_m	1.0

Donde:

α_s factor efectivo de resistencia de una columna a cortante, calculado como $\alpha_s = \alpha_m Q_{mu}/Q_{su} \leq 1.0$.

α_m factor efectivo de resistencia de una columna a flexión, calculado como $\alpha_m = 0.3 + 0.7 R_1/R_{my}$.

R_{my} distorsión angular a la deformación de fluencia calculado mediante las normas de diseño de Japón.

R_{su} distorsión angular al cortante resistente calculado mediante las normas de diseño de Japón.

Q_{su} resistencia a cortante de una columna del segundo o tercer grupo.

Q_{mu} fuerza cortante a la deformación por flexión de una columna en el segundo o tercer grupo.

Para el procedimiento de tercer nivel, el índice sísmico básico de la estructura E_0 se calcula en función de las relaciones entre el índice de resistencia acumulada C_T y el índice de ductilidad F derivado de la evaluación detallada del índice de resistencia C , del índice de ductilidad F y del factor de resistencia efectivo α que representa la diferencia en la rigidez lateral de los miembros. Se deben considerar tres tipos de modos de falla de los miembros, a saber, columnas gobernadas por vigas de flexión, columnas gobernadas por vigas de corte y muros que fallan por rotación en la base además de las que se dan en el procedimiento de detección de segundo nivel. Se modifica mediante la siguiente ecuación:

$$E_0' = E_0 \frac{2}{3} \frac{2n + 1}{n + 1}$$

3. Índice de capacidad C

Para el procedimiento de primer nivel, únicamente se considera el área de la sección transversal de muros y columnas de concreto reforzado, determinándose el valor del índice de resistencia, C , como se indica:

$$C_w = \frac{\tau_{w1}A_{w1} + \tau_{w2}A_{w2} + \tau_{w3}A_{w3}}{\sum W} \beta_C$$

$$C_c = \frac{\tau_c A_c}{\sum w} \beta_C$$

$$C_{SC} = \frac{\tau_{SC} A_{SC}}{\sum w} \beta_c$$

$$\beta = \frac{F_c}{20} ; F_c \leq 20$$

$$\beta = \sqrt{\frac{F_c}{20}} ; F_c > 20$$

Donde:

- C_w índice de resistencia de muros.
 C_c índice resistencia de columnas.
 C_{SC} índice de resistencia de columnas cortas.
 τ_{w1} esfuerzo cortante promedio en muros a la capacidad última teniendo columnas de borde en ambos extremos, puede considerarse de 3 N/mm² (30 kg/cm²).
 τ_{w2} esfuerzo cortante promedio en muros a la capacidad última teniendo columnas de borde en un sólo extremo, puede considerarse de 2 N/mm² (20 kg/cm²).
 τ_{w3} esfuerzo cortante promedio en muros a la capacidad última sin columnas de borde, puede considerarse de 1 N/mm² (10 kg/cm²).
 τ_c esfuerzo cortante en columna, a la capacidad última, puede considerarse de 1 N/mm² (10 kg/cm²). Sin embargo, para relaciones h_0/D mayor de 6, el esfuerzo deberá considerarse de 0.7 N/mm² (7 kg/cm²).
 τ_{SC} esfuerzo cortante promedio en columna corta, a la capacidad última, considerarse de 1.5 N/mm² (15 kg/cm²).
 A_{w1} área de la sección transversal del muro en mm², efectiva en el sentido de análisis para cada nivel cuando existen columnas de borde en ambos extremos.
 A_{w2} área de la sección transversal del muro mm², efectiva en el sentido de análisis para cada nivel cuando existe columna de borde en un sólo extremo.
 A_{w3} área de la sección transversal del muro mm², efectiva en el sentido de análisis para cada nivel cuando no existen columnas de borde.
 A_c suma del área de las columnas del nivel en mm². No se considerarán dentro de esta área, al área de elementos de borde de muros de concreto.
 A_{SC} suma del área de las columnas cortas del nivel mm².
 $\sum W$ peso total de los niveles superiores del edificio al de análisis en N. En caso de no realizarse un cálculo, se puede considerar el peso por unidad de superficie igual a 12 kN/m² (0.12 kg/cm²).
 F_c resistencia a compresión del concreto en N/mm², en caso de no existir una inspección a detalle, podrá considerarse el valor de la resistencia nominal. Sin embargo, siempre menor o igual a 20 N/mm² (200 kg/cm²).

Para el procedimiento de segundo nivel, el índice de resistencia C se calcula a partir de la capacidad de carga lateral última de los elementos verticales (columnas y muros) en principio basándose en el supuesto de que las vigas son lo suficientemente rígidas. Los modos de falla de los miembros verticales se clasificarán de acuerdo con la tabla 3.5.2 comparando la resistencia al corte última Q_{su}

y la resistencia al corte en la falla de flexión final Q_{mu} . El índice de resistencia C se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{Q_u}{\sum W}$$

Donde:

Q_u capacidad de carga lateral última de los elementos verticales en el nivel de análisis.
 $\sum W$ el peso del edificio incluyendo la carga viva para el análisis sísmico en el nivel de análisis.

Para el procedimiento de tercer nivel, el índice de resistencia C se calcula con base en los siguientes principios:

- La resistencia a la flexión máxima M_u y la resistencia al corte máxima Q_{su} de columnas, muros y vigas deben calcularse mediante los métodos de las normas de diseño de Japón.
- Utilizando los resultados anteriores, el modo de falla de cada miembro y el momento final en el nudo deben determinarse mediante los métodos especificados en las normas de diseño de Japón. Los modos de falla de los miembros verticales y la capacidad de carga lateral final deben calcularse mediante el llamado método de distribución de momento nodal. Deben calcularse por análisis al límite en el caso de un marco con muros.
- De la misma manera que se especifica para el procedimiento de detección de segundo nivel, los miembros verticales deben clasificarse en tres grupos o menos de acuerdo con sus modos de falla e índices de ductilidad como se enumeran en la tabla 3.5.3, y se debe calcular el índice de resistencia de cada grupo.
- La resistencia en la falla de la unión o la resistencia al corte de las uniones viga-columna y sus efectos pueden considerarse si es necesario.

4. Índice de ductilidad F

El índice de ductilidad de un miembro vertical en el procedimiento de evaluación de primer nivel debe seleccionarse como se indica en la tabla 3.10.6 de acuerdo con la clasificación del elemento vertical.

Tabla 3.10.6 Índice de ductilidad para el procedimiento de primer nivel de la metodología JBDPC (2005)

Miembro vertical	Índice de ductilidad F
Columna $h_0/D > 2$	1.0
Columna extremadamente corta $h_0/D \leq 2$	0.8
Muro	1.0

El índice de ductilidad de un miembro vertical en el procedimiento de evaluación de segundo nivel debe calcularse de acuerdo con la tabla 3.10.7.

Tabla 3.10.7 Índice de ductilidad para el procedimiento de segundo nivel de la metodología JBDFC (2005)

Miembro vertical	Índice de ductilidad F
Muro a cortante	1.0
Muro a flexión	Si $Q_{su}/Q_{mu} = 1.0, F = 1.0$ Si $Q_{su}/Q_{mu} \geq 1.3, F = 2.0$ Si $1.0 < Q_{su}/Q_{mu} < 1.3, F$ se interpola
Columna a cortante	$F = 1.0 + 0.27 \frac{R_{su} - R_{250}}{R_y - R_{250}}$
Columna a flexión	Si $R_{mu} < R_y, F = 1.0 + 0.27 \frac{R_{mu} - R_{250}}{R_y - R_{250}}$ Si $R_{mu} \geq R_y, F = \frac{\sqrt{2R_{mu}/R_y - 1}}{0.75(1 + 0.05R_{mu}/R_y)} \leq 3.2$
Columna extremadamente corta	0.8

El índice de ductilidad de un miembro vertical en el procedimiento de evaluación de tercer nivel debe calcularse de acuerdo con la clasificación de elementos verticales de tercer nivel de la tabla 3.5.3 y de conformidad con las normas de diseño de Japón.

5. Índice de configuración estructural S_D

Considerando el grado G_i y el factor de ajuste R_{1j} , el valor de q_{1j} para el primer nivel de evaluación se calcula usando las siguientes ecuaciones, que representan el nivel de efecto de cada concepto. Posteriormente, el valor de índice de configuración estructural se obtiene de la multiplicación de los factores q_{1j} , calculados para cada concepto. Los valores G_i y R_{1j} se pueden tomar de acuerdo con la tabla 3.10.8.

$$S_{D1} = q_{1a} \times q_{1b} \times \dots \times q_{1j}$$

$$q_{1j} = [1 - (1 - G_i) \times R_{1j}] \dots i = a, b, c, d, e, f, i, j$$

$$q_{1j} = [1.2 - (1 - G_i) \times R_{1j}] \dots i = h$$

Tabla 3.10.8 Valores de G_i y R_{1j} para el primer nivel de evaluación de la metodología JBDFC (2005)

Concepto			G_i (Grado)			R (Factor de ajuste)
			1.0	0.9	0.8	R_{1i}
Configuración en planta	a	Regularidad	Regular a1	Medianamente regular a2	Irregular a3	1.0
	b	Relación de aspecto de la planta	$b \leq 5$	$5 < b \leq 8$	$8 < b$	0.5
	c	Estrechamientos	$0.8 \leq c$	$0.5 \leq c < 0.8$	$c < 0.5$	0.5
	d	Junta de	$1/100 \leq d$	$1/200 \leq d < 1/100$	$d < 1/200$	0.5

	e	expansión Aberturas en sistema de piso	$e \leq 0.1$	$5 < e \leq 8$	$0.3 < e$	0.5
	f	Aberturas en sistema de piso con posición excéntrica	$f1 \leq 0.4$ $f2 \leq 0.1$	$f1 \leq 0.4$ $0.1 < f2 \leq 0.3$	$0.4 < f1$ $0.3 < f2$	0.25
	g					
Configuración en elevación	h	Existencia de sótanos	$1 \leq h$	$0.5 \leq h < 1$	$h < 0.5$	0.5
	i	Uniformidad de altura de entrepiso	$0.8 \leq i$	$0.7 \leq i < 0.8$	$i < 0.7$	0.5
	j	Existencia de entrepiso débil	No tiene piso suave	Piso suave	Piso suave excéntrico	1.0

Para el segundo y tercer nivel de evaluación se utilizan las siguientes ecuaciones y los valores de la tabla 3.10.9

$$S_{D2} = q_{2a} \times q_{2b} \times \dots \times q_{2j}$$

$$q_{1j} = [1 - (1 - G_i) \times R_{2j}] \dots i = a, b, c, d, e, f, i, j, l, n$$

$$q_{2j} = [1.2 - (1 - G_i) \times R_{2j}] \dots i = h$$

Tabla 3.10.9 Valores de G_i y R_{1j} para el segundo y tercer nivel de evaluación de la metodología JBDPC (2005)

Concepto			G_i (Grado)			R (Factor de ajuste)
			1.0	0.9	0.8	R_{2i}
Configuración en planta	a	Regularidad	Regular a1	Medianamente regular a2	Irregular a3	0.5
	b	Relación de aspecto de la planta	$b \leq 5$	$5 < b \leq 8$	$8 < b$	0.25
	c	Estrechamientos	$0.8 \leq c$	$0.5 \leq c < 0.8$	$c < 0.5$	0.25
	d	Junta de expansión	$1/100 \leq d$	$1/200 \leq d < 1/100$	$d < 1/200$	0.25
	e	Aberturas en sistema de piso	$e \leq 0.1$	$5 < e \leq 8$	$0.3 < e$	0.25
	f	Aberturas en sistema de piso con posición excéntrica	$f1 \leq 0.4$ $f2 \leq 0.1$	$f1 \leq 0.4$ $0.1 < f2 \leq 0.3$	$0.4 < f1$ $0.3 < f2$	0
	g					
Configuración en elevación	h	Existencia de sótanos	$1 \leq h$	$0.5 \leq h < 1$	$h < 0.5$	0.5
	i	Uniformidad de altura de entrepiso	$0.8 \leq i$	$0.7 \leq i < 0.8$	$i < 0.7$	0.25

	j	Existencia de entrepiso débil	No tiene piso suave	Piso suave	Piso suave excéntrico	1.0
	k					
Excentricidad	l	Excentricidad	$l \leq 0.1$	$0.1 < l \leq 0.15$	$0.15 < l$	1.0
	m					
Rigidez	n	Rigidez/masa	$n \leq 1.3$	$1.3 < n \leq 1.7$	$1.7 < n$	1.0
	o					

a) Regularidad

- a_1 : Aproximadamente simétrico respecto a dos ejes, el área de una saliente es menor que el 10% del área total de piso.
- a_2 : Estructuras con mayor irregularidad que a_1 . También, aquellas que tengan una forma en planta de L, T o U, donde la relación del área de una saliente es menor que el 30% del área total de piso.
- a_3 : Estructuras con mayor irregularidad que a_2 . También, aquellas que tengan una forma en planta de L, T o U, donde la relación del área de una saliente supera el 30% del área total de piso.
- Un área saliente es la parte más pequeña, y la estructura principal es el área más grande restante. Si la relación de aspecto (h/b) del área saliente es menor que 1/2, no se toma en cuenta este elemento. (figura 3.10.2).

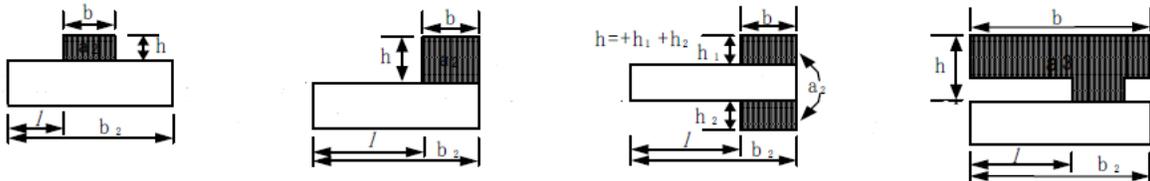


Figura 3.10.2 Tipos de salientes de la metodología JBDPC (2005)

b) Relación de aspecto de la planta

- b: es la relación entre la dimensión en el sentido longitudinal entre la dimensión en el sentido transversal. En caso de que la planta no tenga forma rectangular, la dimensión del lado longitudinal se puede tomar despreciando la parte del saliente cuando su área sea menor que el 10% del área de piso, mientras que, de lo contrario, debe tomarse como el mayor entre $b_1=2l$ y b_2 .

c) Estrechamientos

- c: igual a $D1/D0$. Se considera que los edificios en los esquemas (1) y (2) de la figura 3.6.3 tienen partes estrechas, mientras que los esquemas (3) y (4) de la figura 3.10.3 no tienen partes estrechas.

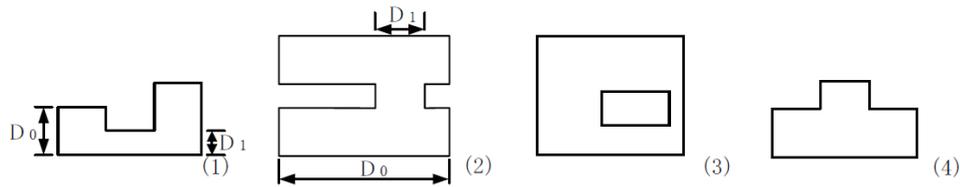


Figura 3.10.3 Tipos de estrechamientos de la metodología JBDPC (2005)

d) Juntas de expansión

- d : aplicable cuando existe junta de construcción, donde d es la separación en la junta de expansión entre la altura medida desde la base a la junta de expansión.

e) Aberturas en sistema de piso

- e : es la relación entre el área de la abertura y el área total de piso. Sin embargo, cuando la abertura del cubo de escaleras se conforma de muros de concreto reforzado, no se considerará como abertura.

f) Aberturas en sistema de piso con posición excéntrica

- f : f_1 es la relación entre la distancia medida desde el centro geométrico del edificio al centro geométrico de las aberturas y la dimensión en el sentido corto del edificio. f_2 es la relación entre la distancia medida desde el centro geométrico del edificio al centro geométrico de las aberturas y la dimensión en el sentido largo del edificio.

h) Existencia de sótanos

- h : es la relación entre el área del sótano y el área del edificio.

i) Uniformidad de la altura de entrepisos

- i : es la relación entre la altura del último nivel y la altura del nivel de inspección. En el caso que se evalúe el nivel superior, se toma la altura del nivel anterior.

j) Existencia de entrepiso débil

- j : en caso de que el edificio tenga columnas soportando muros y estas columnas estén ubicadas de manera excéntrica, debe considerarse la existencia de entrepiso débil. Un marco resistente a momento sin muros no está incluido.

l) Excentricidad

- l : se calcula mediante la ecuación $l = E/\sqrt{B^2 + L^2}$ y de acuerdo con la figura 3.10.4

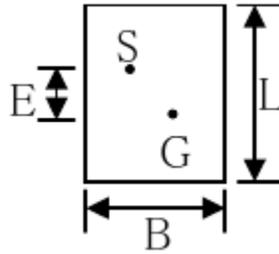


Figura 3.10.4 Esquema de excentricidad de la metodología JBDPC (2005)

n) Rigidez

- n : es (la relación entre la rigidez y el peso del nivel anterior) / (la relación entre la rigidez y el peso del nivel de análisis) multiplicado por β . Donde se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\beta = (N - 1) / N$$

Donde N es el número de pisos sostenidos por el nivel de análisis, el peso de un nivel es el peso del edificio sostenido por el nivel de análisis, y la rigidez del nivel se calcula como la suma del área de columnas más la suma del área de los muros multiplicados por α entre la altura del nivel de análisis (tabla 3.10.10).

