

El terremoto de Caracas de 1967: 50 años después.

Carlos Genatios
Marianela Lafuente
Alfredo Cilento
José Grases
(Compiladores)



EL TERREMOTO DE CARACAS DE 1967: 50 años después.

Compiladores:

**Carlos Genatios
Marianela Lafuente
Alfredo Cilento
José Grases**

Caracas, junio de 2017

Título:

EL TERREMOTO DE CARACAS DE 1967:
50 años después.

Portada:

UNA VISTA DE CARACAS. TESTIMONIOS MEMORABLES DEL TERREMOTO DE 1812.

Acuarela de Meinhard Retemeyer (29x22 cm)

Fuente: Rehinheimer Key, Hans, (1986), *TOPO. HISTORIA DE LA COLONIA ESCOCESA EN LAS CERCANÍAS DE CARACAS*, 1825-1827.
Asociación Cultural Humboldt, Caracas.

Depósito legal:

DC2017002218

ISBN:

978-980-7106-06-1

Ediciones: Academia Nacional de Ingeniería y el Hábitat -CITECI

Compiladores:

Carlos Genatios
Alfredo Cilento
José Grases
Marianela Lafuente

Coordinación general:

Carlos Genatios y Marianela Lafuente

Coordinación de edición:

Paolo Maragno

Diseño gráfico y portada:

Marisa Almiñana M.

Corrección:

Marianela Lafuente

Diagramación:

Paolo Maragno

Las ideas y planteamientos contenidos en la presente edición son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen la opinión de los compiladores, ni de CITECI, ni tampoco la posición oficial de Academia Nacional de Ingeniería y el Hábitat (ANIH).
Los autores son asimismo responsables por los derechos de autor de las figuras incluidas en sus artículos.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. EL EVENTO.....	17
1.2. CARACAS: UNA CIUDAD CON HISTORIA SÍSMICA.....	19
1.3. CARACAS CINCUENTA AÑOS DESPUÉS	20
1.4. AMENAZA SÍSMICA Y VULNERABILIDAD: ALGUNOS TEMAS SOBRE EL RIESGO EN CARACAS	21
2. LECCIONES Y TRASCENDENCIA DEL TERREMOTO DE CARACAS DE JULIO DE 1967	23
2.1. EL EVENTO Y SUS REPERCUSIONES INMEDIATAS	25
2.1.1. Antecedentes	25
2.1.2. Breve Descripción del Evento, su Registro y Condiciones Locales	25
2.1.3. Respuesta del Estado y Medidas de Emergencia	26
2.1.4. Nuevos Órganos de Evaluación y Registro.....	26
2.1.5. Ejemplo de Ingeniería Forense.....	26
2.2. NORMAS DE CARÁCTER PROVISIONAL	27
2.2.1. Contenido de las Normas	27
2.2.2. Espectros de Diseño	27
2.2.3. Actualización de la Norma en 1982	27
2.3. ACTUALIZACIÓN ACADÉMICA DE LA PROFESIÓN	28
2.3.1. Particularidades del Sismo de 1967	28
2.3.2. Ciclo de Conferencias de Especialistas	28
2.3.3. La Maestría en Ingeniería Sismo-resistente	28
2.3.4. Comisiones de Normas de Ministerios del Estado (Covenin).....	29
2.4. CONFIABILIDAD DE NUEVOS PROYECTOS O DE OBRAS EXISTENTES.....	29
2.4.1. El Problema	29
2.4.2. Exigencias Normativas.....	30
2.4.3. Evaluación Cuantitativa	31
2.5. ACCIONES PREVENTIVAS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES.....	32
2.5.1. Planta Generadora de Energía Eléctrica en el Litoral Central del País	32
2.5.2. La Industria Petrolera	33
2.5.3. Equipos de S/E de Instalaciones de Alto Voltaje	36
2.5.4. Fallas Activas y Trincheras de Evaluación	37
2.6. EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL.....	39
2.6.1. Edificaciones Irregulares.....	39
2.6.2. Influencia de la Tabiquería. Plantas bajas Libres.....	39
2.6.3. Paredes Ciegas.....	40
2.6.4. El Hotel Macuto Sheraton	41
2.6.5. Edificaciones con Pórticos no Paralelos.....	42
2.6.6. Edificio de 21 Niveles, de Concreto Armado; una Vivienda por Planta.....	43
2.6.7. Edificio Mansión Charaima, de 11 Niveles, Construido en dos Etapas.....	44
2.6.8. Edificio conformado por dos sótanos, planta baja y 15 plantas tipo.....	45
2.6.9. Hotel con Pronunciadas Irregularidades	46
2.6.10. Desplome de una Edificación en 1997, causa 33 Víctimas.....	47
2.7. INCERTIDUMBRES DE EJECUCIÓN Y REFORZAMIENTO.....	48
2.7.1. Autoconstrucción en Kayaköy, Turquía.....	48
2.7.2. Edificaciones de Villa Olímpica, Santiago de Chile	49
2.7.3. Adecuación de dos Edificaciones nominalmente iguales.....	50

2.7.4.Efectos Desfavorables de los Ensanchamientos de Columnas.....	51
2.8. DISIPADORES DE ENERGÍA Y OTROS TEMAS	51
2.8.1.Apoyos Disipadores de Energía	51
2.8.2.Incremento de Amortiguamiento en Edificaciones	52
2.8.3.Maremotos en Cumaná.....	52
2.8.4.Deslizamientos	53
2.8.5.Secuencias de Sismos Cercanos en el Tiempo en Venezuela	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
3. POBREZA, VULNERABILIDAD Y RIESGOS: LOS BARRIOS DE CARACAS.....	59
RESUMEN	61
3.1. POBREZA Y VULNERABILIDAD	61
3.1.1.La pobreza en Venezuela.....	62
3.1.2.Vulnerabilidad físico-ambiental	63
3.1.3.Vulnerabilidad social.....	67
3.1.4.Vulnerabilidad económica.....	68
3.1.5.Vulnerabilidad institucional	68
3.2. NO HAY MÁS TIEMPO PARA LOS BARRIOS DE CARACAS.....	70
3.2.1.Contingencia: crisis y oportunidad.....	70
3.2.2.Anticiparse a la catástrofe	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
4. LA CRECIENTE VULNERABILIDAD DE LA VIVIENDA EN VENEZUELA Y HÁBITAT III.....	77
RESUMEN	79
4.1. HÁBITAT III: LA NUEVA AGENDA URBANA (NAU)	79
4.1.1.¿Qué propone la Nueva Agenda Urbana de Hábitat III?.....	81
4.1.2.La vulnerabilidad de la vivienda y el hábitat en América Latina.....	82
4.2. LA VULNERABILIDAD DE LAS VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS EN VENEZUELA: LOS “RANCHOS”	85
4.2.1.Comportamiento estructural de la vivienda autoconstruida sometida a sismos.....	86
4.2.2.Cargas máximas toleradas por viviendas de uno y más pisos	91
4.2.3.Limitaciones en la altura de viviendas autoconstruidas	94
4.3. EL DÉFICIT DE VIVIENDAS EN VENEZUELA	95
4.4. LA AUTOCONSTRUCCIÓN Y LA EVOLUCIÓN DEL HÁBITAT VULNERABLE EN VENEZUELA Y AMÉRICA LATINA.....	96
4.5. CONCLUSIONES	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
5. ATENCIÓN Y PREVENCIÓN DE EVENTOS SÍSMICOS: REFLEXIONES DERIVADAS DE LA EXPERIENCIA.....	101
RESUMEN	103
5.1. CONSIDERACIÓN PRELIMINAR	103
5.2. ATENCIÓN INMEDIATA ANTE LA OCURRENCIA DE UN TERREMOTO	104
5.3. ¿QUÉ SE ENTIENDE POR MANEJO COMPETENTE Y ORGANIZADO DE UNA EMERGENCIA SÍSMICA?.....	104
5.4. LA HISTORIA DEL MANEJO DE LAS CRISIS GENERADAS POR EVENTOS SÍSMICOS EN VENEZUELA	105
5.4.1.Moderno empleo de la esferometría por radar de apertura sintética (INSAR) y de documentos (LYDAR).....	105
5.4.2.El uso de la geomática para el análisis del riesgo sísmico en zonas vulnerables	106
5.4.3.Proceso LYDAR	108

5.5.	EDIFICACIONES SISMO RESISTENTES	108
5.5.1.	La ley orgánica de ordenación urbanística vigente en Venezuela	109
5.6.	PLANIFICACIÓN DE OBRAS PERMANENTES SISMORRESISTENTES EN ÁREAS DE ALTA AMENAZA SÍSMICA.....	110
5.7.	PROYECTO ARQUITECTÓNICO DE EDIFICACIONES URBANAS SISMORRESISTENTES EN ÁREAS URBANAS DE ALTA AMENAZA SÍSMICA	111
5.7.1.	Caso especial de estructuras adosadas, de diferente altura, ubicadas en localidades de alta amenaza sísmica	112
5.7.2.	Estructuras adosadas ubicadas en las avenidas insurgentes y paseo de la reforma en ciudad de México	112
5.7.3.	Estructuras adosadas construidas el municipio Chacao de la ciudad de caracas sin tomar en cuenta la experiencia del terremoto de México	113
5.8.	USO DE LA GEOMÁTICA EN EL ESTUDIO DE PENDIENTES NATURALES Y TALUDES ARTIFICIALES.....	114
5.8.1.	Actualización de mapas de riesgo con caducidad de menos de tres años.....	115
5.8.2.	Ventajas de la Geomática en la visualización de la vulnerabilidad sísmica.....	115
5.9.	EVALUACIÓN DE COSTOS DE DAÑOS GENERADOS POR EVENTOS NATURALES EN DESARROLLOS URBANOS	116
5.9.1.	Empleo del software CRISIS	116
5.10.	URBANISMO NO CONTROLADO. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	117
5.11.	SECTORIZACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA EN URBANISMOS NO CONTROLADOS	118
5.12.	INSTRUCCIÓN PRESÍSMICA	119
5.13.	RECOMENDACIONES ANTE LA OCURRENCIA DE UN TERREMOTO	120
5.13.1.	Protección en el interior de una edificación	120
5.14.	RESCATE DE EN CASO DEL URBANISMO NO CONTROLADO	123
5.15.	¿ES POSIBLE PRONOSTICAR TEMPRANAMENTE LA OCURRENCIA DE UN TERREMOTO?.....	123
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
6.	SOBRE VULNERABILIDAD, RESILIENCIA Y EL USO DE DISPOSITIVOS MECÁNICOS PARA LA PROTECCIÓN SÍSMICA DE ESTRUCTURAS	129
	RESUMEN	131
6.1.	INTRODUCCIÓN: SOBRE LOS REQUERIMIENTOS DE REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS.	131
6.2.	DEL PASO DE EVITAR EL COLAPSO DE ESTRUCTURAS A HACER RESILIENTES LAS CIUDADES.	132
6.3.	DESARROLLO TECNOLÓGICO Y REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN INGENIERÍA SÍSMICA.....	137
6.4.	AISLADORES SÍSMICOS	137
6.5.	DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS.	142
6.5.1.	Sistemas pasivos	144
6.5.2.	Sistemas activos de control de respuesta	145
6.5.3.	Sistemas semi-activos de fluido controlable.....	146
6.5.4.	Sistemas pasivos de control basados en disipación de energía.....	147
6.5.5.	Amortiguamiento añadido: los disipadores histeréticos metálicos.....	147
6.5.6.	Disipadores Viscoelásticos	149
6.5.7.	Disipadores de fluidos viscosos	150
6.5.8.	Disipadores de fricción	151

6.5.9.	Disipadores basados en materiales con memoria de forma (SMA).....	152
6.5.10.	Amortiguadores de masas sintonizadas.....	152
6.5.11.	Ventajas y desventajas del uso de disipadores de respuesta sísmica	153
6.6.	A MANERA DE CONCLUSIÓN: ALGUNAS CONSIDERACIONES ECONÓMICAS	154
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158
7.	CARACAS: VULNERABILIDAD DE ACCESOS Y SERVICIOS PÚBLICOS.....	159
	RESUMEN	161
7.1.	INTRODUCCIÓN	161
7.2.	VULNERABILIDAD DE LOS ACCESOS A CARACAS	163
7.2.1.	Vulnerabilidad Vial.....	163
7.2.2.	Otros accesos	169
7.3.	CRECIMIENTO DE LAS CONSTRUCCIONES INFORMALES	169
7.4.	VULNERABILIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS.....	170
7.4.1.	Vulnerabilidad en el suministro de energía eléctrica.....	170
7.4.2.	Vulnerabilidad en el suministro de agua potable	172
7.4.3.	Vulnerabilidad en las telecomunicaciones.....	172
7.4.4.	Vulnerabilidad en el manejo de los residuos y desechos sólidos.....	173
7.5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	173
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	175
8.	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA COMO APOORTE PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN CARACAS.....	177
	RESUMEN	179
8.1.	INTRODUCCIÓN	179
8.2.	AMENAZA SÍSMICA	180
8.3.	INVESTIGACIONES GEOMORFOLÓGICAS, GEOLÓGICAS, GEOFÍSICAS Y GEOTÉCNICAS	182
8.3.1.	Geología y geomorfología	182
8.3.2.	Características de los sedimentos profundos	182
8.3.3.	Características geofísicas y geotécnicas someras (Vs30)	183
8.3.4.	Espesores de los sedimentos	184
8.4.	RESPUESTA DINÁMICA 1D.....	186
8.5.	EFFECTOS 2D Y 3D DE CUENCA Y TOPOGRÁFICOS.....	188
8.5.1.	Espectros 2D de respuesta	188
8.5.2.	Espectros 3D de cuenca	189
8.5.3.	Espectros 2D de topografía.....	191
8.5.4.	Espectros de diseño para las microzonas	191
8.6.	PELIGROS DE DESLIZAMIENTOS.....	193
8.6.1.	Caracterización geotécnica y susceptibilidad	193
8.6.2.	Peligros de deslizamientos: metodología.....	195
8.6.3.	Peligros de deslizamientos en el AMC	196
8.7.	VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	197
8.7.1.	Influencias de las condiciones locales en los daños observados en el terremoto de 1967	197
8.7.2.	Confiabilidad estructural de edificaciones existentes	198
8.8.	RIESGO SÍSMICO EN EL MUNICIPIO CHACAO.....	201
8.9.	IMPLEMENTACIÓN.....	201
8.10.	CONCLUSIONES	203
	AGRADECIMIENTOS	205
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	206