Tabla 3.10.10 Valores de α de la metodología JBDPC (2005)

Relación de aspecto h/l	α	
	Muro dentro del marco	Muro fuera del marco
$3.0 \leq h/l$	1.0	0.3
$2.0 \leq h/l < 3.0$	1.5	0.5
$1.0 \leq h/l < 2.0$	2.5	0.8
$h/l < 1.0$	3.5	1.2

6. Índice de edad T

El índice de edad T , trata de evaluar el efecto del tiempo sobre las características de comportamiento ante sismo de una estructura, en particular el asociado a algunas deficiencias estructurales producto de envejecimiento, deformación y aparición de agrietamientos en la misma. Por lo tanto, para el cálculo del índice de edad es necesaria una minuciosa una inspección de campo. El índice de edad a usarse dentro del procedimiento de primer nivel se determina con base en los resultados de la inspección de primer nivel y lo indicado en la tabla 3.10.11. Es decir, dentro de los valores de T que se presentan en la columna C de dicha tabla, se determina al menor de ellos como el índice de edad para ser usado en el procedimiento de primer nivel.

Tabla 3.10.11 Índice de edad T de la metodología JBDPC (2005)

[A]	[B]	[C]	[D]
Elemento	Grado	T	Ítem
Deformación	El edificio está inclinado; o bien, existencia clara de asentamiento diferencial	0.7	Agrietamiento estructural y deflexión
	Suelo artificial, o bien antiguo suelo de cultivo	0.9	
	Se puede comprobar a simple vista la deformación en vigas y columnas	0.9	
	Aquellos no contemplados en los conceptos anteriores	1.0	
Agrietamiento en muros y columnas	Filtraciones de agua de lluvia, aparición de oxidación en acero de refuerzo	0.8	Agrietamiento estructural y deflexión
	Se puede notar a simple vista agrietamiento diagonal en columnas	0.9	
	Aparición de agrietamiento generalizado en muros exteriores	0.9	
	Filtraciones de agua de lluvia, sin embargo no se observa oxidación	0.9	
	Aquellos no contemplados en los conceptos anteriores	1.0	
Incendio	Existen evidencias	0.7	Agrietamiento estructural y deflexión, edad y deterioro
	Existe: sin embargo, las evidencias no son apreciables	0.8	
	No existe	1.0	
Uso	Se usaba para productos químicos, o bien está en uso	0.8	Edad y deterioro
	Aquellos no contemplados en los conceptos anteriores	1.0	
Edad	Superior a 30 años	0.8	Edad y deterioro
	Superior a 20 años	0.9	
	Menor de 20 años	1.0	
Acabado	Notable desprendimiento y caída de la parte exterior por problema de envejecimiento	0.9	Edad y deterioro
	Notable desprendimiento y caída de la parte interior por deterioro	0.9	
	No hay problema en particular	1.0	

Para el procedimiento de segundo y tercer nivel, el índice de tiempo T se calcula mediante la siguiente ecuación y también se basa en los resultados de la inspección de segundo nivel de la tabla 3.5.11.

$$T = (T_1 + T_2 + \dots + T_N)/N$$

$$T_i = (1 - p_1)(1 - p_2)$$

Donde:

- T_i índice de edad para el nivel inspeccionado i .
 N número de niveles inspeccionados.
 p_1 suma del marcado en la tabla 3.5.11 por el agrietamiento estructural y la deflexión del nivel inspeccionado. Puede tomarse como 0, en caso de que la inspección no sea necesaria.
 p_2 suma del marcado en la tabla 3.5.11 por edad y deterioro. Puede tomarse como 0, en caso de que la inspección no sea necesaria.

7. Índice de evaluación de comportamiento estructural ante sismo I_{S0}

Para el procedimiento de primer nivel, el índice de evaluación de comportamiento estructural ante sismo I_{S0} , se calcula con la siguiente ecuación, independientemente del nivel o lugar que se esté estudiando.

$$I_{S0} = E_S Z G U$$

Donde:

- E_S índice básico de evaluación de comportamiento ante sismo, independientemente de la dirección en estudio. Para el primer nivel $E_S=0.8$.
 Z índice de zonificación, que es un factor correctivo que depende del nivel de actividad sísmica de la zona, así como de las características del máximo evento esperado.
 G índice del suelo, el cual es un factor correctivo que depende de las características de amplificación de los estratos del subsuelo, del efecto de configuración topográfica y del efecto de interacción suelo-estructura.
 U índice de uso de la estructura, el cual es un factor correctivo que depende del uso que se le dé al inmueble.

Para el procedimiento de segundo y tercer nivel, se calcula con la siguiente ecuación, independientemente del nivel o lugar que se esté estudiando.

$$I_{S0} = 0.3 Z G U$$

3.10.4 Resultados

Para evaluar el comportamiento ante sismo, la metodología realiza el producto de una serie de índices y factores que determinan el nivel de seguridad estructural de un edificio.

La evaluación de primer nivel finaliza cuando se compara el índice de comportamiento estructural ante sismo I_S , y el índice de evaluación de comportamiento estructural ante sismo I_{S0} tal que:

$$I_S \geq I_{S0}$$

La evaluación de segundo y tercer nivel finaliza cuando se compara el índice de comportamiento estructural ante sismo I_S , y el índice de evaluación de comportamiento estructural ante sismo I_{S0} tal que:

$$C_{TU}S_D \geq 0.3ZGU$$

Donde:

C_{TU} índice de capacidad acumulada a la deformación última de la estructura.
 S_D índice de irregularidad.

Así, cuando I_S es mayor o igual a I_{S0} , se considera que las características de comportamiento de la estructura son superiores a las demandadas por el sismo de diseño, concluyéndose que, en principio, la estructura es segura; es decir, se determina que, ante la demanda solicitada por el sismo supuesto de diseño, la estructura presenta características de comportamiento adecuadas. Aunque un sistema estructural haya sido evaluado como seguro, eso no implica que no vaya a presentar o que no tenga daño alguno; el daño puede existir, pero sin colapso. Por ejemplo, se pueden presentar problemas de deformación importante en algunas losas, o incluso daño severo o colapso en algunos elementos estructurales, pero finalmente serán fenómenos que no repercutirán en la estabilidad de la estructura total. No se debe olvidar que el procedimiento de evaluación presentado se refiere al sistema estructural total, no a la condición de elementos locales. Contrariamente a cuando I_S es menor que I_{S0} , significa que existe un problema en el comportamiento de la estructura ante la incidencia de un sismo; sin embargo, eso no significará que en todos los casos se presente la falla total o colapso. La relación entre los valores de los índices I_S/I_{S0} , determina de manera cuantitativa el nivel de daño que puede tener una estructura, información que servirá para definir concretamente las medidas a tomar respecto a la misma (reparación o demolición).

3.10.5 Limitaciones y precisión

Las estructuras que son aplicables a esta metodología son las edificaciones existentes de concreto reforzado de mediana y/o baja altura. La evaluación de las características de comportamiento ante sismo de una estructura se realiza considerando el sistema estructural de concreto reforzado independientemente de los elementos no estructurales. La metodología JBDPC, 2001 tiene un costo de aplicación medio, su tiempo de ejecución es medio y requiere de personal con experiencia en diseño sísmico, estructural y geotécnico por lo que se debe prever la necesidad de capacitar adecuadamente a los evaluadores con la finalidad de comprender los fundamentos de la metodología. La precisión de esta metodología es alta debido a que ha sido calibrada para las condiciones de peligro y vulnerabilidad de la zona de estudio.

3.11 NUEVA ZELANDA - METODOLOGÍA MBIE

La guía de campo “Evaluación Rápida Post-Desastre para la Habitabilidad de Edificios”, preparada por el Ministerio de Negocios, Innovación y Empleo (MBIE por sus siglas en inglés), se actualizó en el año 2014. Esta guía reemplazó el documento “Evaluación de la Seguridad de Edificios durante un Estado de Emergencia”, publicado por la Sociedad de Ingeniería Sísmica de Nueva Zelanda (NZSEE por sus siglas en inglés) en agosto de 2009.

Gran parte de esta guía se basa en la guía de campo ATC-20-1 (2005) publicada por el Consejo Técnico Aplicado (ATC por sus siglas en inglés). Las experiencias del terremoto de Gisborne de 2007, el terremoto de Padang de 2009 y el terremoto de Canterbury de 2010-2011 también contribuyeron a la actualización de este documento.

3.11.1 Niveles de análisis

La metodología MBIE tiene tres niveles de evaluación visual rápida que de acuerdo con las consideraciones generales de este documento, corresponden a la fase post-sismo y al nivel de evaluación de “Nivel 1” (sección 1.1). La metodología emplea un formato de inspección para la obtención de la clasificación de seguridad de la estructura.

Para edificios habitacionales simples, se sugiere realizar una evaluación rápida que implica una inspección externa y, si es necesario, una inspección interna. La inspección interna puede ser tan simple como mirar a través de las ventanas para verificar si hay daños internos.

Para los edificios habitacionales más complejos, como son edificios de departamentos, existen dos niveles de evaluación distintos. Las evaluaciones de nivel 1 generalmente incluyen sólo observación externa, mientras que las evaluaciones de nivel 2 también incluyen una inspección interna, si el acceso es seguro.

Las evaluaciones rápidas de nivel 1 son adecuadas para edificios habitacionales comunes. Los edificios de uso comercial con detalles característicos de construcción como muros de mampostería no reforzada, muros prefabricados y edificios de varios pisos, generalmente requerirán una evaluación de Nivel 2.

Las evaluaciones rápidas de nivel 2 deben realizarse en:

- Todas las instalaciones esenciales (o Grupo A, según la clasificación de México), como son hospitales, escuelas, estaciones de policía y de bomberos.
- Todos los edificios de dos o más pisos y que contengan tres o más departamentos.
- Cualquier otro edificio donde la evaluación rápida de nivel 1 identifique la necesidad de una inspección adicional y más específica.

No es un requisito que se realice una evaluación de nivel 1 antes de realizar una evaluación de Nivel 2. Sin embargo, siempre se debe inspeccionar primero el exterior del edificio antes de ingresar.

Adicionalmente, la metodología tiene un nivel de evaluación detallada cuyo procedimiento general consiste en la:

- Revisión detallada de la documentación existente
- Evaluación de la capacidad estructural
- Identificación de debilidades estructurales
- Observación de daños
- Especificación de reparaciones y/o rehabilitación requerida.

3.11.2 Objetivos

El objetivo de la evaluación rápida de edificios es evaluar el impacto del daño observado e identificar rápidamente la posible habitabilidad de los edificios y de la infraestructura, donde las funciones pueden verse comprometidas por un evento de peligro. Los eventos de peligro incluyen sismo, inundación, deslizamiento de tierra, caída de rocas, erupción volcánica, marejada ciclónica, tsunami, explosión u otro evento con consecuencias para la seguridad de la vida, habitacionales o comerciales.

Esta guía de campo ha sido desarrollada para ayudar a los funcionarios de control de edificios, ingenieros, arquitectos, administradores de propiedades y otros profesionales de la construcción a realizar evaluaciones rápidas de edificios durante un estado de emergencia o período de transición. A discreción de una autoridad, la guía de campo puede usarse en otro momento.

3.11.3 Procedimiento

3.11.3.1 *Evaluación habitacional*

La evaluación habitacional generalmente sigue los pasos en el orden que se indican a continuación:

1. Observar el exterior del edificio desde el exterior
 - a. Estar atento a los peligros de caída de objetos.
 - b. Inspeccionar si los edificios vecinos o las características naturales como colinas, presas o árboles representan un peligro.
 - c. Identificar los peligros no estructurales, tales como derrames químicos, líneas eléctricas rotas o fugas de gas.
 - d. Inspeccionar el daño de la estructura a nivel de la calle.
 - e. Donde sea posible, mirar dentro del edificio a través de ventanas para identificar daños en el interior.
 - f. Inspeccionar el suelo alrededor del edificio para ver si hay fisuras.
2. Caminar alrededor del edificio lo más lejos posible e inspeccione cada fachada.
3. Ingresar al edificio para una inspección más cercana, si es necesario y si la entrada es segura.
4. Llenar el formato de evaluación de edificios habitacionales simples (figuras 3.11.1 a 3.11.2).
5. Colocar el cartel o etiqueta respectiva en el edificio (figuras 3.11.7 a 3.11.9).

Espacio dejado intencionalmente en blanco



EARTHQUAKE RAPID ASSESSMENT FORM

Simple Residential Buildings

This form is not to be used for insurance assessments or purposes other than that intended by the RBA process. Fields with asterisks () are mandatory, others are optional.*

ASSESSMENT

1 Assessor Name*

Assessor ID* Territorial Authority*

2 Assessment Date* Assessment Time* A AM B PM

BUILDING IDENTIFICATION

3 Unit / Number* /

Street*

City/Town*

GPS (Degree with 5 decimals after comma) South East

Other ID or access Photo taken A No B Yes Photo ID.

4 Contact Name

Type A Owner B Tenant C Other

Phone (with area code) (0)

5 Existing Placard* None W Y1 R1 Y2 R2 Date* Team ID*

BUILDING DESCRIPTION

6 Dimensions	Constr. Age	Structure Type	Cladding Type
Storeroys above ground incl. ground floor <input style="width: 30px;" type="text"/>	A <input type="radio"/> <1935 B <input type="radio"/> 1935-1976 C <input type="radio"/> 1977-1984	A <input type="radio"/> Timber frame B <input type="radio"/> Steel frame C <input type="radio"/> Reinforced masonry D <input type="radio"/> Unreinforced masonry E <input type="radio"/> Other: <input style="width: 50px;" type="text"/>	A <input type="radio"/> Brick veneer B <input type="radio"/> Concrete panels C <input type="radio"/> Sheet material D <input type="radio"/> Weatherboard E <input type="radio"/> Exterior Insulation Finishing System F <input type="radio"/> Other: <input style="width: 50px;" type="text"/>
Storeroys below ground <input style="width: 30px;" type="text"/>	D <input type="radio"/> 1985-2000 E <input type="radio"/> >2000 F <input type="radio"/> Unknown		
Footprint (m) <input style="width: 30px;" type="text"/>			

EXTERNAL RISKS

7 Potential External Risks*

	A Yes	B No
1 Objects falling from adjacent buildings. Adjacent building ID or address: <input style="width: 90%;" type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 Land instability above	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3 Land instability below	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4 Other <input style="width: 90%;" type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

If required add sketch on separate page showing extent and nature of the external risk factors.

PMS1 012
 REVISION 02 - JULY 2018

Figura 3.11.1 Formato de evaluación rápida habitacional de la metodología MBIE (2014)

DAMAGE ASSESSMENT

8

	Damage				
	N/A	Unknown	Minor or None	Moderate	Severe
Overall Hazard*	N/A	A	B	C	D
1 Collapse or partial collapse	<input type="radio"/>				
2 Building or story leaning	<input type="radio"/>				
3 Other: <input style="width: 50px;" type="text"/>	<input type="radio"/>				
Structural Hazards*	N/A	A	B	C	D
4 Foundations	<input type="radio"/>				
5 Roofs	<input type="radio"/>				
6 Walls (raking, frame damage, braced)	<input type="radio"/>				
7 Rafts and ceilings	<input type="radio"/>				
8 Diaphragms and bracing	<input type="radio"/>				
9 Other: <input style="width: 50px;" type="text"/>	<input type="radio"/>				

	Damage				
	N/A	Unknown	Minor or None	Moderate	Severe
Non-structural Hazards*	N/A	A	B	C	D
10 Rupture, ornamentation, chimneys	<input type="radio"/>				
11 Cladding, glazing	<input type="radio"/>				
12 Ceilings, light fixtures	<input type="radio"/>				
13 Interior walls, partitions	<input type="radio"/>				
14 Access/egress (stairs, exits)	<input type="radio"/>				
15 Fire safety concerns	<input type="radio"/>				
16 Utilities (e.g. gas, electricity, sewage)	<input type="radio"/>				
17 Other: <input style="width: 50px;" type="text"/>	<input type="radio"/>				

Comments:

9 Estimated Building Damage A None B 0-10% C 11-30% D 31-60% E 61-100%

SUMMARY

10

Observed Damage	Assessment Outcome*
Light or no damage	W <input type="radio"/> CAN BE USED (From assessment no known dangers)
Moderate damage	Y1 <input type="radio"/> RESTRICTED ACCESS TO PART(S) OF THE BUILDING ONLY Y2 <input type="radio"/> RESTRICTED ACCESS - SHORT TERM ENTRY ONLY Access to be supervised A <input type="radio"/> Yes B <input type="radio"/> No
Heavy damage	R1 <input type="radio"/> ENTRY PROHIBITED (At risk from external factors) R2 <input type="radio"/> ENTRY PROHIBITED (Severe damage to building)

Assessor Signature*

11 Survey Extent of Building*

Exterior	A <input type="radio"/> Partial
	B <input type="radio"/> Complete
Interior	C <input type="radio"/> Not assessed
	D <input type="radio"/> Partial
	E <input type="radio"/> Complete

Geotech Assessment Completed? Yes No

SUGGESTED FURTHER ACTIONS

12

Recommended further Assessment*

A None

B Level 2 Rapid Assessment
(Tick below if particular expertise is required):

B1 Structural Engineer

B2 Geotechnical Engineer

B3 Other:

C Further evaluation to be arranged by building owner:

D Welfare visit required? Yes No

Safety Cordon*

A None required

B Cordon required
Describe extent (add diagram on separate sheet if required):

Barricades*

A None required

B Barricades already in place

C Barricades required
Describe extent (add diagram on separate sheet if required):

Urgency of suggested action*

A Standard

B Immediate action required

Immediate Actions (i.e. cover scarps, connect downpipes)

If required add a sketch on a separate sheet of paper showing building damage, access restrictions or cordoning areas. Identify the building on the sketch and staple the sheet to this assessment form.