9.	VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS POPULARES EN CARACAS	211
	RESUMEN	213
9.1.	INTRODUCCIÓN	213
9.1.1.	Motivación y Objetivos	213
9.1.2.	Antecedentes	213
9.2.	IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS VIVIENDAS POPULARES	214
9.2.1.	Metodología a partir de inspecciones rápidas	214
9.2.2.	Inspecciones realizadas	216
9.2.3.	Tipologías y características estructurales de la vivienda popular	219
9.2.4.	Índices de vulnerabilidad y riesgo	221
9.2.5.	Inventario de las edificaciones populares en Caracas	221
9.3.	SIMULACIÓN DE LA RESPUESTA NO LINEAL DE UNA VIVIENDA	222
9.4.	FRAGILIDAD DE VIVIENDAS DE DIFERENTES ALTURAS Y CONDICIÓN TOPOGRÁFICA	225
9.4.1.	Idealización Estructural	226
9.4.2.	Análisis Estático No lineal	226
9.4.3.	Acción sísmica	227
9.4.4.	Fragilidad para viviendas de 2, 3, 4 y 5 pisos	227
9.4.5.	Fragilidad para dos rangos de altura	232
9.5.	VULNERABILIDAD DE LAS VIVIENDAS POPULARES	233
9.6.	DAÑOS Y PÉRDIDAS EN UNA REPETICIÓN DEL SISMO DE 1967	235
9.7.	CONCLUSIONES	237
	AGRADECIMIENTOS	239
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	240
10.	TERREMOTOS Y LA PISTA AÉREA EN LA CARLOTA	243
	RESUMEN	245
10.1.	INTRODUCCIÓN	245
10.2.	PLANTEAMIENTO	246
10.3.	EN CUANTO A VULNERABILIDAD	246
10.4.	SOBRE LO MILITAR	247
10.5.	SOBRE LO CIVIL	247
10.6.	SOBRE LA PERMANENCIA DE LA PISTA	247
10.7.	UN HELIPUERTO EN UN BARRIO	248
10.8.	MEJORAS URBANAS PARA MITIGAR EMERGENCIAS	249
10.9.	MEJORAS EN EL ENTORNO DE LA CARLOTA	250
10.10.	CONCLUSIONES	253
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	254
	AUTORES	255

Índice de Tablas

Tabla 1-1: Resumen de daños del sismo de 1967	19
Tabla 2-1: Normativas empleadas entre 1939 y 2008. Estructuras de Concreto Armado.	30
Tabla 2-2: Probabilidades de Excedencia para los casos de Edificios Altos.	31
Tabla 3-1: Situación de pobreza en Venezuela en los años 2014 y 2015.	62
Tabla 3-2: Factores de vulnerabilidad social desagregados.	68
Tabla 3-3: Factores de vulnerabilidad económica.	68
Tabla 4-1: Análisis de capacidad y demanda sísmica de viviendas de muros de mampostería confinada.	92
Tabla 6-1: Ventajas y desventajas del uso de dispositivos de disipación de energía.	154
Tabla 8-1: Recomendaciones de prioridades de intervención de edificios regulares en Caracas.	200
Tabla 9-1: Índices de vulnerabilidad específica (I_i) y pesos relativos (α_i).	215
Tabla 9-2: Valores del índice de vulnerabilidad asociado al tipo estructural (I_2)	215
Tabla 9-3: Localización y número de viviendas inspeccionadas.	216
Tabla 9-4: Descripción y distribución porcentual de tipologías estructurales.	220
Tabla 9-5: Distribución porcentual del número de pisos de las viviendas.	221
Tabla 9-6: Altura (H), peso (W) y período efectivo de vibración (T_e) de las viviendas.	226
Tabla 9-7: Vivienda en terreno plano. Aceleración media roca ami (g) para el inicio de cada estado de daño y probabilidad de excedencia (P_e) para una aceleración en roca de 0,10 g.	231
Tabla 9-8: Vivienda en terreno con pendiente. Aceleración media en roca ami (g) para el inicio de cada estado de daño.	232
Tabla 9-9: Vivienda en terreno con pendiente. Aceleración media en roca ami (g) para el inicio de cada estado de daño.	233
Tabla 9-10: Valores de aceleración media y desviación estándar para construir las funciones de vulnerabilidad de las viviendas populares.	235
Tabla 9-11: Número de edificaciones populares (tipología mixta) en Caracas según sitio, número de pisos y la aceleración en roca en una simulación del sismo de 1967.	237

Índice de Figuras

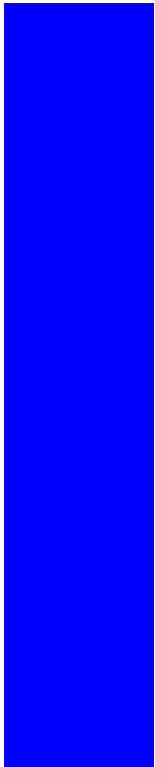
Figura 2-1: Dirección del sismo de 1967.	25
Figura 2-2: Sismo de Friuli.	27
Figura 2-3: Tubo o recipiente con falda de Apoyo de Ductilidad Limitada.	34
Figura 2-4: Recipiente Vertical ubicado a 140 km al Nor-este del epicentro del terremoto de Loma Prieta, 1989, $M = 6.9$, California.	34
Figura 2-5: Evidencias de levantamientos de tanques metálicos de pared delgada, por efectos de sismos pasados.	35
Figura 2-6: Fallas en tanques metálicos.	35
Figura 2-7: Imágenes posteriores al sismo de Morgan Hill de 1986.	36
Figura 2-8: Estado final de la instalación, luego del sismo de 1989.	37
Figura 2-9: Sub-estación encapsulada de alto voltaje. Derecha: detalle del tensor.	37
Figura 2-10: Modelo adoptado para estudiar la interacción entre la tubería submarina y el material en el cual se ha supuesto quedará enterrado.	38
Figura 2-11: Caso de represa de Yacambú.	38

Figura 2-12: Edificaciones irregulares.....	39
Figura 2-13: Planta de los tres cuerpos del Edificio Palace Corvin.....	40
Figura 2-14: Paredes ciegas.	40
Figura 2-15: Esquema estructural del Hotel Macuto Sheraton, Caraballeda, Litoral Central.	41
Figura 2-16: Daños en columnas y muros.	41
Figura 2-17: Solución al problema de la discontinuidad de rigideces a nivel de Mezzanina.....	42
Figura 2-18: Daños en edificaciones con pórticos no paralelos.	43
Figura 2-19: Reparación del edificio Petunia	44
Figura 2-20: Edificaciones en el Litoral.	45
Figura 2-21: Edificación con planta en forma de H.....	46
Figura 2-22: Detalles de refuerzo	46
Figura 2-23: Hotel en la capital de estado Mérida.....	47
Figura 2-24: Falla de edificio. Sismo de Cariaco, 1997.	48
Figura 2-25: Desempeño de tres edificaciones nominalmente iguales.....	49
Figura 2-26: Fallas en edificaciones nominalmente iguales.....	50
Figura 2-27: Adecuación en edificaciones nominalmente iguales.	51
Figura 2-28: Comportamiento de aisladores sísmicos.	52
Figura 2-29: Aislamiento sísmico en Central de Bomberos.	52
Figura 2-30: Deslizamientos en Yungay, 1970.	53
Figura 4-1: Barriada de Lima.....	80
Figura 4-2: Barriada popular (favela) en São Paulo.	82
Figura 4-3: Viviendas autoconstruidas en cercanías a río y mar.	83
Figura 4-4: Daños en Haití por el terremoto de 2010.	84
Figura 4-5: Daños en Haití, por el terremoto de 2010.	84
Figura 4-6: Viviendas informales de siete pisos en Caracas (Barrio de Santa Cruz).	86
Figura 4-7: Esquema de piezas de mampostería comúnmente utilizadas en Venezuela.	87
Figura 4-8: Curva carga-desplazamiento de la pared ensayada en laboratorio.	88
Figura 4-9: Modos de falla de un muro de mampostería confinada.	89
Figura 4-10: Esquema de falla del muro ensayado. (Grietas diagonales escalonadas siguiendo la dirección de las juntas de mortero).....	89
Figura 4-11: Ensayo en laboratorio sobre muro de mampostería confinada.	89
Figura 4-12: Ensayo de muro de mampostería bajo cargas alternantes.....	90
Figura 4-13: Demanda de ductilidad en los distintos niveles de la estructura.....	90
Figura 4-14: Curva de resistencia de un muro de mampostería.	91
Figura 4-15: Viviendas de mampostería en Argentina.	93
Figura 4-16: Viviendas de mampostería en Caracas.	93
Figura 4-17: Vivienda autoconstruida de mampostería en Rio de Janeiro.	94
Figura 4-18: Calidad de la construcción informal en un barrio de Caracas.	95
Figura 4-19: Hábitat autoconstruido y vulnerable.	97
Figura 4-20: Vivienda en los páramos venezolanos, construida de manera repetitiva, siguiendo guías inadecuadas	97
Figura 5-1: Aplicaciones de la Geomática en la elaboración de mapas.	107
Figura 5-2: Colapso pisos superiores del Hotel Continental en Ciudad de México.	112
Figura 5-3: Deformación Fachadas de edificio de oficinas en la Ciudad de México 1985.....	113
Figura 5-4: Estructuras adosadas en Caracas.....	114
Figura 5-5: Vista aérea de un sector ubicado al Este de la urbanización La Urbina en la ciudad de Caracas. Zona aledaña a Petare.	119
Figura 5-6: Espacio dejado por los pupitres al sostener la laca de techo y las vigas de la estructura	121