Sketch included on separate page? Yes No

END OF INSPECTION DATA ENTRY - EMERGENCY OPERATIONS CENTRE USE ONLY

Data entry completed Yes No Date

Day Month Year

Completed by:

FORM 2 013 EARTHQUAKE RAPID ASSESSMENT FORM - Single Residential Buildings PERFORMED - JULY 2018

Figura 3.11.2 Formato de evaluación rápida habitacional de la metodología MBIE (2014) (continuación)

Estado del Arte de Metodologías de Evaluación Post-Sísmica

3-148

3.11.3.2 Evaluación de nivel 1

La evaluación de edificios de nivel 1 generalmente sigue los pasos en el orden que se presenta a continuación:

1. Observar el exterior del edificio desde la calle.
 - a. Estar atento a los peligros de caída de elementos.
 - b. Inspeccionar si los edificios vecinos o las características naturales, como colinas, presas, líneas eléctricas representan un peligro.
 - c. Identificar peligros no estructurales como derrames químicos, energía, gas.
 - d. Inspeccionar los daños a nivel de la calle en la estructura del edificio.
 - e. Donde sea posible, mirar dentro del edificio a través de ventanas para identificar daños en el interior.
 - f. Inspeccionar el suelo alrededor del edificio para ver si hay pendientes o fisuras.
2. Caminar alrededor del edificio lo más lejos posible e inspeccione cada elevación.
3. Llenar el formato de evaluación de edificios habitacionales simples (figuras 3.11.3 a 3.11.4).
4. Colocar el cartel respectivo en el edificio (figuras 3.11.7 a 3.11.9).

Espacio dejado intencionalmente en blanco



EARTHQUAKE RAPID ASSESSMENT FORM

Complex Residential and all
Non-Residential Buildings
Level 1

This form is not to be used for insurance assessments or purposes other than that intended by the RBA process. Fields with asterisks (*) are mandatory, others are optional.

ASSESSMENT

1 Assessor Name* Assessor ID* Territorial Authority*

2 Assessment Date* Assessment Time* A AM B PM

BUILDING IDENTIFICATION

3 Building Name Unit / Number* / Street* City/Town* GPS (Degree with 5 decimals after comma) South East Other ID or access: Photo taken A No B Yes Photo ID:

4 Contact Name Type A Owner B Tenant C Other Phone (with area code)

5 Existing Placard* None W Y1 Y2 R1 R2 Date* Team ID*

BUILDING DESCRIPTION

6 Dimensions	Constr. Age	Building Type	Structure Type	Cladding Type
Storeys above ground incl. ground floor <input style="width: 10%;" type="text"/> <input style="width: 10%;" type="text"/>	A <input type="radio"/> <1935 B <input type="radio"/> 1935-1976 C <input type="radio"/> 1977-1984 D <input type="radio"/> 1985-2000 E <input type="radio"/> >2000 F <input type="radio"/> Unknown	A <input type="radio"/> Complex residential B <input type="radio"/> School C <input type="radio"/> Commercial/Office D <input type="radio"/> Industrial E <input type="radio"/> Critical facility F <input type="radio"/> Public assembly G <input type="radio"/> Other: <input style="width: 100%;" type="text"/>	A <input type="radio"/> Timber frame B <input type="radio"/> Steel frame C <input type="radio"/> Concrete frame D <input type="radio"/> Concrete shear wall E <input type="radio"/> Tilt-up concrete F <input type="radio"/> Reinforced masonry G <input type="radio"/> Unreinforced masonry H <input type="radio"/> Other: <input style="width: 100%;" type="text"/>	A <input type="radio"/> Brick veneer B <input type="radio"/> Concrete panels C <input type="radio"/> Steel D <input type="radio"/> Glass E <input type="radio"/> Lightweight F <input type="radio"/> Other: <input style="width: 100%;" type="text"/>
Storeys below ground <input style="width: 10%;" type="text"/> <input style="width: 10%;" type="text"/>				
Footprint (m ²) <input style="width: 10%;" type="text"/> <input style="width: 10%;" type="text"/> <input style="width: 10%;" type="text"/>				

EXTERNAL RISKS

7 Potential External Risks*

	A Yes	B No
1 Objects falling from adjacent buildings. Adjacent building ID or address: <input style="width: 95%;" type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 Land instability above	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3 Land instability below	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4 Other: <input style="width: 95%;" type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

If required add sketch on separate page showing extent and nature of the external risk factors.

FORM 1 2012

REVISION 02 - JULY 2018

Figura 3.11.3 Formato de evaluación de nivel 1 de la metodología MBIE (2014)

OBSERVED DAMAGE

8

Structural Component*	Observed Condition					Comments:
	N/A	Unknown	Minor or More	Moderate	Severe	
1 Collapse, partial collapse off foundation	<input type="radio"/>					
2 Bulging or stoney leaning	<input type="radio"/>					
3 Structural damage to vertical system	<input type="radio"/>					
4 Structural damage to lateral system	<input type="radio"/>					
5 Chimney, parapet or other falling hazard	<input type="radio"/>					
6 Ground slope movement or cracking	<input type="radio"/>					
7 Other: <input type="text"/>	<input type="radio"/>					

9 Estimated Building Damage A None B 0-10% C 11-30% D 31-60% E 61-100%

SUMMARY

10 Observed Damage Level 1 Rapid Assessment Outcome*

Light or no damage W CAN BE USED (from assessment no known dangers)

Moderate damage Y1 RESTRICTED ACCESS TO PART(S) OF THE BUILDING ONLY
 Y2 RESTRICTED ACCESS - SHORT TERM ENTRY ONLY with or without supervision
 Access to be supervised A Yes B No

Heavy damage R1 ENTRY PROHIBITED (At risk from external factors)
 R2 ENTRY PROHIBITED (Severe damage to building)

Assessor Signature*

11 Survey Extent of Building*

Exterior	A <input type="radio"/> Partial
	B <input type="radio"/> Complete
Interior	C <input type="radio"/> Not assessed
	D <input type="radio"/> Partial
	E <input type="radio"/> Complete

Geotech Assessment Completed? Yes No

SUGGESTED FURTHER ACTIONS

12 Recommended further Assessment* Safety Cordon* Barricades* Urgency of suggested action*

A None A None required A None required A Standard

B Level 2 Rapid Assessment B Cordons required B Barricades already in place B Immediate action required

(tick below if particular expertise is required)

B1 Structural Engineer Describe extent (add diagram on separate sheet if required)

B2 Geotechnical Engineer Describe extent (add diagram on separate sheet if required)

B3 Other:

C Further evaluation to be arranged by building owner

D Welfare visit required? Yes No

Immediate Actions (i.e. cover scarps, connect downpipes)

If required add a sketch on a separate sheet of paper showing building damage, access restrictions or cordoning areas. Identify the building on the sketch and staple the sheet to this assessment form.

Sketch included on separate page? Yes No

END OF INSPECTION DATA ENTRY - EMERGENCY OPERATIONS CENTRE USE ONLY

Data entry completed Yes No Date

Day Month Year

Completed by:

REVISIONS - JULY 2018

FILE 2 OF 3 EARTHQUAKE RAPID ASSESSMENT FORM - Complex Residential and All Non-Residential Buildings Level 1

Figura 3.11.4 Formato de evaluación de nivel 1 de la metodología MBIE (2014) (continuación)

3.11.3.3 *Evaluación de nivel 2*

Una evaluación de nivel 2 generalmente implica entrar al edificio. Antes de ingresar al edificio, primero debe evaluar el exterior del edificio en busca de daños y peligros (Nivel 1). Además, debe asegurarse que los accesos de entrada y salida del edificio sean seguros. Los pasos para evaluar el interior de un edificio a menudo serán específicos para cada caso, pero siempre deben incluir estos pasos:

1. Observar el exterior del edificio desde el acceso a la calle.
2. Caminar alrededor del edificio lo más lejos posible e inspeccione cada elevación.
3. Realizar observaciones en el interior, si es seguro hacerlo:
 - a. Inspeccionar una muestra de las habitaciones; por ejemplo, pisos inferiores / medios / superiores, centro y esquinas del edificio.
 - b. Si es posible, levantar las tejas del techo para inspeccionar los elementos estructurales que normalmente no están expuestos.
 - c. Mirar en los huecos de las escaleras, cuartos de máquinas y otras áreas expuestas según sea necesario para ver el sistema estructural.
 - d. Ingrese a los espacios del sótano para inspeccionar los miembros estructurales más expuestos.
4. Llenar el formato de evaluación de edificios habitacionales simples (figuras 3.11.5 a 3.11.6).
5. Colocar el cartel respectivo en el edificio (figuras 3.11.7 a 3.11.9).

Espacio dejado intencionalmente en blanco

CAN BE USED

NO RESTRICTIONS ON ACCESS

There has been a quick visual inspection of this building:

- No obvious structural problems were observed, but:
- This does not mean that the building is completely safe
- This does not mean that the building is not damaged
- Aftershocks may cause more damage that may change this assessment

The following items have generally not been inspected:

- Utilities (electrical, gas, water, sanitary facilities, etc)
- Secondary elements (ceilings, windows, fittings, etc)

Building owners and tenants have an important role in regard to the future safety of occupants and the public:

- The owner should organise for someone to look at the building more thoroughly
- Tell the authority if you find anything that could be dangerous

Building Name and Address: _____

This building has been subject to a rapid assessment:

Exterior Only

Exterior and Interior

Assessor ID: _____

Date: _____ Time: _____

This placard has been placed on behalf of the Civil Defence Emergency Management Controller under the authority of the Civil Defence Emergency Management Act 2002.

For further information:

- www.dbh.govt.nz/post-disaster-building-management
- For enquires about this building _____

DO NOT REMOVE THIS NOTICE

Figura 3.11.7 Cartel “Puede ser usado” de la metodología MBIE (2014)

RESTRICTED ACCESS

TO PART(S) OF THE BUILDING ONLY
 SHORT TERM ENTRY ONLY
 Access to be supervised by a person authorised by the issuing Territorial Authority

There has been a quick visual inspection of this building:

- This building has been damaged and its structural safety is questionable
- Enter only at own risk
- Future events may cause more damage that may change this assessment

Description of hazard observed: _____

Restricted areas are: _____

Restrictions on use:

Removal of essential documents/valuables only

Removal of property

Other: _____

Diagram attached showing restricted areas

Building Name and Address: _____

This building has been subject to a rapid assessment:

Exterior Only

Exterior and Interior

Assessor ID: _____

Date: _____ Time: _____

This placard has been placed on behalf of the Civil Defence Emergency Management Controller under the authority of the Civil Defence Emergency Management Act 2002.

For further information:

- www.dbh.govt.nz/post-disaster-building-management
- For enquires about this building _____

DO NOT REMOVE THIS NOTICE

Figura 3.11.8 Cartel “Acceso Restringido” de la metodología MBIE (2014)



ENTRY PROHIBITED

(THIS IS NOT A DEMOLITION ORDER)

There has been a quick visual inspection of this building:

This building is at risk from an external hazard

This building has been seriously damaged

Description of hazard observed: _____

Extent of barricades required: _____

Diagram attached showing restricted areas

Access is not permitted without written authorization from the Civil Defence Emergency Management Controller.

Building Name and Address: _____

This building has been subject to a rapid assessment:

Exterior Only

Exterior and Interior

Assessor ID: _____

Date: _____ Time: _____

This placard has been placed on behalf of the Civil Defence Emergency Management Controller under the authority of the Civil Defence Emergency Management Act 2002.

For further information:

- www.cdf.govt.nz/post-disaster-building-management
- For requests about this building: _____

DO NOT REMOVE THIS NOTICE

Figura 3.11.9 Cartel “Entrada Prohibida” de la metodología MBIE (2014)

3.11.3.4 Llenado de formato de evaluación

Estas instrucciones se refieren a las secciones del formulario con los números correspondientes. Se pide completar los formularios con letra mayúscula para mejorar la calidad de la entrada de datos, minimizar las visitas y facilitar el escaneo, que puede ser una opción en caso de un sismo de gran intensidad. Los campos marcados con un asterisco son obligatorios; otros son opcionales:

1. Ingresar el nombre, el número de identidad y clave del inspector. Si más de una persona llena el formulario, se pide que el nombre y la identificación corresponda a la del líder del equipo.
2. Fecha y hora de la evaluación.
3. Identificación del edificio. Como mínimo se requiere el número de la calle y el nombre.
4. Cualquier información adicional mejoraría la identificación posterior. Los edificios comerciales a veces tienen nombres. Se debe señalar cuántas fotos se hicieron.
5. Al hacer fotos, asignar un nombre a los archivos de una manera que permita una coincidencia posterior con el edificio (nombre del edificio, dirección, ID de registro, etc.).
6. Si está disponible, ingresar los datos de contacto del propietario, ocupante o gerente del edificio. Por lo general, será la persona a quien se informará sobre los resultados de la evaluación. Esta sección no es obligatoria.
7. Ingresar los detalles de cualquier cartel existente. Esta sección se completa incluso si la propia evaluación concluye con el mismo letrero que el existente.
8. Ingresar los detalles de la descripción del edificio. Se debe tener en cuenta que se pueden seleccionar múltiples respuestas. Esta sección no es obligatoria.
9. Señalar cualquier peligro externo. Se debe agregar una breve descripción si se observan "Otros" peligros. Si el peligro se debe a un edificio vecino, se debe identificar el edificio. Esta sección trata de los peligros que el entorno provoca en el edificio evaluado.

10. Ingresar el daño observado. Para cada fila se debe marcar el daño observado. Usar los campos de texto a la derecha y en la parte inferior de la tabla describir cualquier observación adicional relevante al daño que afecta la funcionalidad del edificio.
11. Completar la tabla de "daño estimado al edificio". Las secciones 8 y 9 no indican por defecto niveles de daño similares, es decir, puede haber identificado daño "severo" en un elemento estructural en el edificio lo que provocaría un letrero de "Entrada prohibida". Sin embargo, el daño puede ser fácil de reparar y, por lo tanto, el daño estimado en la tabla 9 sería de solo 0-10%. Esta sección no es obligatoria.
12. Ingresar la decisión de etiquetado o categorización.
13. Completar el formulario.
14. Recomendar acciones.
15. Realizar comentarios.

Si es útil, se debe agregar un croquis del edificio o parte del edificio en la hoja de bocetos provista para identificar riesgos y restricciones de acceso.

3.11.4 Atributos

De forma general, el formato de inspección contiene ocho secciones. La primera sección corresponde a los datos generales de la inspección, como la identificación del inspector y la fecha y la hora de la inspección.

La segunda sección recopila información referente a la identificación del edificio, esta es:

- Nombre del edificio
- Dirección
- Coordenadas
- Número o clave de foto hecha
- Nombre de contacto
- Teléfono de contacto
- Cartel existente

La tercera sección corresponde a la descripción del edificio donde se solicitan datos referentes a dimensiones, año de construcción, uso del edificio, sistema estructural y tipo de fachada.

La cuarta sección corresponde a la evaluación de los peligros externos como objetos en peligro de caer e inestabilidad del suelo; y adicionalmente, a la evaluación del daño para amenazas generales, estructurales y no estructurales, estas son:

a) Amenazas generales

- Colapso total parcial
- Inclinación de un nivel o del edificio

b) Amenazas estructurales

- Cimentaciones
- Sistemas de piso y techo
- Sistema resistente a cargas verticales
- Sistema resistente a cargas laterales
- Diafragmas horizontales
- Conexiones prefabricadas

c) Amenazas no estructurales

- Parapetos
- Fachadas
- Cielos rasos
- Muros divisorios
- Accesos
- Sistema contra incendios
- Instalaciones

Finalmente, se solicita el porcentaje estimado de daño global del edificio

La quinta sección corresponde al etiquetado de la edificación que resume las categorías en las que se puede clasificar el edificio, estas son:

- Daño nulo o ligero (“Puede ser usado”)
- Daño moderado (“Acceso restringido”)
- Daño severo (“Entrada prohibida”)

La sexta sección contiene las futuras acciones, estas son:

- Evaluación detallada (estructural, geotécnica, y/u otra)
- Necesidad de barreras en alguna área
- Acordonamiento
- Urgencia de atención
- Otras recomendaciones
- Comentarios

La octava sección es la parte final del formato de evaluación, donde se indica la fecha en la que se completó el formulario y el nombre del inspector.

3.11.5 Resultados

Los resultados de la inspección se asocian con tres niveles de habitabilidad “Puede Usarse”, “Acceso Restringido” y “Entrada Prohibida”.

3.11.5.1 Cartel “Puede Usarse” (blanco)

"Puede Usarse" indica que no se ha observado ningún daño que aumente el riesgo para la seguridad pública por el uso o la ocupación del edificio. Este cartel significa que se permite la ocupación y el uso sin restricciones, sin embargo, no significa que el edificio sea seguro.

En general esto requiere:

- Capacidad de carga vertical no reducida significativamente
- Capacidad de carga lateral no reducida significativamente
- No hay peligro de caída de objetos
- No hay evidencia de inestabilidad del suelo
- Las salidas principales del edificio son utilizables
- No se observa contaminación de aguas residuales
- No se observan otras condiciones inseguras

Los daños observados que no aumentan el riesgo para la seguridad pública pueden incluir:

- Grietas en el yeso en las paredes exteriores que no generen peligros de caída.
- Elementos no estructurales que han caído por completo para que no haya más peligro de caídas.
- Pérdida de servicios que no causan un riesgo para la seguridad, por ejemplo, plomería o suministro de agua potable.

3.11.5.2 Cartel “Acceso Restringido” (amarillo)

“Acceso Restringido” puede ser el más difícil de asignar, porque es esa área intermedia gris y muchos edificios pertenecerán a esta categoría. Este cartel indica que el edificio requiere alguna restricción en su uso. Son posibles dos tipos de carteles:

a) Y1 Acceso restringido a parte (s) del edificio

- Entrada prohibida a ciertas habitaciones debido a riesgos de caída que no amenazan el resto del edificio.
- Uso prohibido del suministro de agua si está sujeto a contaminación.

b) Y2 Acceso restringido

- No hay entrada pública, excepto para negocios esenciales en los que se permite el ingreso en periodos cortos, en parte o en todo el edificio con fines de emergencia. Estos pueden incluir:
 - Retiro de registros comerciales o legales esenciales (testamentos de la oficina de un abogado, por ejemplo).
 - Retiro de objetos de valor solamente.
 - Retiro de bienes.

En algunos edificios, el daño observado puede presentar riesgos significativos para las personas que no tienen la experiencia adecuada. En esos edificios, el acceso en periodos cortos se puede permitir bajo supervisión de una persona autorizada por la autoridad.

Las restricciones de uso deben identificarse claramente tanto en el formulario de evaluación como en el cartel. Las áreas inseguras deben estar claramente marcadas con barricadas, cinta de barrera y letreros.

Otras acciones para reducir el peligro dentro y alrededor del edificio también se pueden identificar en el formulario de evaluación y en el cartel.

Si sólo se pudieran evaluar partes del edificio y se desconoce el estado de las partes no evaluadas, se deberá indicar claramente en los formularios y carteles. En la mayoría de los casos, estas áreas no evaluadas deben ser restringidas de acceso y marcadas y acordonadas en consecuencia.

3.11.5.3 *Cartel “Entrada Prohibida” (rojo)*

"Entrada Prohibida" indica que el edificio o partes del edificio están dañados en un grado que puede representar un peligro para la entrada y la ocupación, sin embargo, no significa que necesariamente que se requiera la demolición. La entrada puede ocasionar riesgos para la salud o la vida por lo que la entrada a este edificio está prohibida. Son posibles dos tipos de carteles:

a) R1 Entrada prohibida

- El daño a factores externos representa un peligro significativo para el edificio

b) R2 Entrada prohibida

- Este edificio está severamente dañado y representa un peligro

Los factores comunes que pueden hacer que un edificio sea inseguro incluyen:

a) Factores ambientales

- Edificio vecino en peligro de colapso
- Riesgo de deslizamientos de tierra
- Potencial de inundación debido a presas o diques dañados
- Otro riesgo causado por el entorno del edificio, como árboles o socavones
- Fugas de gas, líneas eléctricas cortadas y expuestas
- Grietas significativas en el suelo al lado o debajo del edificio.

b) Factores estructurales

- Edificio o piso significativamente inclinado
- Colapso total o parcial de muros o techos
- Daño severo en columnas o vigas estructurales con grandes grietas o refuerzo expuesto

- Agrietamiento o pandeo severo de muros, gran movimiento entre pisos aparente
- Daño significativo en la base
- Chimeneas dañadas en peligro de colapso o caída de ladrillos
- Pretilos rotos y en peligro de caerse.

3.11.6 Limitaciones y precisión

Las metodologías de evaluación son aplicables a estructuras conformadas a base de cualquier tipo de sistema estructural y el número de niveles es indistinto. Su costo de aplicación es bajo, su tiempo de ejecución es corto y requiere de pocos evaluadores con juicio ingenieril y de una capacitación básica cuya finalidad es simplemente uniformar criterios para el correcto llenado del formato. Su precisión es baja debido a que, al ser cualitativa, los resultados son subjetivos. No se establecen intervalos definidos para establecer el nivel de seguridad de la edificaciones.

3.12 TURQUÍA – METODOLOGÍA DE HASSAN Y SOZEN, 1997

Para el desarrollo de esta metodología se tomó como base el formato SST propuesto por Shiga, Shibata y Takahashi (1968). El formato SST tiene el inconveniente de haber sido calibrado para un grupo de edificios de concreto reforzado con muros de concreto bien detallados. En 1997, Mete A. Sozen y Ahmed F. Hassan en colaboración con la Universidad Técnica de Medio Oriente (METU por sus siglas en inglés) recalibraron el formato SST con base en la información de 46 edificios públicos del Ministerio de Vivienda y Desastres de la Republica de Turquía, que tuvieron daños por el sismo Erzincan en 1992.

3.12.1 Niveles de análisis

La metodología tiene un nivel de evaluación que, de acuerdo con las consideraciones generales de este documento, corresponde a la fase pre-sismo y al nivel de evaluación de “Nivel 2” (sección 1.1). La metodología emplea cálculos de bajo nivel de complejidad para obtener áreas de muros y columnas, para con ello definir la condición del edificio y discriminar si el edificio puede sufrir daños mayores o no.

3.12.2 Objetivos

Esta metodología fue desarrollada con la finalidad de ser aplicada en la mayor cantidad de edificios de baja altura para determinar, de una manera sencilla y rápida, la susceptibilidad del edificio de experimentar daño severo. Esta metodología se diseñó para aplicarse antes de la ocurrencia de un evento sísmico.

3.12.3 Procedimiento

La metodología propuesta por Hassan y Sozen inicia realizando una inspección al edificio en estudio. Se practica un levantamiento de las dimensiones y de la distribución de los elementos resistentes a cargas laterales (columnas y muros). Es importante tomar en cuenta en el levantamiento, la presencia de muros de mampostería de relleno que, aunque no forman parte del sistema estructural, aportan cierta rigidez lateral al edificio debido a la interacción con la estructura cuando hay un evento sísmico.

Una vez concluido el levantamiento de los elementos descritos anteriormente, se calculan las áreas por tipo de elemento. Con estos cálculos se determinan los valores de los índices de muros WI y de columnas CI .

1. Índice de muros (WI)

El índice de muros (WI), se obtiene dividiendo el área en planta de muros de concreto reforzado y de mampostería para las direcciones transversal y longitudinal del edificio y el área total de la planta, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$WI = \frac{A_{wt}}{A_{ft}} \times 100$$

Donde:

A_{wt} es el área transversal efectiva de muros en una dirección horizontal en m^2 .
 A_{ft} es el área total del edificio en la planta baja, en m^2 .

Para el cálculo de A_{wt} se emplea la siguiente ecuación:

$$A_{wt} = A_{cw} + \left(\frac{A_{mw}}{10} \right)$$

Donde:

A_{cw} es el área transversal total de los muros de concreto reforzado en una dirección horizontal dada, en m^2 .
 A_{mw} es el área transversal total de los muros de mampostería no confinada en una dirección dada, en m^2 .

2. Índice de columnas (CI)

El índice de columnas (CI), corresponde a la división del área efectiva de columnas en planta entre el área total de la planta, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$WI = \frac{A_{ce}}{A_{ft}} \times 100$$

Donde:

A_{ce} es el área transversal efectiva de columnas en la base, en m^2 .
 A_{col} es el área transversal de columnas sobre la base, en m^2 .

Para el cálculo de A_{ce} se emplea la siguiente ecuación:

$$A_{ce} = \frac{A_{col}}{2}$$

3.12.4 Resultados

Una vez obtenidos los índices WI y CI para las direcciones principales en planta, se procede a graficar el punto coordinado (CI, WI) en el primer cuadrante de un plano cartesiano conformado por los valores de CI en el eje de las abscisas y por los valores de WI en el eje de las ordenadas. Adicionalmente, se atribuye a cada punto una etiqueta que relaciona el nivel de daño asociado y se grafican los límites 1 y 2 que definen la condición de vulnerabilidad del edificio (figura 3.12.1).

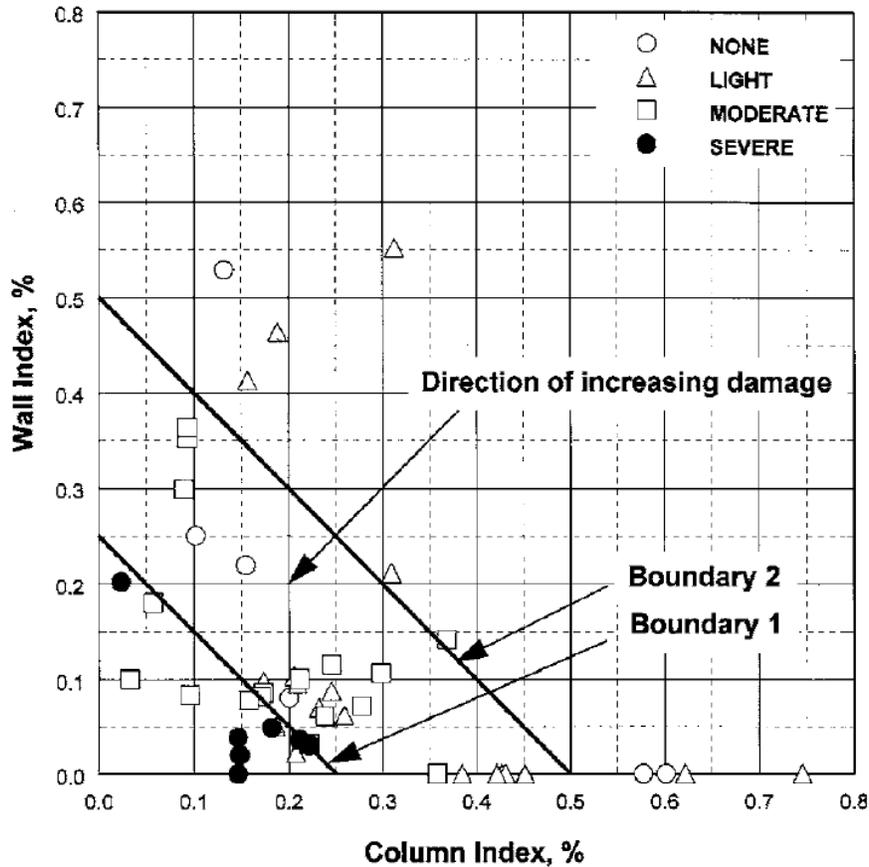


Figura 3.12.1 Límites 1 y 2 para la metodología de Hassan y Sozen (1997)

En la figura 3.12.1, si el punto definido por los índices CI y WI se ubica dentro del área delimitada por los ejes coordenados y la línea “Límite 1”, se considera que el edificio es más vulnerable que aquel, cuyo punto en la gráfica se encuentre ubicado en la proximidad del “Límite 1” o alejado de él. Por lo tanto, entre mayor cercanía tenga el punto al origen del plano, mayor será la probabilidad de daño.

La grafica descrita anteriormente es útil para identificar, de manera gráfica, aquellos edificios con mayor probabilidad de daño. En la gráfica se incluye otra frontera “Límite 2” para discriminar el daño severo del moderado. Esto permite descartar edificios que se encuentren alejados de ambos límites como aquéllos que son susceptibles a experimentar daños ligeros o no daño.

Una vez identificados aquellos edificios con mayor probabilidad de daño es necesario priorizarlos para tomar acciones de rehabilitación o de atención antes de la ocurrencia de un sismo, para ello se emplea el índice de Prioridad (*PI*), el cual corresponde a la suma de los índices *WI* y *CI*.

$$PI = WI + CI$$

A menores valores de *PI*, mayor prioridad tiene el edificio y sus acciones de atención serán más inmediatas.

3.12.5 Limitaciones y precisión

La metodología Hassan y Sozen (2004) es aplicable a estructuras conformadas por sistemas estructurales a base de elementos de concreto reforzado y mampostería. Su costo de aplicación es medio, su tiempo de ejecución es medio y requiere de personal con experiencia en diseño sísmico, estructural y geotécnico por lo que se debe prever la necesidad de capacitar adecuadamente a los evaluadores con la finalidad de comprender los fundamentos de la metodología. La precisión de esta metodología puede llegar a ser alta debido a que se puede calibrar para las condiciones de peligro y vulnerabilidad de la zona de estudio. La metodología tiene la gran ventaja de que puede ser aplicada rápidamente gracias a la sencillez de datos solicitados y su fácil obtención en campo.

En contraste, la metodología no puede ser aplicada a cualquier tipo de edificio por los siguientes motivos:

- La metodología fue desarrollada para edificios de baja altura (de hasta cinco niveles), por lo que no es aplicable a edificios de mediana o de gran altura. En la figura 3.12.2, se observa la distribución de los 46 edificios de estudio con respecto al número de niveles.

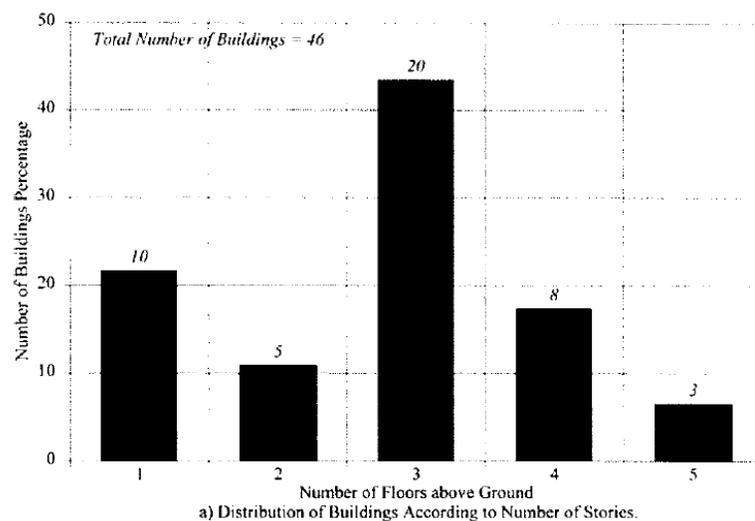


Figura 3.12.2 Distribución de número de niveles en 46 edificios para la calibración de la metodología de Hassan y Sozen (1992)

- La hipótesis de comportamiento asociada a los edificios de estudio fue el mecanismo de falla a cortante, lo cual es atribuible a edificios de baja altura con sistemas estructurales a base de columnas y muros de concreto reforzado con muros de mampostería de relleno, descartando a otros sistemas estructurales y materiales de construcción.
- Los edificios usados en la calibración de la metodología son principalmente edificios escolares, librerías y estaciones de policía de Turquía, los cuales tienen en común una distribución en planta muy simétrica en ambas direcciones de análisis. Lo anterior se observa en la figura 3.12.3, donde se muestra la planta de uno de los edificios analizados.

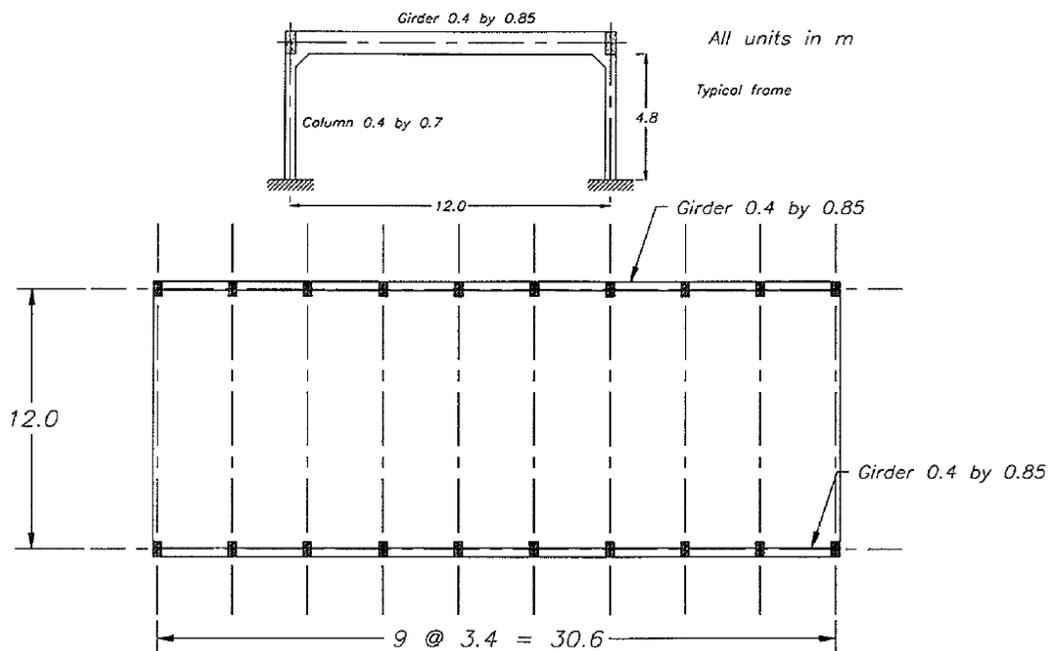


Figura 3.12.3 Configuración tipo de la planta de los edificios empleados en la calibración de la metodología de Hassan y Sozen (1992)

- Los muros de mampostería contribuyen en el comportamiento, pero con el 10% de su área efectiva. Este porcentaje se explica por la incertidumbre que existe en las propiedades de los materiales, la calidad de construcción y el confinamiento. Sin embargo, en edificios que tienen muros de relleno bien estructurados, es posible que este valor subestime su contribución real.
- No existe alguna clasificación de importancia para las estructuras, es decir, el índice *PI* es indistinto con respecto al uso de la estructura, esto es, escuelas, hospitales, estaciones de policía, etc.