Figura 5-7: Colapso de la estructura del Hospital Benito Juárez en Ciudad de México en 1985.....	122
Figura 5-8: Especialistas en rescate.	122
Figura 5-9: Disposición de tiendas de campaña.	123
Figura 5-10: Gas Radón en inmuebles.....	125
Figura 6-1: La ciudad de San Francisco en llamas, luego del terremoto de 1906.	133
Figura 6-2: Incendio en Kanto. (a) Nubes producidas por el incendio (b) Edificio Metropolitano de Policía.....	133
Figura 6-3: Hospital del Seguro Social dañado por el terremoto de México, 1985.....	134
Figura 6-4: Hospital de Olive View dañado por el terremoto de San Fernando 1981.....	135
Figura 6-5: Hospital con daños no estructurales, terremoto de Chile 2010.....	135
Figura 6-6: Funcionamiento del aislamiento sísmico.	137
Figura 6-7: Aislador instalado en la base de un edificio.....	138
Figura 6-8: Aislador de capas de goma y acero y núcleo de plomo.	138
Figura 6-9: Ayuntamiento de Los Ángeles.....	139
Figura 6-10: Espacio para el movimiento libre de los aisladores y acceso para revisión.....	140
Figura 6-11: Edificación en Java, Indonesia, construida con el plano de aislamiento sobre el terreno.....	140
Figura 6-12: Tuberías y dispositivos flexibles para permitir movimientos de los edificios con aislamiento sísmico.....	140
Figura 6-13: Tumba de Ciro el Grande, un caso de aislamiento sísmico en la antigüedad.	141
Figura 6-14: Obelisco Dikilitash, Estambul by Gryffindor - Yükleyenin kendi çalışması, Kamu Mali.....	142
Figura 6-15: Base del Obelisco Dikilitash.	142
Figura 6-16: Comportamiento inelástico de los materiales	143
Figura 6-17: Sistemas pasivos de control de respuesta.....	145
Figura 6-18: Sistemas de control activo.....	146
Figura 6-19: Sistemas semi-activos de protección sísmica.....	146
Figura 6-20: Disipador ADAS.	147
Figura 6-21: Pórtico metálico con disipadores ADAS	148
Figura 6-22: Disipadores histeréticos metálicos a) TADAS b) Panel.	148
Figura 6-23: Disipador tipo riostra metálica.	149
Figura 6-24: Estructura con disipadores DSSD.	150
Figura 6-25: Disipadores viscoelásticos.	151
Figura 6-26: Disipadores basados en fluidos viscoelásticos.....	151
Figura 6-27: Disipador de Fricción tipo Pall.	152
Figura 6-28: Fotografía de un AMS.....	153
Figura 7-1: Mapa de Fallas Cuaternarias de Venezuela.	162
Figura 7-2: Propuesta Geológica de Microzonas Sísmicas para el Valle de Caracas.....	162
Figura 7-3: Sistema Expreso Vial Interurbano.	164
Figura 7-4: Falla en el Kilómetro N° 1 de la Autopista Caracas - La Guaira.	165
Figura 7-5: Pliegues del pavimento de más de 40 cm afectaron el sobre ancho.	165
Figura 7-6: Refuerzo de pantalla atirantada.....	166
Figura 7-7 a): Deslizamiento del talud. Figura 7-7 b): Grietas en la isla central.....	167
Figura 7-8: Viaducto La Cabrera de la ARC.	168
Figura 7-9 a): Catia en 1966 (64.433 hab.) Figura 7-9 b): Catia en 2014 (157.692 hab.).....	170
Figura 7-10: Plantas Generadoras y su relación con la red de transmisión.	171
Figura 8-1: Amenaza sísmica en roca, PMR = 475 a: Aceleración pico (izquierda); Respuesta a $T = 1\text{ s}$ ($\xi = 5\%$) (derecha).	181

Figura 8-2: a) Macrozonas elegidas en el AMC; b) Espectros en roca de macrozonas vs. norma-S1.	181
Figura 8-3: Modelo de velocidades utilizado en el modelado dinámico.	183
Figura 8-4: Integración de mapas de distribución Vs30.	184
Figura 8-5: Periodos predominantes en Caracas.	185
Figura 8-6: Mapa del espesor de sedimentos obtenido a partir del modelado gravimétrico 3D en Caracas, con curvas de nivel cada 20 m.	185
Figura 8-7: a) Promedio de espectros escalados de los acelerogramas seleccionados vs. espectro en roca de amenaza sísmica; b) Espectros deconvolucionados a basamento, suavizados.	186
Figura 8-8: Perfil G250: H = 300 m, VS30 = 250 m/s; a) amplificaciones para diferentes materiales; b) espectros promedio en superficie (preliminar, sin correcciones ni ajustes), en roca y en basamento.	187
Figura 8-9: Espectros del estudio 2D.	189
Figura 8-10: a) Efectos de cuenca 2D/1D; 8.10. b) Espectros corregidos y luego ajustados con efectos 2D.	189
Figura 8-11: Función de transferencia para diferentes frecuencias componente N-S de la velocidad del terreno	190
Figura 8-12: Microzonas seleccionadas en el valle de Caracas y alrededores, superpuestas a las macrozonas.	191
Figura 8-13: Modelo de suavizado de espectros elásticos.	192
Figura 8-14: Espectros suavizados + COVENIN-Sn: a) Conjunto en el valle; b) Suelos suaves en el valle + S3; c) Suelos intermedios en el valle + S2; d) Suelos rígidos en el valle y roca sana en sitio cuasi-plano + S1.	192
Figura 8-15: Ubicación geográfica de la zona de estudio (los 5 municipios del AMC a escala 1:25000), del Sector Central (escala 1:10000) y de la Zona Piloto (escala 1:2500).	194
Figura 8-16: a) Mapa de susceptibilidad de deslizamientos en la Zona Piloto; b) Mapa de peligro de deslizamientos por lluvias en la Zona Piloto.	195
Figura 8-17: (a) Mapa de peligro de deslizamientos por lluvias en el AMC. (b) Detalle del mapa y deslizamientos ocurridos en Baruta en 2008 tras lluvias fuertes.	197
Figura 8-18: Mapa de peligro de deslizamientos por sismos en el AMC.	197
Figura 8-19: Distribución de edificios dañados en la ciudad de Caracas; fuente: OMPU, CPES.	198
Figura 8-20: Ejemplo de las curvas de fragilidad de daño severo en depósitos profundos: a) edificios altos; b) edificios medianos; c) edificios bajos.	199
Figura 8-21: Impresión de la herramienta en línea para la definición de los espectros de diseño en cada sitio	202
Figura 9-1: Viviendas típicas en el Barrio El Jabillo, Guatire.	217
Figura 9-2: Viviendas típicas en el Barrio Ruiz Pineda, Guarenas.	217
Figura 9-3: Viviendas características del Barrio Pajaritos, Municipio Chacao, Caracas.	218
Figura 9-4: Viviendas típicas del Barrio Telares de Palo Grande, Municipio Libertador, Caracas.	218
Figura 9-5: Viviendas típicas del Barrio Santa Rosa, Municipio Libertador, Caracas.	219
Figura 9-6: Tipologías estructurales típicas de las viviendas populares.	220
Figura 9-7: Zonas de barrio (color gris) y su relación geográfica con las microzonas sísmicas de Caracas.	222
Figura 9-8: Fotografías de las cuatro viviendas ensayadas.	223
Figura 9-9: Esquema de la planta del Nivel 1 y de los pórticos A y B de la Vivienda 1.	223
Figura 9-10: Comparación de los resultados de los ensayos (E) y de la simulación numérica (S).	224
Figura 9-11: Viviendas de 3 pisos.	225
Figura 9-12: Curva de Capacidad e idealización bilineal. Viviendas en terreno plano.	228