3.13 TURQUÍA – METODOLOGÍA DE AHMET YAKUT, 2004

En 2004, Ahmet Yakut de la Universidad Técnica de Medio Oriente (METU por sus siglas en inglés) desarrolló un método de evaluación rápida para edificios de concreto reforzado. Para la calibración de esta metodología se tomó como referencia tres bases de datos que se crearon a raíz de eventos sísmicos distintos y que a su vez fueron usadas para la calibración de otros métodos de evaluación en Turquía. Las bases de datos se detallan a continuación:

a. Base de datos del sismo de Erzincan, 1992

Esta base de datos fue estudiada por Hassan y Sozen (1992) y posteriormente por Gulkan y Sozen (1999). La base está compuesta por 43 edificios públicos de concreto reforzado, con información acerca de las características estructurales y de la resistencia del concreto.

b. Base de datos del sismo de Sultandagi en el distrito de Afyon, 2002

Esta base de datos fue desarrollada por la METU y está integrada por 18 edificios de concreto reforzado. La base dispone de información como el daño, el sistema estructural y las características arquitectónicas.

c. Base de datos del sismo de Bingöl, 2003

Esta base de datos también fue desarrollada por la METU y está integrada por 28 edificios ubicados en diferentes locaciones de la ciudad de Bingöl y con diferentes niveles de daño. A cada edificio se le realizó un levantamiento geométrico, se capturaron fotografías, se hicieron lecturas de GPS y se le asignó un nivel de daño estructural y no estructural con base en las inspecciones visuales

3.13.1 Niveles de análisis

La metodología tiene un nivel de evaluación que, de acuerdo con las consideraciones generales de este documento, corresponde a la fase pre-sismo y al nivel de evaluación de “Nivel 2” (sección 1.1). La metodología emplea cálculos de bajo nivel de complejidad para determinar la vulnerabilidad sísmica del edificio.

3.13.2 Objetivos

El objetivo de esta metodología es estimar rápida y sencillamente, la vulnerabilidad estructural de edificios de baja y mediana altura, mediante procedimientos simples, confiables y prácticos.

3.13.3 Procedimiento

El procedimiento inicia con la estimación de la resistencia a cortante del edificio (aquí denominada como “capacidad”) tomando en cuenta aspectos como: dimensiones, tamaño, orientación y resistencia del concreto de los elementos resistentes a cargas laterales ubicados en la planta baja. Para el cálculo de la capacidad a cortante de la estructura se deben seguir los siguientes pasos:

1. Estimación la capacidad a cortante V_c

La capacidad a cortante para cada elemento depende del área transversal del elemento y de la resistencia del concreto. Para obtener la capacidad a cortante de cada elemento, se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{c_i} = \alpha f_{ctk} b_w h$$

donde:

- α es el factor de reducción por cortante. De acuerdo con el código de Turquía es 0.65 (TSE, 2000).
- f_{ctk} es la resistencia a compresión del concreto, en MPa.
- b_w, h son las dimensiones en planta de los elementos resistentes, en cm.

Cuando no es posible obtener la resistencia del concreto mediante la extracción de corazones, se asignan valores de 8 (80), 12 (120) y 16 (160) MPa (kg/cm^2) para concretos de baja, mediana y alta calidad, respectivamente. Esta clasificación resulta de la inspección visual realizada a los edificios.

Una vez obtenida la capacidad a cortante para cada elemento, se calcula la capacidad a cortante de la estructura para las direcciones principales en planta, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_c = \sum k V_{c_i}$$

Donde:

- k es el factor de dirección.
- $k = \frac{2}{3}$ es para columnas orientadas en el sentido longitudinal.
- $k = \frac{1}{3}$ es para columnas orientadas en el sentido transversal.
- $k = 1$ es para muros en cualquier dirección de análisis.

2. Estimación del cortante basal V_y

Para estimar el cortante basal resistente, se establece una relación entre la capacidad a cortante de la estructura aportada por el concreto (V_c) y el cortante basal (V_y), para ello se hace uso de la siguiente ecuación:

$$V_y = \frac{V_c}{1.4e^{0.065n}}$$

Donde:

- V_y es el cortante basal de la estructura, en kN.
- n es el número de niveles de la estructura.

La ecuación anterior fue obtenida a partir de la respuesta de 40 edificios de baja y mediana altura seleccionados de las bases de datos descritas anteriormente. Para cada edificio se desarrollaron tres

modelos tridimensionales con y sin la inclusión de muros de mampostería de relleno siguiendo las guías de FEMA 273 y el código de Turquía (TSE, 2000). Cada modelo fue sometido a un análisis estático no lineal para obtener la curva de capacidad en las dos direcciones ortogonales. A partir de las curvas de capacidad, se obtuvieron las capacidades a cortante, V_y y V_{ym} . La primera para el caso en el que no se incluyen los muros de mampostería (V_y) y la otra donde sí se incluyen. En la figura 3.13.1, se observa la función que determina la tendencia del cociente entre V_c y V_y .

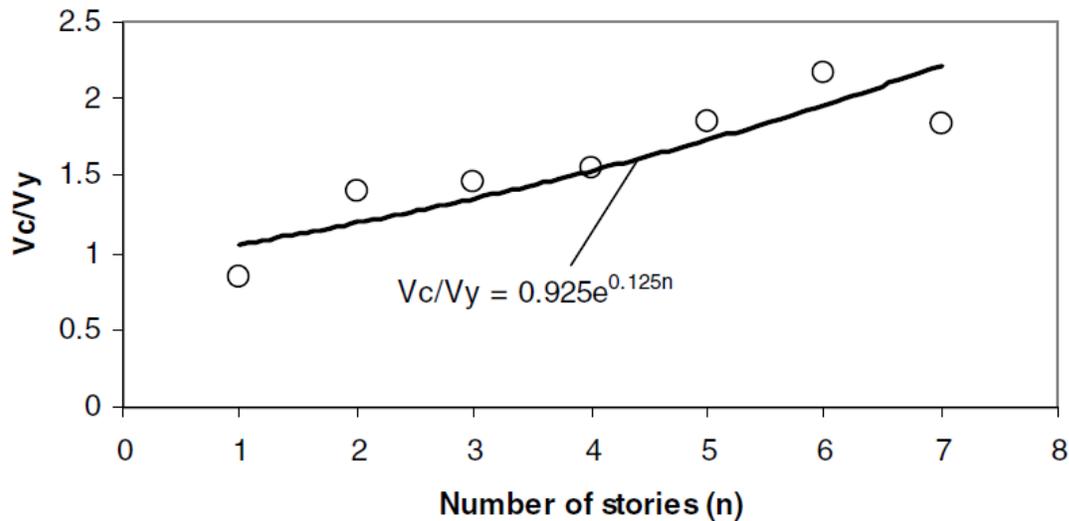


Figura 3.13.1 Cociente entre V_c y V_y para la metodología Ahmet Yakut, 2004

Con base en los resultados de análisis estáticos no lineales aplicados a un grupo de edificios, se propuso tomar en cuenta la contribución de los muros de mampostería sin aberturas. Para estimar el cortante basal resistente considerando el aporte de los muros de mampostería de relleno sin aberturas se emplea la siguiente ecuación.

$$V_{ym} = V_y \left(46 \frac{A_{mw}}{A_{ft}} + 1 \right)$$

Donde:

A_{ft} es el área total en planta baja, m².

A_{mw} es el área total de muros de mampostería sin aberturas, m².

3. Cálculo del índice de capacidad base (BCPI)

El índice de capacidad base (BCPI) es el resultado de dividir V_{ym} entre el cortante basal del código de construcción ($V_{código}$) utilizado en el diseño de edificios. Este valor depende del año de construcción del edificio y es calculado con base en el código de diseño vigente en la época de construcción como:

$$BCPI = \frac{V_{ym}}{V_{código}}$$

El índice $BCPI$ es una medida de la capacidad de resistencia del edificio, por lo que es un buen indicador del desempeño esperado de edificios que no tienen una ductilidad adecuada.

4. Cálculo del índice de capacidad (CPI)

El índice CPI es aplicable a edificios regulares y construidos de conformidad con los códigos de construcción. Para el caso de los edificios con irregularidades en planta y elevación la demanda ante un evento sísmico es amplificada, lo cual puede impactar en el comportamiento de los edificios. Por tal motivo el índice CPI es modificado por dos factores C_A y C_M . Donde C_A corresponde al factor de regularidad, el cual contempla irregularidades en planta y elevación y C_M corresponde al factor de la calidad de la construcción.

$$CPI = C_A C_M BCPI$$

El factor C_A se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$C_A = 1 - 1.5(C_{as} + C_{asc} + C_{ap} + C_{af})$$

En la tabla 3.13.1 se especifica el significado para cada variable y su correspondiente valor.

Tabla 3.13.1 Variables para el cálculo C_A para la metodología Ahmet Yakut, 2004

Simbología	Característica	¿Existe la característica?	
		Sí	No
C_{as}	Planta baja flexible	0.036	0
C_{asc}	Columnas cortas	0.018	0
C_{ap}	Irregularidades en planta	0.019	0
C_{af}	Irregularidades en elevación	0.027	0

El factor C_M depende de la calidad de la construcción. Se asigna un valor de 0.9 para construcciones con mala calidad constructiva, 0.97 para construcciones con calidad constructiva promedio y 1.0 para construcciones con buena calidad.

3.13.4 Resultados

Luego de obtener el índice CPI , se procede a revisar si este valor es mayor o menor a 1.2. Por lo tanto, si el índice CPI es menor a 1.2, el edificio es más vulnerable que aquel cuyo índice CPI sea mayor a 1.2.

3.13.5 Limitaciones y precisión

La metodología Ahmet Yakut (2004) es aplicable a estructuras conformadas por sistemas estructurales a base de elementos de concreto reforzado. Esta metodología se limita a 8 niveles de

altura. Su costo de aplicación es medio, su tiempo de ejecución es medio y requiere de personal con experiencia en diseño sísmico, estructural y geotécnico por lo que se debe prever la necesidad de capacitar adecuadamente a los evaluadores con la finalidad de comprender los fundamentos de la metodología. La precisión de esta metodología puede llegar a ser alta si ha sido calibrada para las condiciones de peligro y vulnerabilidad de la zona de estudio.

Entre las virtudes de la metodología Ahmet Yakut, 2004, destacan: la rapidez de ejecución, la inclusión del aporte de los muros de mampostería a la rigidez lateral y la consideración de las irregularidades estructurales y la calidad constructiva. Sin embargo, la metodología tiene la siguientes limitaciones.

- La calidad constructiva depende de la apreciación del evaluador debido a que no existen más parámetros cuantitativos para determinarla.
- El resultado no permite saber qué tipo ni qué magnitud de daño presentará el edificio, ya que sólo expresa si el edificio es vulnerable ante un evento sísmico. Un mayor refinamiento de los valores no puede llevar a identificar límites que nos permitan discriminar posibles niveles de daño por ser desarrollados por la estructura en estudio.
- La correlación que existe con el daño observado en campo y la vulnerabilidad estimada no es precisa para edificios con daños moderados, no así para edificios con daños nulos/ligeros y severos/colapso. En la figura 3.13.2, se observa que la mayoría de los edificios con daño nulo/ligero se encuentran por arriba del límite de 1.2. Para el caso de los edificios con daño moderado no se puede observar una tendencia clara, mientras que para los edificios con daño severo/colapso sólo tres edificios se encuentran por encima del límite.

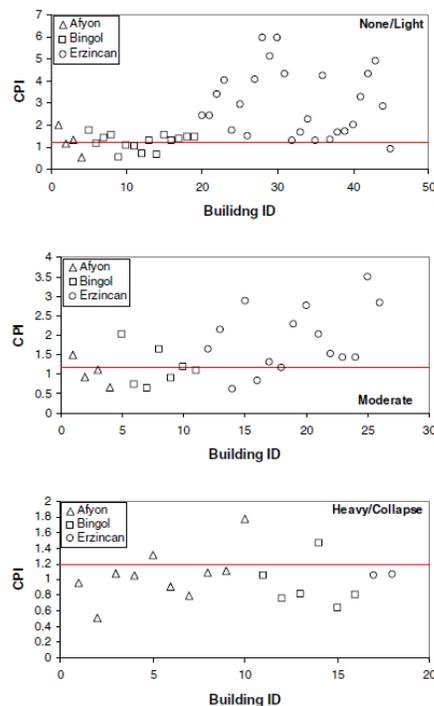


Figura 3.13.2 Distribución del daño comparado con el límite de 1.2 para la metodología de Ahmet Yakut (2004)

3.14 TURQUÍA - METODOLOGÍA DE SUCUOĞLU ET AL., 2007

En 2007, Sucuoğlu y otros, desarrollaron una metodología de evaluación visual rápida (RVS por sus siglas en inglés) que toma en cuenta algunas características que son frecuentemente observables en la mayoría de los edificios en Turquía. Para calibrar la metodología RVS fue empleada la información de una base de datos de 454 edificios dañados de la ciudad de Düzce en 1999.

3.14.1 Niveles de análisis

La metodología RVS tiene un nivel de evaluación que, de acuerdo con las consideraciones generales de este documento, corresponde a la fase pre-sismo y al nivel de evaluación de “Nivel 1” (sección 1.1). La metodología requiere cálculos de bajo nivel de complejidad para determinar el nivel de daño esperado del edificio ante la ocurrencia de un evento sísmico.

3.14.2 Objetivos

El objetivo de esta metodología es determinar el nivel de riesgo y la prioridad de atención de un gran número de edificios a través de parámetros de evaluación sencillos y de fácil obtención en inspecciones realizadas desde banqueta.

3.14.3 Procedimiento

1. Evaluación de características estructurales

Para llevar a cabo la metodología RVS propuesta por Sucuoğlu et al. (2007), se deben hacer inspecciones desde banqueta en las zonas de interés. Cuando se evalúan los edificios, se debe poner atención a cuatro características estructurales, que influyen en el desempeño de los edificios ante un sismo, estas son:

a. Número de niveles

Para el desarrollo de esta metodología, se tomaron en cuenta edificios de baja y mediana altura, los cuales poseen desde uno y hasta seis niveles.

b. Planta baja flexible

Se produce cuando un piso, generalmente la planta baja, tiene menor rigidez y resistencia comparado con los pisos superiores. Esto debido a que comúnmente, la planta baja se destina a estacionamientos, mientras que los niveles superiores son de uso habitacional.

c. Discontinuidad de elementos o grandes entrantes

Esta característica es común en edificios de uso habitacional, y se produce cuando la distribución de muros, columnas u otros elementos verticales no son continuos en elevación. Esto puede deberse a las configuraciones arquitectónicas buscando mayor entrada de luz o aprovechamiento de espacios.

En la figura 3.14.1, se observa un ejemplo de un edificio cuyas características corresponden a las descritas anteriormente. En la figura 3.14.1a se observa que los muros de fachada no llegan a la cimentación y otros no son continuos debido a la presencia de balcones. En la figura 3.14.1b, se observa que la distribución de las columnas en planta no es simétrica y tiene algunos elementos más robustos que otros.

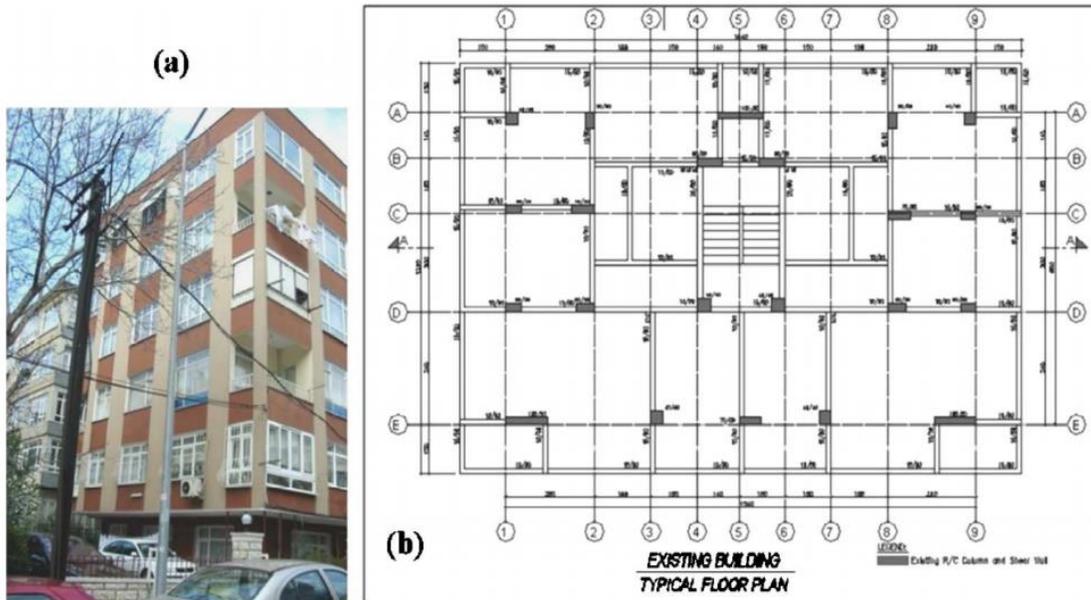


Figura 3.14.1 Edificio con discontinuidades en elevación, a) fachada y b) planta (Metodología de Sucuoğlu et al., 2007)

d. Calidad de la construcción

La calidad de los materiales y de la construcción junto con el mantenimiento del edificio juegan un papel muy importante en el desempeño estructural del edificio. Este factor puede ser clasificado como bueno, promedio y malo por un evaluador con cierta experiencia. Esta clasificación depende de lo observado y de la calidad aparente del edificio.

Una vez identificadas las características estructurales del edificio, es necesario definir los valores de velocidad pico de terreno (PGV por sus siglas en inglés) para un evento sísmico determinado. Dichos valores pueden ser obtenidos de un grupo de sismos históricos registrados en la zona. Para el caso de esta metodología, se tomó un total de 75 registros sísmicos de estaciones localizadas a menos de 30 km de la fuente sísmica y en terreno firme. Los registros fueron agrupados en distintos intervalos de PGV. En la tabla 3.14.1, se pueden observar los grupos de intervalos y la cantidad de registros pertenecientes a cada grupo.

Tabla 3.14.1 Grupos de registros de movimiento de terreno e intervalos de PGV para la metodología de Sucuoğlu et al. (2007)

No. De Grupo	Cantidad de registros	Intervalo de PGV [cm/s]
Grupo I	20	20 a 40
Grupo II	20	40 a 60
Grupo III	20	60 a 80
Grupo IV	15	>80

2. Cálculo del índice de comportamiento esperado de la estructura (EPS)

Para el cálculo del índice *EPS* se emplea la siguiente ecuación:

$$EPS = IPS + SS(X_{SS}) + HO(X_{HO}) + AQ(X_{AQ})$$

donde:

- IPS* índice inicial de comportamiento, que depende del PGV del terreno, (tabla 3.14.2).
SS, HO y AQ coeficientes de vulnerabilidad, (tabla 3.14.2).
X_i modificador de los coeficientes de vulnerabilidad, (tabla 3.14.3).

Tabla 3.14.2 Valores del índice *IPS* y de coeficientes de vulnerabilidad para la metodología de Sucuoğlu et al. (2007)

No. de pisos	<i>IPS</i> , PGV [cm/s]			Coeficientes de vulnerabilidad		
	60 a 80	40 a 60	20 a 40	Piso blando (SS)	Discontinuidad de elementos (HO)	Calidad aparente (AQ)
1 a 3	80	107	138	23	23	9
4	73	91	115	22	30	15
5 y 6	64	76	92	24	33	23

Los valores de la tabla 3.14.2 son aplicables a edificios ubicados en Turquía, ya que los valores de PGV, son específicas para estas regiones. En caso de aplicar la metodología en otras regiones o países se debe calibrar para valores de PGV representativos de la zona analizada.

Tabla 3.14.3 Modificadores de coeficientes de vulnerabilidad para la metodología Sucuoğlu et al. (2007)

Simbología	Característica	Valor		
		Existe		No existe
<i>X_{SS}</i>	Piso blando	-1		0
<i>X_{HO}</i>	Discontinuidad de elementos	-1		0
<i>X_{AQ}</i>	Calidad aparente	Buena (1)	Promedio (0)	Mala (-1)

3.14.4 Resultados

Para definir el nivel de daño de una estructura se compara el índice *EPS* con los valores de la tabla 3.14.4. Dependiendo del intervalo en el que se encuentre, el índice *EPS* corresponde al nivel de daño estructural esperado en el edificio evaluado.

Tabla 3.14.4 Valores del índice *EPS* para la metodología Sucuoğlu et al. (2007)

<i>EPS</i>	Nivel de daño esperado	Valores
N	Nulo	$EPS \geq 75$
L	Ligero	$50 < EPS \leq 75$
M	Moderado	$25 < EPS \leq 50$
S	Severo	$EPS < 25$

3.14.5 Limitaciones y precisión

La metodología Sucuoğlu et al., 2007 es aplicable a estructuras conformadas por sistemas estructurales a base de elementos de concreto reforzado. Esta metodología se limita a 8 niveles. Su costo de aplicación es medio, su tiempo de ejecución es medio y requiere de personal con experiencia en diseño sísmico, estructural y geotécnico por lo que se debe prever la necesidad de capacitar adecuadamente a los evaluadores con la finalidad de comprender los fundamentos de la metodología. La precisión de esta metodología es alta debido a que ha sido calibrada para las condiciones de peligro y vulnerabilidad de la zona de estudio.

Entre las virtudes del método RVS propuesto por Sucuoğlu et al. (2007) destacan la rapidez de ejecución, la baja cantidad de datos solicitados para la evaluación y sencillez del método. Además, el error que se puede tener en la metodología es controlado debido a la certidumbre que aporta el índice *IPS*, el cual fue calibrado con parámetros reales de estructuras típicas de Turquía y con propiedades sísmicas de la región.

Una de las grandes ventajas del método es que puede ser aplicado en otros sitios, ya que a través de procesos estadísticos sobre las vulnerabilidades de los edificios de la región y mediante la obtención de movimientos del terreno cercanos al sitio se puede calibrar el método de forma relativamente sencilla.

3.15 TURQUÍA - METODOLOGÍA DE SUCUOĞLU ET AL., 2015

En 2015, H. Sucuoğlu y otros tomaron como referencia lo desarrollado por (Hassan y Sozen, 1997), (Yakut, 2004) y (Sucuoğlu et al., 2007) para desarrollar una versión modificada de la metodología de evaluación rápida (RVS por sus siglas en inglés). Para calibrar la metodología RVS se empleó la información de seis edificios públicos (hospitales y escuelas), los cuales tienen configuraciones regulares en planta y en elevación.

3.15.1 Niveles de análisis

La metodología RVS tiene un nivel de evaluación que, de acuerdo con las consideraciones generales de este documento, corresponde a la fase pre-sismo y al nivel de evaluación de “Nivel 2” (sección 1.1). La metodología emplea los cálculos de bajo nivel de complejidad para determinar la relación entre la demanda y la capacidad estructural, muchas de ellas, corresponden al reglamento de construcción de Turquía (TMCS, 2007).

3.15.2 Objetivos

El objetivo de la metodología RVS, es asignar a los edificios públicos de Turquía, un índice de riesgo para que, con base en los resultados obtenidos, se tomen decisiones eficientes en cuanto a la inversión de recursos para la rehabilitación.

3.15.3 Procedimiento

La metodología RVS, se basa principalmente en el cálculo del índice de riesgo, que se obtiene a partir de la estimación de la demanda de carga lateral impuesta y de la capacidad de la estructura ante cargas laterales.

1. *Estimación de la demanda*

Para estimar la demanda, es necesario conocer algunas características de la estructura, tales como su periodo fundamental de vibración, el peso total de la estructura y el uso de la estructura.

2. *Periodo fundamental de vibración (T_1)*

Con base en un estudio realizado en 33 edificios públicos de Turquía, se calibró la expresión para estimar el periodo fundamental de vibración (T_1). La expresión depende de la altura total de la estructura en metros (H), de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$T_1 = 0.002 \times H^{2.27}$$

3. *Peso total de la estructura (W)*

El peso total de la estructura se estima con base en los planos estructurales y memorias de cálculo. En caso de no tener acceso a estos documentos se puede suponer una carga distribuida w entre 8 a 10 KN/m^2 . Este intervalo de valores considera la influencia de las cargas gravitacionales y de las cargas vivas.

Para estimar la demanda de fuerza cortante en la base de la estructura (V_s), se emplea la siguiente ecuación:

$$V_s = S_a(T_1) \times I \times W$$

Donde:

$S_a(T_1)$	aceleración espectral en la base calculada para el periodo fundamental de la estructura.
I	factor de importancia. Para hospitales y centros de salud (1.5), escuelas (1.4) y edificios públicos ordinarios (1).
W	peso total de la estructura.

4. Estimación de la capacidad (resistencia)

El comportamiento de las columnas resistentes a cargas laterales puede estar controlada por fallas a flexión o por corte. Para tales efectos se calcula la capacidad (resistencia) a flexión y a cortante de las columnas. El menor valor de ellas controla la respuesta.

5. Capacidad a flexión

La capacidad a flexión de las columnas depende de las cargas axiales presentes en el elemento. Estas cargas axiales son calculadas con base en las cargas gravitacionales actuantes en la estructura. Para el cálculo de la carga axial (N_d) se emplea la siguiente ecuación:

$$N_d = A_{eq} \times n_s \times w$$

Donde:

A_{eq}	área tributaria de la columna analizada, m ² .
n_s	número de niveles sobre nivel de banqueteta.
w	carga gravitacional distribuida.

El cálculo del momento resistente de la columna (M_p) se realiza mediante la ecuación siguiente (Ersoy et al., 2008):

$$M_p = 0.5N_d \left(h - 1.2 \frac{N_d}{f_c b} \right) + 0.5A_{st} f_y (d - d')$$

Donde:

h, b	peralte y ancho de la columna en m.
f_c	resistencia especificada del concreto a compresión, en KN/m ² . Para estructuras en Turquía varía entre 10,000 a 15,000 KN/m ² (100 a 150 kg/cm ²)
A_{st}	área total del acero de refuerzo de la columna en m ² .
f_y	esfuerzo especificado de fluencia del acero en KN/m ² . Para estructuras en Turquía es 220 MPa (2,200 kg/cm ²).
d	peralte efectivo de la columna en m, $d = h - d'$.
d'	recubrimiento de concreto en m, ($d' = 0.03 m$).

La carga lateral que resiste la columna debida a la flexión (V_y) se calcula con la siguiente expresión:

$$V_{yi} = \frac{2M_{pi}}{h_s}$$

Donde:

i es la i -ésima columna.

h_s es la altura de la columna. En columnas cortas se considera el claro libre de la columna, en m.

6. Capacidad a cortante

La capacidad (resistencia) a cortante de las columnas (V_r) depende de la contribución del cortante resistente del concreto (V_c) y del acero de refuerzo transversal (V_s). De tal manera que (V_r) es igual a:

$$V_r = \frac{A_{sw}f_{yw}d}{s} + 0.325f_{ct}bd\phi$$

Donde:

A_{sw} área de acero de refuerzo transversal en m^2 .

f_{yw} esfuerzo de fluencia especificado del acero de refuerzo transversal, en KN/m^2 .

d peralte efectivo de la columna en m, $d = h - d'$.

f_{ct} esfuerzo especificado del concreto en tensión en KN/m^2 , $f_{ct} = 0.1f_c$.

b ancho de la columna en m

$\phi = 1 + 0.07 \frac{N_d}{bd}$.

7. Comparación de capacidad por cortante y por flexión

Una vez obtenidos V_{yi} y V_{ri} para cada columna, se comparan estos valores y se toma el menor de ambos, tal que la capacidad de la columna ante cargas laterales (V_i) es igual a:

$$V_i = \min(V_{yi}, V_{ri})$$

8. Cálculo de la resistencia del edificio (V_b)

La resistencia global de la estructura ante cargas laterales se calcula como la suma de la resistencia de cada columna (V_i):

$$V_b = \sum V_i$$

Como se observa en la sección 3.9, en el método propuesto por A. Yakut (2004), la capacidad de resistir cargas laterales de un edificio puede aumentar gracias al aporte en la rigidez lateral de los muros de relleno de mampostería. Por ello se emplea la misma ecuación para obtener (V_{bw}):

$$V_{bw} = V_b \left(46 \frac{A_{mw}}{A_{tf}} + 1 \right)$$

3.15.4 Resultados

Una vez determinadas la demanda y la capacidad ante fuerzas laterales, se procede a la obtención del índice de riesgo (RI), el cual se obtiene dividiendo la demanda de cortante entre la capacidad de cortante de la estructura, como:

$$RI = \frac{V_s}{V_{bw}}$$

En la tabla 3.15.1, se muestran niveles de daño relacionados a los intervalos de RI .

Tabla 3.15.1 Valores del índice RI para la metodología de Sucuoğlu et al. (2015)

Nivel de daño esperado	Intervalo
Desempeño aceptable, riesgo bajo	$RI < 2$
Algunos daños, riesgo de colapso bajo	$2 < RI < 4$
Riesgo alto	$RI > 4$

3.15.5 Limitaciones y precisión

La metodología de Sucuoğlu et al., 2015 es aplicable a estructuras conformadas por sistemas estructurales a base de elementos de concreto reforzado. Esta metodología se limita a 8 niveles. Su costo de aplicación es medio, su tiempo de ejecución es medio y requiere de personal con experiencia en diseño sísmico, estructural y geotécnico por lo que se debe prever la necesidad de capacitar adecuadamente a los evaluadores con la finalidad de comprender los fundamentos de la metodología. La precisión de esta metodología es alta debido a que ha sido calibrada para las condiciones de peligro y vulnerabilidad de la zona de estudio.

Entre las virtudes de la metodología RVS propuesto por Sucuoğlu et al. (2015) destacan la rapidez de ejecución, la baja cantidad de datos solicitados para la evaluación y la sencillez del método. Sin embargo, la metodología presenta algunas limitaciones, las cuales se mencionan a continuación:

- La metodología es aplicable a sistemas estructurales a base de muros y columnas de concreto reforzado con muros de mampostería de relleno, descartando a otros sistemas estructurales y materiales de construcción.
- Los edificios utilizados en la calibración de la metodología son principalmente edificios escolares, librerías y estaciones de policía de Turquía, los cuales tienen en común una distribución en planta muy simétrica en las direcciones ortogonales del edificio. Lo anterior se observa en la figura 3.15.1, donde se presenta la planta de uno de los edificios analizados.

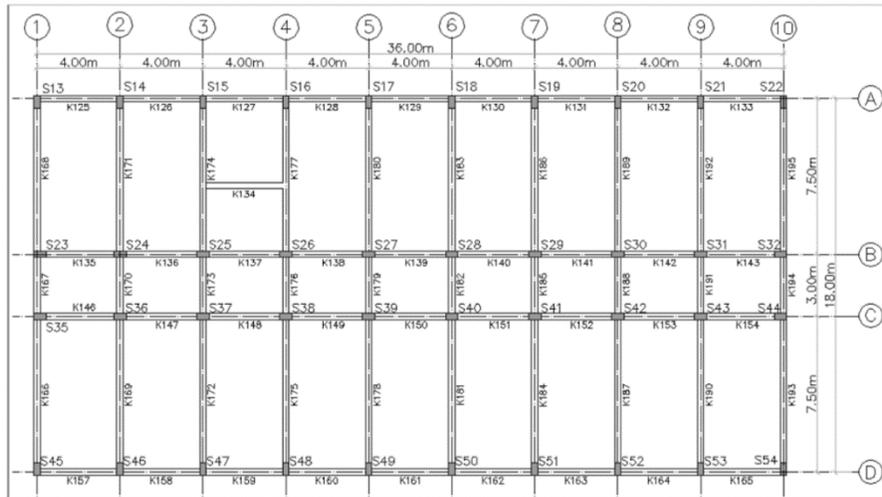


Figura 3.15.1 Plano en planta de un edificio empleado en la metodología de Sucuoğlu et al. (2015)

Espacio dejado intencionalmente en blanco

CAPÍTULO 4

COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS ESTUDIADAS

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se comparan las metodologías estudiadas de acuerdo con el tipo de presentación (formato en papel o solución informática), el tipo de estructuras aplicables, los atributos solicitados, los niveles de seguridad, de daño o de vulnerabilidad, el nivel de pericia y de conocimiento requerido de los evaluadores, el tiempo de ejecución y los costos relativos.

4.2 POR TIPO DE PRESENTACIÓN

En la tabla 4.2.1 se compara el tipo de presentación que se emplea en las metodologías, es decir, si para desarrollar la metodología se requiere del llenado de un formato de inspección del que directamente se obtienen resultados ya sea de forma cualitativa o cuantitativa a partir de cálculos aritméticos, o bien de la resolución de cálculos matemáticos (ecuaciones) en algún programa de cómputo.

Como se aprecia, los que requieren de un formato son, en general, los métodos de evaluación tras la ocurrencia de un sismo, para ser aplicables en horas después de la ocurrencia del fenómeno. Es el caso de las metodologías II UNAM/SMIS/SOS, CICM, ISC-CDMX, ATC-20 y MBIE.

Espacio dejado intencionalmente en blanco

Tabla 4.2.1 Comparación por tipo de presentación

Metodología	Tipo de presentación	
	Formato	Programa
México		
II UNAM / SMIS / SOS, 1995	x	
CICM, 2011	x	
ISC-CDMX, 2019	x	
CENAPRED, 2011	x	
UAM, 1987		x
UAM, 2009		x
UAM, 2012		x
USA		
ATC-20, 2005	x	
FEMA P-154, 2015	x	
Grecia		
Demartinos y Dritsos, 2006		x
Pardalopoulos et al., 2013		x
Pardalopoulos et al., 2018	x	x
Pardalopoulos y Pantazopoulou, 2019		x
Pardalopoulos y Lekidis, 2019		x
India		
Jain et al., 2010		x
Japón		
JBDPC, 2005		x
Nueva Zelanda		
MBIE, 2014	x	
Turquía		
Hassan y Sozen, 1997		x
Ahmet Yakut, 2004		x
Sucuoğlu et al., 2007		x
Sucuoğlu et al., 2015		x

4.3 POR TIPO DE MÉTODO

En la tabla 4.3.1 se comparan las metodologías por tipo de método empleado, específicamente para aquellas que son cuantitativas y que involucran cálculos aritméticos o matemáticos de acuerdo con lo descrito en el inciso anterior, esto es:

1. Métodos basados en una calificación base, dependiente del tipo de estructura, modificada por factores multiplicativos para tomar en cuenta irregularidades y vulnerabilidades estructurales.
2. Métodos basados en una calificación base, dependiente del tipo de estructura, modificada por factores aditivos para tomar en cuenta irregularidades y vulnerabilidades estructurales.
3. Métodos basados en el cálculo de la resistencia a fuerzas laterales de componentes y de la estructura completa, modificada por irregularidades y vulnerabilidades, que se compara con una demanda de resistencia.
4. Métodos similares a 3) que incluyen, además, una revisión de la demanda de rigidez en comparación con la capacidad existente.
5. Métodos que involucran funciones paramétricas que, a través de lógica difusa, determinan una demanda de resistencia.