Figura 9-13: Curva de capacidad e idealización bilineal. Viviendas en terreno inclinado.	228
Figura 9-14: Curvas bilineales de capacidad en forma adimensional.....	229
Figura 9-15; Espectros de aceleraciones para cuatro condiciones de sitio.	229
Figura 9-16: Curvas de fragilidad para las viviendas en terreno plano. Suelo 4-2 (Depósito somero).	230
Figura 9-17: Curvas de fragilidad para las viviendas en terreno en pendiente (R3-T2).....	231
Figura 9-18: Curvas de vulnerabilidad para viviendas populares en sitios rocosos, plano y en pendiente.....	234
Figura 9-19: Curvas de vulnerabilidad para viviendas populares en terreno plano sobre depósitos de sedimentos.....	234
Figura 9-20: Distribución de la aceleración en roca (g) en una repetición del sismo de 1967 y localización de las zonas de barrios (color gris) en Caracas.	236
Figura 10-1: La base aérea Francisco de Miranda.	246
Figura 10-2: Sitios iniciales para ubicar Helipuertos.....	248
Figura 10-3: Región capital-autopistas y trenes.....	250
Figura 10-4: Propuesta del Arqº Gustavo Ferrero Tamayo.	251
Figura 10-5: Vialidad principal en los alrededores de La Carlota.	252
Figura 10-6: Ocupación del espacio aéreo sobre el canal del Guaire	252



1. INTRODUCCIÓN

1.1. EL EVENTO

Hace cincuenta años, el sábado 29 de julio de 1967, a las ocho y cinco de la noche, la tierra tembló en Caracas. Los que vivimos esos treinta y cinco largos segundos nunca lo olvidaremos. Se escuchó un fuerte bramido. La gente, despavorida, salió a las calles. Árboles y edificios se bamboleaban. Multitudes de personas hicieron campamentos en las calles y aceras para pasar la noche. Fueron unas horas de pánico y confusión. Más tarde se sintieron dos réplicas menores. El Ministro de Relaciones Interiores de la época, Reinaldo Leandro Mora, dio una “cadena” de radio y televisión pidiendo calma. Hubo víctimas producto del pánico, con síncope cardíacos, ataques de angustia, desmayos. Las clínicas y hospitales se vieron abarrotados. En total, se estima que alrededor de 250 personas murieron en el evento. Al recuerdo de las víctimas del terremoto y a sus familiares, dedicamos este libro que hoy presentamos.

El desastre dejó unos dos mil heridos y alrededor de ochenta mil personas sin viviendas. Las pérdidas se estimaron en más de 10 millones de dólares americanos (43 millones de bolívares de la época). En Caracas cuatro edificios se derrumbaron: el Palace Corvin, Neverí, Mijagual y San José, en las zonas de Altamira y Los Palos Grandes. En la Guaira, los últimos cinco pisos de la Mansión Charaima resultaron destruidos, al igual que otros dos edificios en parcelas identificadas como 21 y 22. El sismo se sintió también en Maracay, donde hubo cinco fallecidos y unos cien heridos, al igual que en Valencia y otras ciudades del interior, donde se reportaron daños en estructuras. Se estima que, en total, 180 edificios sufrieron graves deterioros, principalmente en Caracas y La Guaira (ver [Tabla 1-1](#)).

En la zona del casco central y norte de la ciudad, se desplomaron algunas casas antiguas, de paredes de mampostería. Resultaron afectadas en total unas quinientas viviendas en las zonas de El Manicomio, Lídice, La Pastora y San José. En el sur de la ciudad también hubo numerosas viviendas con daños, principalmente en Antímamo, La Vega y el Valle. Se reportaron en esas zonas, deslizamientos y derrumbes en taludes. No se encuentra mucha información sobre los daños en las casas en los barrios, que en esa época no tenían más de uno o dos pisos. No se sabe con certeza cuántas de ellas colapsaron, aunque hay testimonios que hacen referencia a “miles de viviendas” con graves daños en esas zonas. En algunos sectores de la ciudad fallaron los servicios de electricidad y teléfonos, y también se produjeron incendios y explosiones, causados principalmente por cortocircuitos y estallidos de bombonas de gas.

En la Catedral de Caracas, el terremoto interrumpió el oficio de una misa. Los vitrales explotaron y la centenaria Cruz Pontifical se desplomó desde lo alto de la fachada, mientras los feligreses huían despavoridos hacia la Plaza Bolívar. Al caer, la forma de la cruz quedó grabada en el piso, “como una quemadura de hierro”, y el terremoto cesó. La gente, por muchos días, habló del suceso como de un milagro, y la huella de la cruz fue venerada por los fieles, hasta que las autoridades removieron los restos de concreto.

El terremoto de 1967 fue de intensidad moderada (estimada de 6.4 a 6.6 M_w). En el Observatorio Cajigal no se pudo registrar con precisión el terremoto, porque el sismógrafo pendular presentó problemas (se rompieron los flejes de las agujas y los equipos de células fotoeléctricas). Sólo se obtuvieron registros parciales. El director del observatorio, Capitán de Navío Ramiro Pérez Luciani, estimó erradamente, enseguida después del sismo, que el epicentro se hallaba en la falla de Humocaro en el estado Lara, a unos 350 kilómetros de Caracas. Al día siguiente corrigió su apreciación, y ubicó el epicentro en el Mar Caribe a 70 km frente a las costas del Litoral Central. Se recurrió a la ayuda de institutos extranjeros para determinar con exactitud los datos del sismo, y las coordenadas del foco. Este se ubicó a unos 16km de profundidad, bajo el fondo marino, en el sistema de fallas de San Sebastián.

Después del terremoto, el ejecutivo nacional, por disposición del entonces presidente Raúl Leoni, en resolución Número 10 del Ministerio de Obras Públicas, de fecha 3 de agosto de 1967, publicada en Gaceta Oficial Número 28.395 de la misma fecha, nombró una comisión con la finalidad de investigar las causas que provocaron fallas en las edificaciones del Área Metropolitana de Caracas y el Litoral Central. El ministro de Obras Públicas era en ese momento, Leopoldo Sucre Figarella.

La comisión desarrolló el trabajo en dos fases. En la primera fase se estudiaron los edificios dañados donde hubo pérdidas humanas. En la segunda fase se acometió el estudio integral de los efectos del sismo. El informe abarcó la evaluación de los proyectos y las prácticas de construcción, análisis estructural de edificaciones dañadas y no dañadas, así como estudios de mecánica de suelos, geofísicos, y sismológicos para determinar la influencia del subsuelo en la respuesta de los diferentes tipos de edificios (Fuente: Informe presidencial).

La Comisión distribuyó el trabajo en tres subcomisiones: asuntos municipales, mecánica de suelos y estructuras. Se contó con apoyo de la cooperación internacional, particularmente con la asesoría de los profesores Nathan M. Newmark, Harry B. Seed y Robert V. Whitman de las Universidades de Illinois, California (Berkeley) y M.I.T (Instituto de Tecnología de Massachusetts), respectivamente. Los miembros de la comisión fueron los ingenieros: José Sanabria, Edgar Pardo Stolk, Alberto E. Olivares, Pedro Pablo Azpúrua, Blas Lamberti, Hugo Pérez La Salvia, Andrés Sucre E., Félix Briceño E., Silvestre Castellano E., Paul Lustgarten y Manuel A. Planchart. En los trabajos se contó con la colaboración del Colegio de Ingenieros de Venezuela y sus sociedades técnicas, el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la UCV (IMME), la Ingeniería Municipal del Distrito Federal, la Ingeniería Municipal del Distrito Sucre del Estado Miranda, el laboratorio del Ministerio de Obras Públicas (MOP), entre otras instituciones venezolanas.

Además de la Comisión de once personas nombrada por el MOP, se creó una Comisión nombrada por el Ministerio de Minas e Hidrocarburos, por resolución número 1182 del 4 de agosto de 1967, integrada por siete miembros, geólogos, geofísicos y sismólogos para determinar causas, características y consecuencias del sismo.

El primer informe de tres volúmenes fue presentado al ministro de Obras Públicas el 28 de marzo de 1968. El segundo informe tomó casi nueve años. Los estudios de la segunda fase comenzaron a mediados de 1968. Después renunció el doctor Pardo Stolk y se incorporó el ingeniero León Arocha Carvajal. En 1969, Félix Briceño E. asumió el papel de secretario ejecutivo. Los trabajos para llevar adelante el informe fueron accidentados y hubo problemas de financiamiento.

Uno de los frutos de estos trabajos, fue la propuesta al Poder Ejecutivo para la creación de un instituto que se encargara del estudio e investigación de los sismos en Venezuela. Durante la primera presidencia de Rafael Caldera, finalmente se creó (mediante el decreto N° 1053, del día 27 de julio de 1972) la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS).

En junio de 1972 también se creó la Comisión de Defensa Civil, bajo los auspicios de Fundación Fondo de Solidaridad Social (FUNDASOCIAL). Ésta había sido creada en 1968 para coordinar recursos a fin de prevenir y reparar daños causados por desastres naturales.

Con base en la evaluación inicial de daños suministrada por la comisión presidencial de socorro y evaluación, se elaboró un cuadro que aparece en el informe publicado en 1968, donde se refleja un resumen de las estructuras que resultaron afectadas por el sismo ([Tabla 1-1](#)).

Tabla 1-1: Resumen de daños del sismo de 1967
(Fuente: Primer informe presidencial).

TIPOS DE EDIFICACIÓN						
NIVEL DE DAÑO	I	II	III	IV	V	TOTALES
MENOR	-	230	29	1040	5	1304
MAYOR	-	65	18	140	4	227
GRAVE	-	31	5	210	5	251
DERRUMBE	-	8	2	10	-	20
TOTALES	-	334	54	1400	14	1802

Los tipos de edificación se clasifican en la **Tabla 1-1** de la siguiente manera:

I: edificios con estructura metálica.

II: edificios con estructura de concreto.

III: casas o quintas modernas que transmiten la carga a la cimentación por medio de columnas o paredes de cargas trabadas con elementos de concreto o acero.

IV: Casas viejas de paredes de tapia o adobe, la mayoría ubicada en el casco de la ciudad.

V: Iglesias antiguas, capillas, etc.

1.2. CARACAS: UNA CIUDAD CON HISTORIA SÍSMICA

El sismo de 1967 tomó por sorpresa a la población de Caracas, que se encontraba muy poco preparada para enfrentar un desastre de esta naturaleza. La memoria colectiva es corta, ya que Caracas tiene una historia sísmica bien documentada. Antes de 1967 se pueden citar al menos cuatro sismos destructores, que afectaron la capital.

En 1641 se tienen noticias de un terremoto que causó gran destrucción en Caracas y devastó la ciudad de La Guaira. Ocurrió el 11 de junio, y se conoce como el terremoto de San Bernabé, porque en esa fecha la Iglesia Católica festeja el día del santo. Se dice que el loco Saturnino, personaje popular que recorría las calles de la época cantando y recitando versos de su autoría, predijo el destructor evento. El número de muertos se estimó en un total de entre 84 y 200, en la Guaira y Caracas.

El 21 de octubre de 1766 al amanecer, se sintió un fuerte terremoto en extensas áreas del país: desde Maracaibo hasta los actuales estados Sucre y Nueva Esparta, se reportaron daños. La ciudad de Cumaná quedó totalmente destruida. En Caracas, las iglesias de San Pablo, San Lázaro, la Catedral y otros templos sufrieron daños severos.

El terremoto del 26 de marzo de 1812 es muy conocido por sus repercusiones históricas. Se dice que ha sido el terremoto más destructivo en la historia del país. Causó miles de muertes y afectó numerosas ciudades. Existe discusión sobre si se trató de un solo terremoto o si fueron varios eventos ocurridos en un intervalo de pocas horas, con distintos orígenes. Hubo réplicas por varios días, incluyendo la del 4 de abril, que fue la más fuerte. El 26 de marzo de 1812 fue un jueves Santo. El evento telúrico destruyó ciudades en poder de la Primera República, como fueron: Caracas, La Guaira, Mérida, El Tocuyo y San Felipe. En cambio, las ciudades realistas de Coro, Maracaibo y Angostura resultaron indemnes. Por ello, el clero realista declaró que el terremoto era un castigo divino contra las ansias independentistas de los rebeldes. En Caracas, ante la ciudad destruida, se dice que Simón Bolívar pronunció entonces su célebre frase: «¡Si la Naturaleza se opone, lucharemos contra ella y haremos que nos obedezca!».

El 29 de octubre de 1900, un fuerte terremoto afectó las ciudades costeras de Macuto, Caraballeda, Naiguatá, Carenero, Higuerote. También se sintió en Guatire, Guarenas y en Caracas; dejó 20 casas destruidas, veintiún muertos y numerosos heridos. Este sismo tiene la particularidad de haber sido el primero registrado por la Red Mundial. Se dice que el general Cipriano Castro, al sentir la sacudida, se tiró por una de las ventanas de la Casa Amarilla con un paraguas, y se fracturó un pie.

1.3. CARACAS CINCUENTA AÑOS DESPUÉS

El sismo de 1967 encontró una Caracas moderna, en pleno crecimiento, que celebraba el año cuatricentenario de su fundación. En los barrios marginales de la Caracas de entonces, se estimaba que existían unos 100.000 ranchos, con una población global que no alcanzaba las 500.000 personas (la población de Caracas era de unas 1.800.000 personas, por lo que la población en los barrios constituía menos de un 30% del total)¹. La densificación de los barrios se aceleraba progresivamente, y en esa época la mayoría de los ranchos tenían de uno a dos pisos.