Espacio dejado intencionalmente en blanco

Tabla 4.3.1 Comparación por tipo de método

Metodología	Tipo de método				
	1	2	3	4	5
México					
II UNAM / SMIS / SOS, 1995 (ER)	NA	NA	NA	NA	NA
II UNAM / SMIS / SOS, 1995 (ED)	NA	NA	NA	NA	NA
CICM, 2011	NA	NA	NA	NA	NA
ISC-CDMX, 2019	NA	NA	NA	NA	NA
CENAPRED, 2011	NA	NA	NA	NA	NA
UAM, 1987 (N1)		x			
UAM, 1987 (N2)	x				
UAM, 2009	x				
UAM, 2012		x			
USA					
ATC-20, 2005 (ER)	NA	NA	NA	NA	NA
ATC-20, 2005 (ED)	NA	NA	NA	NA	NA
FEMA P-154, 2015 (N1)		x			
FEMA P-154, 2015 (N2)		x			
Grecia					
Demartinos y Dritsos, 2006					x
Pardalopoulos et al., 2013				x	
Pardalopoulos et al., 2018				x	
Pardalopoulos y Pantazopoulou, 2019				x	
Pardalopoulos y Lekidis, 2019				x	
India					
Jain et al., 2010			x		
Japón					
JBDPC, 2005 (N1)		x			
JBDPC, 2005 (N2)		x			
JBDPC, 2005 (N3)		x			
Nueva Zelanda					
MBIE, 2014 (ER)	NA	NA	NA	NA	NA
MBIE, 2014 (N1)	NA	NA	NA	NA	NA
MBIE, 2014 (N2)	NA	NA	NA	NA	NA
Turquía					
Hasan y Sozen, 1997			x		
Ahmet Yakut, 2004	x				
Sucuoğlu et al., 2007			x		
Sucuoğlu et al., 2015			x		

4.4 POR TIPO DE ESTRUCTURAS APLICABLES

En la tabla 4.4.1 se comparan las metodologías por tipo de estructura aplicable, principalmente por el tipo de material de los elementos resistentes a cargas laterales, es decir, si es para edificios con elementos como columnas o muros de concreto, acero o mampostería. Cuando se especifica mampostería, se refiere a los muros de relleno en edificios de concreto. Aunque en algunos casos la metodología puede ser aplicada a edificios con otro tipo de material, en esta sección, únicamente se especifican los materiales descritos anteriormente ya que éstos son los que comúnmente se emplean en la construcción mexicana. Adicionalmente se especifica si se requiere que el edificio sea de baja o mediana altura (hasta 10 niveles) o si en su defecto, el número de niveles es indistinto.

De la tabla se observa que los métodos de evaluación post-sísmica inmediata son aplicables para cualquier tipo de material y número de pisos. Aquellos que requieren de algún cálculo posterior para determinar el nivel posible de daño, o incluso de colapso, están limitados a cierto número de niveles, en función de la calibración realizada.

Espacio dejado intencionalmente en blanco

Tabla 4.4.1 Comparación por tipo de estructura aplicable

Metodología	Tipo de estructura aplicable				
	Material			Altura / Número de niveles	
	Concreto	Acero	Mampostería	Baja o mediana	Indistinto
México					
II UNAM / SMIS / SOS, 1995	X	X	X		X
CICM, 2011	X	X	X		X
ISC-CDMX, 2019	X	X	X		X
CENAPRED, 2011	X	X	X		X
UAM, 1987	X		X	X	
UAM, 2009	X		X	X	
UAM, 2012	X		X	X	
USA					
ATC-20, 2005	X	X	X		X
FEMA P-154, 2015	X	X	X		X
Grecia					
Demartinos y Dritsos, 2006	X		X	X	
Pardalopoulos et al., 2013	X		X	X	
Pardalopoulos et al., 2018	X		X	X	
Pardalopoulos y Pantazopoulou, 2019	X		X	X	
Pardalopoulos y Lekidis, 2019	X		X	X	
India					
Jain et al., 2010	X			X	
Japón					
JBDPC, 2005	X			X	
Nueva Zelanda					
MBIE, 2014	X	X	X		X
Turquía					
Hassan y Sozen, 1997	X		X	X	
Ahmet Yakut, 2004	X			X	
Sucuoğlu et al., 2007	X			X	
Sucuoğlu et al., 2015	X			X	

4.5 POR TIPO DE ATRIBUTOS SOLICITADOS

En la tabla 4.5.1 se presenta la comparación por tipo de atributos solicitados. Para este fin se especifican los siguientes atributos que pueden encontrarse en cada metodología en menor o mayor detalle:

1. Información general de la inspección
2. Ubicación del edificio
3. Uso
4. Año de construcción
5. Sistema estructural
6. Configuración en planta
7. Configuración en elevación
8. Propiedades de materiales
9. Distribución de elementos
10. Secciones de elementos
11. Detallamiento de elementos
12. Irregularidad en planta
13. Irregularidad en elevación
14. Otras vulnerabilidades estructurales (columnas cortas, por ejemplo)
15. Cimentación
16. Zona geotécnica
17. Peligros geotécnicos
18. Condiciones de mantenimiento y deterioro
19. Rehabilitación previa
20. Daño estructural
21. Daño no estructural
22. Recomendaciones
23. Croquis

En general, los métodos de “Nivel 1”, diseñados para identificar el nivel de ocupación de un edificio según su nivel de año, requieren la toma de pocos datos. Los métodos para aplicación desde banqueta demandan menos datos, si bien son más aproximados.

Aquéllos que permitan determinar algún nivel de seguridad (como resistencia de elementos estructurales, cortante basal resistente, etc.) necesitan una mayor cantidad de datos. Este sería el caso de los métodos apropiados para “Nivel 2” o bien “Nivel 1 – Detallado”. Llamen la atención los métodos japoneses que requieren de más datos sobre la configuración estructural que los demás para niveles de evaluación comparables. Esto se explica porque los métodos japoneses parten de un valor básico de la resistencia que es modificado por una serie de factores que dependen de la configuración estructural.

Tabla 4.5.1 Comparación por atributos solicitados

Metodología	Tipo de atributos																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
México																							
II UNAM / SMIS / SOS, 1995 (ER)	x	x	x				x									x	x			x	x	x	
II UNAM / SMIS / SOS, 1995 (ED)	x	x	x	x	x							x	x		x				x	x	x		x
CICM, 2011	x	x	x				x									x	x			x	x	x	
ISC-CDMX, 2019	x	x	x	x			x									x	x			x	x	x	
CENAPRED, 2011	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x	x		x	x	x		x
UAM, 1987 (N1)		x			x	x	x					x	x			x	x	x					
UAM, 1987 (N2)		x		x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x	x		x	x		
UAM, 2009		x		x	x	x	x	x		x		x	x	x		x	x	x	x	x			
UAM, 2012		x		x	x	x	x					x	x	x		x	x	x	x	x			
USA																							
ATC-20, 2005 (ER)	x	x	x		x		x										x			x	x	x	
ATC-20, 2005 (ED)	x	x	x		x		x										x			x	x	x	x
FEMA P-154, 2015 (N1)	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x		x	x	x		x	x	x	x
FEMA P-154, 2015 (N2)	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x		x	x	x		x	x	x	x
Grecia																							
Demartinos y Dritsos, 2006		x		x	x	x	x		x			x	x	x		x	x	x		x	x		
Pardalopoulos et al., 2013		x			x	x	x	x	x	x	x					x							
Pardalopoulos et al., 2018		x			x	x	x	x	x	x	x					x							
Pardalopoulos y Pantazopoulou, 2019		x			x	x	x	x	x	x	x					x							
Pardalopoulos y Lekidis, 2019 (RSA)		x			x	x	x	x	x	x	x					x							
Pardalopoulos y Lekidis, 2019 (2N)		x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x					
India																							

Jain et al., 2010	x	x	x	x					x	x	x		x		x	
Japón																
JBDPC, 2005 (N1)	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x
JBDPC, 2005 (N2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
JBDPC, 2005 (N3)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
Nueva Zelanda																
MBIE, 2014 (ER)	x	x	x	x	x									x		x
MBIE, 2014 (N1)	x	x	x	x	x									x		x
MBIE, 2014 (N2)	x	x	x	x	x									x		x
Turquía																
Hassan y Sozen, 1997				x	x			x	x							x
Ahmet Yakut, 2004	x			x	x	x	x	x	x		x	x	x			
Sucuoğlu et al., 2007	x			x	x	x					x	x	x		x	
Sucuoğlu et al., 2015	x	x		x	x	x	x	x	x	x				x		

Espacio dejado intencionalmente en blanco

4.6 POR TIPO DE RESULTADOS OBTENIDOS

En la tabla 4.6.1 se presenta la comparación de metodologías de evaluación por tipo de resultados obtenidos, es decir, si lo que se obtiene al finalizar la metodología es el nivel de funcionalidad o de ocupación, el nivel de vulnerabilidad (expresado directa o indirectamente como la probabilidad de que la estructura sufra un nivel de daño establecido según una demanda sísmica) o el nivel de riesgo asociado al daño del edificio. El nivel de riesgo se entiende como una medida del efecto de un sismo, expresado en unidades monetarias, en el caso de pérdidas directas o indirectas; en unidades de tiempo, para medir la interrupción de actividades que incluyen las propias de la rehabilitación, o de pérdidas humanas, si lo que interesa es medir el impacto en términos de muertes o heridos promedio.

Como se aprecia en la tabla, los métodos de evaluación post-sísmica inmediata, buscan establecer si el edificio se puede ocupar o no. Su nivel de seguridad (vulnerabilidad o riesgo, según el caso) se determina mediante procedimientos de nivel superior.

Espacio dejado intencionalmente en blanco

Tabla 4.6.1 Comparación por tipo de resultados obtenidos

Metodología	Tipo de resultados obtenidos		
	Funcionalidad	Vulnerabilidad	Daño esperado
México			
II UNAM / SMIS / SOS, 1995	x		
CICM, 2011	x		
ISC-CDMX, 2019	x		
CENAPRED, 2011	NA	NA	NA
UAM, 1987		x	
UAM, 2009		x	
UAM, 2012		x	
USA			
ATC-20, 2005	x		
FEMA P-154, 2015		x	
Grecia			
Demartinos y Dritsos, 2006			x
Pardalopoulos et al., 2013			x
Pardalopoulos et al., 2018			x
Pardalopoulos y Pantazopoulou, 2019			x
Pardalopoulos y Lekidis, 2019			x
India			
Jain et al., 2010			x
Japón			
JBDPC, 2005		x	
Nueva Zelanda			
MBIE, 2014	x		
Turquía			
Hassan y Sozen, 1997		x	
Ahmet Yakut, 2004		x	
Sucuoğlu et al., 2007			x
Sucuoğlu et al., 2015			x

4.7 POR TIPO DE PERFIL DE EVALUADORES

En la tabla 4.7.1 se comparan las metodologías según el tipo de perfil que deben tener los evaluadores. Para tales fines se define el nivel de pericia y conocimiento del evaluador y el nivel de la capacitación que se debe prever para socializar las metodologías. En este sentido se espera que como mínimo la pericia y el conocimiento del evaluador se encuentre en intervalos entre medio (estudiante avanzado de la licenciatura de ingeniería civil, arquitectura o equivalente) y alto (profesionista titulado, de preferencia con maestría), y que la capacitación de las metodologías sea básica en el caso de las metodologías que emplean formatos y avanzada cuando se resuelven ecuaciones.

Espacio dejado intencionalmente en blanco

Tabla 4.7.1 Comparación por tipo de perfil de evaluadores

Metodología	Tipo de perfil de evaluadores			
	Pericia y conocimiento		Capacitación	
	Medio	Alto	Básica	Avanzada
México				
II UNAM / SMIS / SOS, 1995	x		x	
CICM, 2011	x		x	
ISC-CDMX, 2019	x		x	
CENAPRED, 2011	x		x	
UAM, 1987		x		x
UAM, 2009		x		x
UAM, 2012		x		x
USA				
ATC-20, 2005	x		x	
FEMA P-154, 2015	x		x	
Grecia				
Demartinos y Dritsos, 2006		x		x
Pardalopoulos et al., 2013		x		x
Pardalopoulos et al., 2018		x		x
Pardalopoulos y Pantazopoulou, 2019		x		x
Pardalopoulos y Lekidis, 2019		x		x
India				
Jain et al., 2010		x		x
Japón				
JBDPC, 2005		x		x
Nueva Zelanda				
MBIE, 2014	x		x	
Turquía				
Hassan y Sozen, 1997		x		x
Ahmet Yakut, 2004		x		x
Sucuoğlu et al., 2007		x		x
Sucuoğlu et al., 2015		x		x

4.8 POR TIEMPO DE EJECUCIÓN Y COSTOS RELATIVOS

En la tabla 4.8.1 se comparan las metodologías de conformidad con el tiempo de ejecución. El tiempo de ejecución en este análisis está contemplado desde la inspección del edificio de donde se extraen los datos del edificio hasta la obtención de resultados.

En la tabla 4.8.2 se presenta la comparación por costo relativo al más económico. El costo de las metodologías implica factores como el tiempo de obtención de resultados, la complejidad de la metodología, y el nivel de pericia y conocimiento del evaluador.

Como es de esperarse, los métodos de evaluación post-sísmica inmediata implican una revisión más rápida y somera, de aspectos muy generales del edificio que requieren personal con preparación mínima equivalente a la de un alumno de licenciatura de ingeniería civil, arquitectura o equivalente. Conforme los métodos se basan en el ejercicio del juicio profesional o en cálculos, se propone que el personal involucrado sea titulado y, de preferencia, con grado de maestría.

Espacio dejado intencionalmente en blanco

Tabla 4.8.1 Comparación por tiempo de ejecución

Metodología	Tiempo de ejecución	
	Minutos	Horas
México		
II UNAM / SMIS / SOS, 1995	x	
CICM, 2011	x	
ISC-CDMX, 2019	x	
CENAPRED, 2011	x	
UAM, 1987		x
UAM, 2009		x
UAM, 2012		x
USA		
ATC-20, 2005	x	
FEMA P-154, 2015	x	
Grecia		
Demartinos y Dritsos, 2006		x
Pardalopoulos et al., 2013		x
Pardalopoulos et al., 2018		x
Pardalopoulos y Pantazopoulou, 2019		x
Pardalopoulos y Lekidis, 2019		x
India		
Jain et al., 2010		x
Japón		
JBDPC, 2005		x
Nueva Zelanda		
MBIE, 2014	x	
Turquía		
Hassan y Sozen, 1997		x
Ahmet Yakut, 2004		x
Sucuoğlu et al., 2007		x
Sucuoğlu et al., 2015		x

Tabla 4.8.2 Comparación por costo relativo

Metodología	Costo relativo		
	Bajo	Medio	Alto
México			
II UNAM / SMIS / SOS, 1995	x		
CICM, 2011	x		
ISC-CDMX, 2019	x		
CENAPRED, 2011	x		
UAM, 1987		x	
UAM, 2009		x	
UAM, 2012		x	
USA			
ATC-20, 2005	x		
FEMA P-154, 2015	x		
Grecia			
Demartinos y Dritsos, 2006		x	
Pardalopoulos et al., 2013			x
Pardalopoulos et al., 2018			x
Pardalopoulos y Pantazopoulou, 2019			x
Pardalopoulos y Lekidis, 2019			x
India			
Jain et al., 2010		x	
Japón			
JBDPC, 2005		x	
Nueva Zelanda			
MBIE, 2014	x		
Turquía			
Hassan y Sozen, 1997		x	
Ahmet Yakut, 2004		x	
Sucuoğlu et al., 2007		x	
Sucuoğlu et al., 2015		x	

CAPÍTULO 5

RECOMENDACIONES PARA UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN POST-SÍSMICA EN MÉXICO

5.1 INTRODUCCIÓN

Una de las áreas de oportunidad detectadas tras los sismos de 2017 fue el desarrollo e implantación de una metodología de evaluación post-sísmica (MEPS) de aplicación nacional. En este capítulo, a partir de la revisión de las distintas metodologías a nivel mundial y de la experiencia mexicana en sismos pasados presentadas en los Capítulos 2 y 3, y su comparación en el Capítulo 4, se definen los objetivos y se proponen las características básicas que debe tener una metodología de evaluación post-sísmica (MEPS) actualizada para México.

5.2 OBJETIVOS

5.2.1 Preguntas por responder por la metodología de evaluación

Los objetivos de una metodología de evaluación post-sísmica se pueden determinar a partir de las preguntas que se considera que deben ser respondidas por la metodología. Estas preguntas pretenden recoger las dudas y cuestionamientos de la comunidad educativa: los usuarios (alumnos, maestros, personal administrativo), directivos (directores, supervisores, etc.) y padres de familia tras un sismo. Si este proceso inductivo se acepta, enseguida se plantean algunas preguntas, en forma secuencial al proceso de investigación de la seguridad estructural tras un sismo.

- Una primera serie de preguntas sería como:
 - A. En atención a las condiciones (peligros y amenazas) del entorno del edificio evaluado, ¿se puede usar total o parcialmente? ¿se puede ocupar y usar el edificio?
 - B. De acuerdo con el nivel de daño en el edificio evaluado, ¿se puede ocupar y usar el edificio?

Si la respuesta es afirmativa implica que las condiciones exteriores y el propio edificio son suficientemente seguras para permitir el uso de las instalaciones. Este sería el propósito de una metodología de Nivel 1.

Otra pregunta sería:

- C. ¿En qué caso conviene que el Nivel 1 sea más detallado?
- En caso de que las respuestas a A y B sean negativas, mientras el ingreso del edificio queda condicionado o prohibido, según el caso, surgen otras preguntas:

- D. En caso de duda o de necesidad de más información, ¿conviene que el grupo de inspectores presentes realicen una revisión más profunda y detallada para confirmar su decisión o bien para cambiarla?
- E. ¿O que este nivel de revisión más profundo y detallado sea desarrollado en días siguientes, ya sea por el mismo grupo de inspectores o por otro?
- F. Aún si la respuestas a A y B son afirmativas, ¿conviene que los inspectores realicen una revisión más detallada del entorno externo y del interior del edificio, en especial si el detalle del(os) edificio(s) no se ha incluido en las bases de datos del Sistema de Información?

Si la respuesta de cualquiera de las preguntas D a F es positiva, apunta a una revisión más profunda y detallada de Nivel 2. En ella se harán cálculos de resistencias, rigideces, etc. a partir de datos recolectados en campo por el grupo de inspectores *ad hoc*.

- De nuevo, como resultado de la evaluación del Nivel 2, surgen otras interrogantes:
- G. ¿Cuándo se requiere un Nivel 3 de evaluación? ¿Desde el Nivel 1? ¿Como resultado del Nivel 2?
- H. Mientras se desarrolla la evaluación Nivel 3, ¿se puede usar el edificio evaluado? ¿el resto de los edificios? ¿los patios y demás instalaciones?