Cincuenta años después, en 2017, el panorama ha cambiado mucho. Actualmente se estima que más de la mitad de la población caraqueña habita en viviendas informales, en ranchos que exhiben hasta seis y siete pisos de altura. Los barrios ocupan aproximadamente una cuarta parte de la huella urbana, más de cuarenta kilómetros cuadrados. Se estima que en ellos, la densidad de viviendas es hasta tres y cuatro veces mayor que en las zonas de la ciudad formal, y que albergan más de cuatrocientos habitantes por hectárea, sumando una población superior al millón y medio de personas². Los efectos de un terremoto como el de 1967 en los barrios de hoy podrían ser gravísimos. Sin necesidad de un terremoto, muchos de los barrios se ubican de por sí en terrenos inestables, muy cercanos a quebradas, en zonas muy vulnerables. En épocas de lluvias, se pone de relieve esta situación, que anualmente deja numerosas víctimas y damnificados. Es prioritario reubicar a la población que ocupa las zonas de mayor riesgo en los asentamientos informales.

También la ciudad formal ha crecido. A raíz del terremoto de 1967 se actualizaron algunas normativas de diseño estructural y se profundizó el estudio de la amenaza sísmica en el país. Sin embargo, existen edificaciones, en especial las que se construyeron en los años 70 y décadas anteriores, que no cumplen con las normativas sísmicas vigentes actualmente. La tarea de evaluar la vulnerabilidad de edificaciones existentes y de emprender proyectos de readecuación sísmica en los casos que lo ameriten, es una tarea todavía pendiente. En especial, es prioritario evaluar escuelas, hospitales, edificios públicos, estructuras de servicios eléctricos, hidráulicos, de comunicaciones, vialidad, puentes, entre otras, y garantizar su seguridad ante la eventualidad de sismos de probable ocurrencia en Caracas.

Otro factor que incrementa la vulnerabilidad es el hecho de que la ciudad se ha densificado sin mayor planificación. En las quintas de las urbanizaciones se observa la proliferación de “anexos” y pisos adicionales de construcción precaria. Además, se han implementado planes públicos de construcción de edificios (Gran Misión Vivienda Venezuela), sin considerar variables y ordenanzas urbanas. Los servicios públicos han colapsado. En muchas zonas de Caracas, se observan aguas negras corriendo por las calles, alcantarillas desbordadas, taludes erosionados y calles en muy mal estado.

Un aspecto importante a considerar tiene que ver con el abastecimiento de agua potable. La mayor parte del agua consumida en Caracas, un 95%, proviene de los Valles del Tuy. Para servir a Caracas, las

¹ Cálculos estimados a partir de estadísticas de la época y un estudio de la UCAB consultado en el sitio del Centro Gumilla: gumilla.org/biblioteca/bases/biblio/texto/SIC1971340_469-472.pdf

² <http://prodavinci.com/2016/06/17/ciudad/mapeo-de-los-barrios-de-caracas-por-elisa-silva/>

tuberías y acueductos principales atraviesan sistemas de fallas sísmicas activas. El colapso de la red hidráulica, en caso de sismos, es un riesgo que amerita estudio y la toma oportuna de medidas preventivas. También es patente la vulnerabilidad de los accesos viales a Caracas. En 2006 colapsó el viaducto de la autopista Caracas-La Guaira, única vía que comunica con el aeropuerto internacional de Maiquetía y con el puerto de La Guaira. Este hecho dejó a la ciudad virtualmente incomunicada por varios días, y con un acceso precario por varios meses, mientras se construía el nuevo viaducto. Hoy en día, diez años después, no existen otras alternativas viales en funcionamiento. La construcción de apropiados accesos a la ciudad es una tarea fundamental en el fortalecimiento de su resiliencia, ya que en caso de un evento catastrófico, el auxilio a la población y el abastecimiento de alimentos, agua, medicinas depende de las facilidades de acceso a la ciudad.

1.4. AMENAZA SÍSMICA Y VULNERABILIDAD: ALGUNOS TEMAS SOBRE EL RIESGO EN CARACAS

Con la presentación de este libro se trata de recordar la catástrofe del sismo de Caracas de 1967, y sobre todo, hacer un llamado a la necesidad urgente de tomar medidas de prevención. Cincuenta años después, en 2017, la ciudad es más vulnerable. Es imperativo tomar en cuenta la variable sísmica y en general, las amenazas naturales, a la hora de construir nuevos desarrollos habitacionales y de emprender programas de rehabilitación de barrios. Las medidas de prevención deben incluir la revisión y actualización de las normativas vigentes, tareas en las que Venezuela presenta un rezago importante con respecto a otros países de la región. Asimismo la evaluación de la vulnerabilidad de infraestructuras estratégicas y edificaciones importantes, y su refuerzo, son acciones también urgentes para establecer prioridades en los programas de rehabilitación y readecuación sísmica a fin de reducir los riesgos de desastres.

Lo cierto es que la gestión pública necesita incorporar de manera integral y con una visión de desarrollo del país, en todos sus planes y proyectos, el manejo de los riesgos naturales y su mitigación. Es necesario estimular el conocimiento de la población, la formación de profesionales y técnicos, y el fortalecimiento de las instituciones públicas en materia de prevención y reducción de riesgos de desastres. Son retos y tareas por enfrentar, en la vía de construir una sociedad resiliente y un desarrollo sustentable para el país.

En este libro se discuten temas relacionados con esta extensa problemática asociada a la vulnerabilidad de la ciudad de Caracas, así como aspectos necesarios a tomar en cuenta para la disminución del riesgo y el fortalecimiento de la resiliencia.

El libro recopila información actual pertinente, de expertos del mayor nivel nacional (la mayoría de los autores son miembros de la Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat), sobre temas de atención urgente, relacionados con las tareas de reducir los riesgos de ocurrencia de un desastre importante en la ciudad de Caracas, sobre todo ante la amenaza de ocurrencia de un terremoto. Constituye un importante aporte que muestra las capacidades actuales en la planificación y análisis para la reducción de riesgos de desastres por terremotos en Caracas y en el país.

El libro incluye contribuciones en los siguientes aspectos:

- Amenaza y vulnerabilidad urbana:
 - problemática de la vivienda y su perspectiva a nivel latinoamericano;
 - amenaza sísmica y características y microzonificación del valle de Caracas;
 - pobreza y vulnerabilidad;
 - vulnerabilidad de las edificaciones;
 - vulnerabilidad de la vivienda autoconstruida;

- vulnerabilidad de la vialidad y de la infraestructura de servicios;
- vulnerabilidad del conjunto urbano;
- estimación de las capacidades resistentes de las viviendas informales;
- evaluación de la amenaza y del riesgo en distintas zonas de la ciudad;
- potenciales de derrumbes.
- estimación de costos y daños asociados a potenciales desastres de origen sísmico.
- Aportes para la recuperación y reducción de la vulnerabilidad:
 - tecnologías para la rehabilitación estructural y el fortalecimiento de la resiliencia;
 - propuestas de renovación urbana;
 - consideraciones relativas a la prestación de servicios básicos para la ciudad;
 - sobre la atención de emergencias.
- Análisis de la evolución de la ingeniería sísmica y de la ingeniería forense a partir del terremoto de 1967.
 - importancia de los estudios y esfuerzos realizados en el país para la reducción del riesgo de desastres luego de la ocurrencia del terremoto de 1967.
 - perspectivas para esfuerzos futuros.
 - revisión de casos de interés para el sector productivo nacional.