5.2.2 Objetivos de una metodología de evaluación

De acuerdo con las interrogantes planteadas arriba, se proponen que los objetivos de una metodología de evaluación post-sísmica sean:

- Identificar, en poco tiempo, las edificaciones sin daño de modo que puedan ser ocupadas sin restricción.
- Distinguir las edificaciones con daño estructural y/o no estructural que, por su baja intensidad y distribución, hagan que su ocupación quede condicionada o prohibida.
- Especificar las edificaciones que deben ser evaluadas, subsecuentemente, mediante técnicas y procedimientos más elaborados.
- Comunicar a los usuarios el resultado y consecuencias de una evaluación, así como los alcances y tiempos de las siguientes acciones.
- Informar a las autoridades correspondientes el resultado y consecuencias de una evaluación, de modo que éstas asuman la coordinación de las acciones subsecuentes.

5.3 PROPUESTA CONCEPTUAL DE UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN POST-SÍSMICA DE EDIFICIOS EN MÉXICO

Se propone que la MEPS sea de tipo multinivel, de modo que, la fase post-sismo de esta metodología esté constituida por tres niveles de evaluación (Nivel 1, Nivel 2, y Nivel 3) que se aplicarían secuencialmente en momentos distintos después de un sismo. A su vez estos niveles de evaluación se dividen en dos métodos en función del número de pisos (Simplificado y Detallado)

5.3.1 Nivel N1 – Evaluación Rápida

Se propone que el nivel N1 sea de aplicación rápida y simple, desde banqueta y se aplique entre 10 y 15 minutos por edificio. La brigada se conformará por equipos de dos personas, quienes no requieren ser profesionistas titulados ingenieros, pero deben conocer aspectos básicos de configuración estructural. Este proceso de inspección se denominará “Evaluación Rápida”.

Se empleará el uso de formatos, de preferencia electrónicos, que permitan evaluar de manera muy gruesa la vulnerabilidad de la edificación a partir de sus componentes más importantes como componentes estructurales, componentes no estructurales, propiedades de materiales y condiciones de sitio.

Estará basado en las características del sistema resistente a fuerzas laterales por lo que deberá incluir aquellas variables que determinan la vulnerabilidad de las edificaciones, entre ellas:

- Número de pisos
- Irregularidades en planta
- Irregularidades en elevación
- Edad
- Interacción con edificios adyacentes
- Presencia de sótanos
- Ubicación (peligro sísmico)
- Mantenimiento (filtraciones, desconchamiento de concreto, corrosión), como medida de la calidad de la construcción.

Las variables anteriores y las que se encuentren relevantes, se calibrarán a partir del tipo de daño observado en 1957, 1985 y 2017, en edificaciones en general, y en escuelas, en particular.

Como resultado de este Nivel se llenará un Aviso con los datos básicos del edificio evaluado, el resultado de la evaluación. Este Aviso se adherirá en la entrada del edificio. Cuando se trate de un grupo de edificios que pertenecen al mismo conjunto habitacional o escuela, un resumen del estado del conjunto se adherirá en la puerta principal.

5.3.2 Nivel N2 – Evaluación Intermedia

Se propone que el nivel N2 se practique entrando al edificio para lo cual debe hacerse un levantamiento somero de la geometría del edificio, en especial del sistema resistente a fuerzas verticales y laterales. Este levantamiento tomará un par de horas, aproximadamente. Se recomienda que las brigadas estén conformadas por equipos de dos personas, quienes deben ser ingenieros y/o arquitectos o equivalentes, de preferencia y tener conocimientos del fundamento de la metodología de nivel N2. A este proceso de evaluación se le denominará “Evaluación Intermedia”.

El nivel N2 será calibrado a partir de daños en edificios de baja y mediana altura tras los sismos de 1957, 1985 y 2017, en función de su disponibilidad, y estará basado en cálculos relativamente sencillos que ofrezcan una idea aproximada de la seguridad estructural del edificio. Estos cálculos se harán en gabinete. En el caso de escuelas, se propone sistematizar los cálculos para edificios prototipo del CAPFCE/INIFED.

5.3.3 Nivel N1' (N1+N2)

Cuando se trate de edificios del grupo A resulta conveniente realizar simultáneamente en una misma inspección los niveles N1 y N2. Esto implica que la evaluación se haga ingresando a la escuela. Se plantea lo anterior debido a que, si pensamos en la visita a un edificio o una escuela en una comunidad remota, no será posible regresar a realizar la evaluación de nivel N2 como se haría en una ciudad. En el caso de una ciudad, por el uso de las escuelas como albergue y la presión social de usar la escuela, también conviene que la evaluación sea más profunda. El propósito de este nivel de evaluación es identificar:

- Si se puede utilizar o si se puede acceder a ella con alguna restricción.
- El nivel de daño para fines estadísticos y de atención a la emergencia.
- La necesidad de demoler un edificio.
- Si se puede usar como albergue o no.

Si la estructura presenta daños ligeros o moderados, y se puede ingresar a la escuela, se propone aplicar una evaluación equivalente a la del nivel N2. Si la estructura tiene daños moderados a severos, se propone aplicar una evaluación equivalente a la del nivel N3 simplificada en primera instancia y detallada en lo posterior.

Se deberá calibrar para estructuras de mampostería, de concreto y de acero. Se realizarán calibraciones para las mismas estructuras cuando tienen más de 4 niveles.

5.3.4 Nivel N3 – Evaluación Profunda

Se propone que el nivel N3 corresponda a un estudio profundo de la edificación en el que se deberá revisar el comportamiento sísmico de la estructura con base en análisis estructurales simplificados para edificios tipo de mampostería y de concreto, y detallados para los restantes, conforme lo indican los reglamentos locales o en su defecto el de la Ciudad de México. El resultado de este análisis permitirá identificar aquellas estructuras que tienen la posibilidad de ser rehabilitadas o que en su defecto deben ser demolidas. A este proceso de evaluación se le denomina “Evaluación Profunda”.

5.4 METODOLOGÍAS APROPIADAS PARA MÉXICO

En las tablas 5.4.1 y 5.4.2 se presentan las metodologías más apropiadas para iniciar la calibración de los distintos de evaluación de la metodología EPS. Esta selección se fundamenta con base en las comparaciones entre las metodologías del estado del arte realizadas en el Capítulo 4 y las necesidades mexicanas.

Para la metodología de Nivel 1 – Evaluación Rápida se propone adoptar el esquema de la metodología MBIE de Nueva Zelanda que emplea un formato de inspección para registrar información del edificio y etiqueta a la estructura de acuerdo con la funcionalidad y nivel de daño después de un sismo. Puesto que la metodología no depende de ningún cálculo y se puede estimar como una metodologías subjetiva, se propone revisar el procedimiento de evaluación de la metodología FEMA P-154 de los Estados Unidos de América. En ella se asignan valores numéricos a las características de

estructuración, irregularidad, vulnerabilidad y daño y posteriormente, a través de cálculos aritméticos, determinar la clasificación de seguridad del edificio.

Para la metodología de Nivel 2 – Evaluación Intermedia se propone emplear una combinación de varias metodologías que involucran atributos relevantes para clasificar idóneamente el nivel de vulnerabilidad de una estructura y consecuentemente la posibilidad de experimentar daños. En el caso de las metodologías que usan métodos tipo 1 y 2 de acuerdo con la sección 4.3 (UAM o JBDDPC, por ejemplo), si bien los factores tienen sentido en cuanto a los conceptos, los valores de estos factores obedecen a calibraciones de resultados de campo, más que a valores con sustento teórico. Por tal razón se propone usar metodologías que usan métodos tipo 3 y 4 que están fundamentadas en conceptos básicos de mecánica de materiales y de comportamiento estructural. Para el método simplificado se propone calibrar una metodología que resulte de la combinación entre las metodologías de Hassan y Sozen y Sucuoğlu, mientras que para el método detallado se propone calibrar la metodología de Pardalopoulos y Lekidis.

El objetivo en esta etapa es poder determinar la resistencia y rigidez global de la estructura en función de la densidad de elementos verticales, de propiedades de materiales y del comportamiento que controla la falla de los elementos. A su vez, el resultado anterior permite que, al compararlo con la demanda del sismo de diseño o de algún evento particular, se obtenga un nivel de vulnerabilidad de la estructura y el nivel de daño que podría experimentar.

En el caso del nivel N3, se propone seguir las recomendaciones de las normas o estándares vigentes nacionales (N-Rehabilitación y Guía Técnica para la Rehabilitación Sísmica de Edificios Escolares de México - Alcocer, Valencia y Bautista, 2020) e internacionales (ASCE/SEI 41-17) que proponen los procedimientos y criterios de aceptación para someter a las estructuras a análisis estructurales más profundos y detallados que deriven en un proyecto de diseño de la rehabilitación de la estructura de ser el caso.

Tabla 5.4.1 Metodologías recomendadas como referentes para la metodología de evaluación post-sísmica de edificios del grupo B de México

Número de pisos	Método	Nivel 1 – E. Rápida
≤ 2	Simplificado	MBIE 2014 – Cap 6 Manual de campo
> 2	Detallado	MBIE 2014 – Cap 7 Manual de campo + FEMA P-154
Número de pisos	Método	Nivel 2 – E. Intermedia
≤ 2	Simplificado	Hassan y Sozen, 1997 + Sucuoğlu et al., 2015
> 2	Detallado	Pardalopoulos y Pantazopolou, 2019 Pardalopoulos y Lekidis, 2019
Número de pisos	Método	Nivel 3 – E. Profunda
≤ 8	Análisis elásticos	Por desarrollar (apoyado en Guía)
Indistinto	Análisis sistemáticos	N-Rehabilitación + Guía Técnica para la Rehab de Edificios Escolares de México + ASCE/SEI 41-17

Tabla 5.4.2 Metodologías recomendadas como referentes para la metodología de evaluación post-sísmica de edificios del grupo A de México

Número de pisos	Método	Nivel 1 – E. Rápida
≤ 2	Simplificado	MBIE 2014 – Cap 6 Manual de campo
> 2	Detallado	MBIE 2014 – Cap 7 Manual de campo + FEMA P-154
Número de pisos	Método	Nivel 2 – E. Intermedia
≤ 2	Simplificado	Hassan y Sozen, 1997 + Sucuoğlu et al., 2015
> 2	Detallado	Pardalopoulos y Pantazopolou, 2019 Pardalopoulos y Lekidis, 2019
Número de pisos	Método	Nivel 3 – E. Profunda
≤ 4	Análisis elásticos	Por desarrollar (apoyado en Guía)
Indistinto	Análisis sistemáticos	N-Rehabilitación + Guía Técnica para la Rehab de Edificios Escolares de México + ASCE/SEI 41-17

Espacio dejado intencionalmente en blanco

CAPÍTULO 6

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍAS

Alcocer, S.M., Valencia, G., y Bautista, R. (2020). “*Guía Técnica para la Rehabilitación Sísmica de Edificios Escolares de México*,” Instituto de Ingeniería, UNAM, CDMX, 205 pp.

American Society of Civil Engineers ASCE/SEI 41-17 (2017) “*Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*”, Reston, Virginia, EUA.

Applied Technology Council (ATC). (2005). ATC-20: “*Procedures for Post-Earthquake Safety Evaluation of Buildings*”.

Aragón, J., Flores, L., y López, O. (2011). “*Manual del formato de captura de datos para evaluación estructural*”. Sistema Nacional de Protección Civil. Obtenido de http://www.cenapred.unam.mx/es/RedNacionalEvaluadores/EvaluacionEdificios/documentos/Manual%20Formato%20Captura%20de%20Datos_2011-febrero-24.pdf.

Área de Estructuras, (2009). “*Estudio Sobre la Observancia del Reglamento de Construcciones del D.F. y sus Normas Técnicas Complementarias*” Reporte de la investigación patrocinada por la Secretaría de Obras Servicios del Gobierno del Distrito Federal bajo el Convenio CT/04/07, México D.F., pp. 13-21.

CEN, European Committee for Standardization TC250/SC8/. (2004). Eurocode 8: “*Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures*”, Part 1.1: General rules, seismic actions and rules for buildings PrEN1998-1.

Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM), (2011). “*Formato de Inspección Post-Sísmica – Evaluación Rápida*”, México.

Demartinos, K., y Dritsos, S. (2006). “*First-level pre-earthquake assessment of buildings using fuzzy logic*”. *Earthquake Spectra*, 22(4), 865-885.

Earthquake planning and protection organization of Greece (EPPO), (2018) “*Second-level seismic capacity procedure for R.C. buildings*”, Athens.

Ersoy, U., Ozcebe, G., y Tankut, T., (2008). “*Reinforced Concrete*”, Middle East Technical University (METU), Ankara, Turquía.

Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2015). “*Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A Handbook (FEMA P-154)*”. Federal Emergency Management Agency, 388.

Federal Emergency Management Agency (FEMA). (1997). “*NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 273)*”.

Federal Emergency Management Agency (FEMA). (1998). “*Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings-A Prestandard. (FEMA 310)*”.

García, H. J., Bernal, A. G., Contreras, C. G., Gama, A., García, E. P. P., & Islas, J. N. R., (2012) “*Método de evaluación simplificada de la capacidad sísmica de estructuras típicas de la ciudad de México, (método UAM-A)*”.

Hassan, A. F., y Sozen, M. A. (1997). “*Seismic vulnerability assessment of low-rise buildings in regions with infrequent earthquakes*”. ACI Structural Journal, 94(1), 31-39.

Gulkan, P. y Sozen, M.A. (1999) “*Procedure for Determining Seismic Vulnerability of Building Structures*”. ACI Structural Journal, 96(3): 336-342.

Iglesias, J. (1989). “*Evaluación de edificios de concretos en la Ciudad de México*”. Revista de Ingeniería Sísmica, (35), 33-54.

Iglesias, J., Jara, M., Aguilar, J., Mota, O., Terán, A., Gómez, A., ... y Paniagua, J. P. (1987). “*Estudio de las intensidades del sismo del 19 de septiembre en la ciudad de México*”. México. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. jun. 1987. México. MX.

Iglesias, J., Aguilar, J., Mota, O., y Terán, A. (1987). “*Intensidad del sismo de 1985 en la cd. de México*”. Revista IMCYC, 25(193), 18-30.

Instituto para la Seguridad de las Construcciones en la Ciudad de México. (ISC-CDMX), (2019). “*Formato de Inspección Post-Sísmica – Evaluación Rápida*”, México, Secretaría de Obras y Servicios Gobierno del Distrito Federal, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, México.

Jain, S. K., Mitra, K., Kumar, M., y Shah, M. (2010). “*A proposed rapid visual screening procedure for seismic evaluation of RC-frame buildings in India*”. Earthquake Spectra, 26(3), 709-729.

Japan Building Disaster Prevention Association. (2005). “*Standard for seismic evaluation of existing reinforced concrete buildings*”. Japan Building Disaster Prevention Association, Tokyo, Japan.

Jumonji, T. (1996). “*Normas y comentarios para la evaluación del comportamiento ante sismo de estructuras existentes de concreto reforzado*”. In Cuadernos de Investigación (Vol. 39). México. Sistema Nacional de Protección Civil. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

Normas para la Rehabilitación Sísmica de Edificaciones de Concreto Dañadas por el sismo del 19 de septiembre de 2017 (N-Rehabilitación) (2017), Gobierno de la Ciudad de México, diciembre.

Pardalopoulos, S.I., Thermou, G.E., y Pantazopoulou, S.J. (2013). “*Screening criteria to identify brittle R.C. structural failures in earthquakes*”. Bulletin of Earthquake Engineering, 11, 607–636.

Pardalopoulos, S.I., Pantazopoulou, S.J., y Lekidis, (2018). “*Simplified method for rapid seismic assessment of older R.C. buildings*”. Engineering Structures, 154, 10–22.

Pardalopoulos, S.I. y Pantazopoulou, S.J. (2019). “*Rapid seismic assessment of two four-storey R.C. test buildings*”. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17, 1379–1406.

Pardalopoulos, S. I., y Lekidis, V. A. (2019) “*Calibration of the hellenic second-level seismic capacity procedure*”.

Rodríguez, M., y Castrillón, E. (1995). “*Manual de evaluación postsísmica de la seguridad estructural de edificaciones*”. Instituto de Ingeniería, UNAM.

Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. (SMIS, 1998). “*Manual de evaluación postsísmica de la seguridad estructural de edificaciones*”, Secretaría de Obras y Servicios Gobierno del Distrito Federal, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, México.

Stannard, M., Galloway, B., Brunson, D., Wood, P., Beattie, G., McCarthy, S., ... y Stoecklein, A. (2014). “*Field guide: rapid post disaster building usability assessment—earthquakes*”. Ministry of Business, Innovation and Employment, Wellington, Nueva Zelanda.

Sucuoğlu, H., Yakut, A., Özmen, A., y Kubin, J. (2015). “*Seismic risk prioritization and retrofit cost evaluation of code-deficient RC public buildings in Turkey*”. *Earthquake Spectra*, 31(1), 601-614.

Sucuoğlu, H., Yazgan, U., y Yakut, A. (2007). “*A screening procedure for seismic risk assessment in urban building stocks*”. *Earthquake Spectra*, 23(2), 441-458.

Thermou, G. E., y Pantazopoulou, S. J. (2011). “*Assessment indices for the seismic vulnerability of existing RC buildings*”. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 40(3), 293-313.

Turkish Ministry of Construction and Settlement (TMCS), (2007). “*Design Code for Buildings in Seismic Regions, Ankara, Turkey*”.

Turkish Standards Institute (TSE). (2000) “*TS 500: Requirements for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures*”. Ankara, Turkey.

Yakut, A. (2004). “*A preliminary seismic assessment procedure for reinforced concrete buildings in Turkey*”. In *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering (Vol. 13)*.