Para terminar esta introducción, es bueno resaltar que los aportes de los autores que colaboraron con este libro, representan una importante confluencia e integración de experiencias en las áreas de:

- análisis científico,
- desarrollo de proyectos estructurales, de suelos y urbanos,
- conducción de instituciones para la planificación y definición de programas y políticas públicas para el desarrollo urbano frente a la amenaza de ocurrencia de desastres.

Marianela Lafuente
Carlos Genatios



2. LECCIONES Y TRASCENDENCIA DEL TERREMOTO DE CARACAS DE JULIO DE 1967

Autor: José Grases G.

2.1. EL EVENTO Y SUS REPERCUSIONES INMEDIATAS

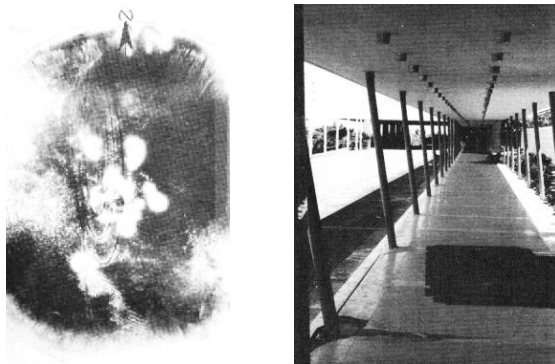
Buena parte de la casuística que ilustra esta contribución y sus lecciones, proviene de trabajos publicados. Otros constituyen: (a) trabajos de Consultoría solicitados a la empresa CORAL 83 SRL; (b) resultados de trabajos de campo realizados por el autor para diferentes organismos; (c) informes recibidos por el autor de colegas en situación similar al punto (b) anterior, no siempre publicados.

2.1.1. Antecedentes

En 1939, el Dr. Alberto Olivares (1908-2006), destacado Ingeniero Estructural adscrito al Ministerio de Obras Públicas de Venezuela (MOP), elaboró una primera versión de Normas Sísmicas que se mejoraron el año 1947. Ya para 1955, se contó con una versión más actualizada, aun cuando sus prescripciones no se adecuaron a las más modernas del momento. Una propuesta de modernización elaborada por los Ingenieros Julián De La Rosa (1927-1993) y Oscar Urreiztieta (1928-2008), publicada en la Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela, (De La Rosa y Urreiztieta, 1953), no fue atendida. Por tanto, la versión de 1955 mantuvo su vigencia hasta la fecha del sismo de Caracas.

2.1.2. Breve Descripción del Evento, su Registro y Condiciones Locales

El 29 de julio de 1967, un sábado a las 8 PM, Caracas fue sacudida por un intenso temblor de tierra. Las agujas de los sismógrafos del Observatorio Cagigal excedieron el rango de registro y, con base a otras estaciones del área, la magnitud del sismo se evaluó entre 6.3 y 6.5. Un sismoscopio ‘artesanal’, consistente en un casquete esférico de vidrio ahumado por dentro, fijo al terreno tipo roca del Observatorio, y con una munición de metal libre de desplazarse, dejó el único registro instrumental el cual fue evaluado por el Sismólogo Günther Fiedler (1968; 1969). Con base en las trazas que dejó este equipo **Figura 2-1 a)**, se logró inferir el espectro de la sacudida en el Cagigal, una componente predominante Norte a Sur, o viceversa, para amortiguamiento igual a 2.9% del crítico. En la **Figura 2-1 b)**, el desplazamiento permanente de uno de los pasillos del hotel Macuto Sheraton, es consecuencia de un pulso en dirección Sur a Norte.



a)

b)

Figura 2-1: Dirección del sismo de 1967.

a) Evidencia del registro en el Sismoscopio del Observatorio Cagigal. Obsérvese los trazos elípticos de la munición, de libre desplazamiento, en la dirección Norte-sur o Sur-norte (Fuente: Fiedler, 1969, p. 188). b) Desplazamiento permanente consecuencia del sismo de 1967, de un techo de concreto, soportado por columnas metálicas; nivel playa del Macuto Sheraton. Foto desde el Oeste hacia el Este, o sea pulso Sur-Norte. (Fuente: a) Fiedler, 1969; b) propia).

2.1.3. Respuesta del Estado y Medidas de Emergencia

Esa misma noche, el Ministro de Obras Públicas designó la *Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo* (CPES), según consta en Gaceta Oficial N° 28.395 del 3 de agosto de 1967. Esta mantuvo como centro de operaciones el *Colegio de Ingenieros de Venezuela* (CIV) y, muy rápidamente, se conformaron Comisiones de Ingenieros para evaluar los daños en la zona urbana de Caracas. Como resultado de estas inspecciones se recomendó el apuntalamiento de algunas edificaciones, especialmente en el área de Los Palos Grandes, una de las áreas más afectadas de la ciudad. En esa urbanización colapsaron cuatro edificaciones con 10 u 11 niveles; otras edificaciones colapsaron total o parcialmente en el área urbanizada de Caraballeda, Litoral Central del estado Vargas.

2.1.4. Nuevos Órganos de Evaluación y Registro

La CPES organizó la *Oficina Técnica Especial del Sismo* (OTES) cuya función principal fue la de evaluar las razones del desempeño de algunas de las estructuras afectadas por el sismo, así como establecer criterios para: reparar, reforzar o demoler. Intervinieron en la OTES los profesionales más experimentados en el proyecto de estructuras. Desafortunadamente, hasta el día de hoy no se ha logrado encontrar el paradero del valiosísimo archivo de esa *Oficina*; se guardó allí, información que facilitaría la comprensión de casos singulares aún en estudio hoy en día.

Un año después del sismo la CPES publicó en tres volúmenes (A, B y C) los resultados de *La Primera Fase del estudio de los Edificios Derrumbados*. Años después, en 1972, se logró la creación de un organismo que centralizaría la información sísmica del país. Denominada *Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas* (FUNVISIS), ésta cubre un amplio campo de trabajo: evaluación de sismogramas, actualización de Normativas, estadística de eventos, análisis de registros acelerográficos recuperados en el país, investigaciones tectónicas, envío de misiones a zonas afectadas por sismos recientes, estudios de micro-zonación y otros. En la actualidad, FUNVISIS se encarga de mantener la Red Sismológica Nacional, la cual está constituida por 38 estaciones de Banda Ancha distribuidas en las zonas de mayor actividad sismológica del país (cf. www.funvisis.gob.ve).

Los datos recabados por los sismómetros de estas estaciones son enviados a la central para su análisis y procesamiento. En la actualidad, no se conoce a cabalidad el estado de la red, ni cuántos de los sismómetros se encuentran funcionando correctamente, ya que se dice que el hampa ha hecho desaparecer o dañado, algunas estaciones. Los profesionales de la Ingeniería echan de menos la publicación de los informes de las misiones enviadas a zonas afectadas por sismos intensos en Venezuela, sucedidos con posterioridad al de 1967; sin duda una información útil para el avance de la *Ingeniería Sísmica Forense*.

2.1.5. Ejemplo de Ingeniería Forense

Este caso, sucedió en Udine, zona del Friuli, Italia, en 1976. La Misión de Estudio encontró el edificio que se da en la **Figura 2-2 a)** en ruinas, las cuales muy poco ilustraban sobre el motivo de su derrumbe. Fotografías tomadas por los lugareños pocos días después del sismo, revelaron que el edificio había quedado en pie. Se trataba de una edificación conformada por una planta baja relativamente libre de tabiquería, seguida de dos niveles considerablemente más rígidos por la densidad de su tabiquería. Bajo la acción del sismo, la edificación quedó desplazada hacia un costado, como consecuencia de las articulaciones formadas en los extremos de las columnas de concreto armado de su planta baja, **Figura 2-2 b)**. Una réplica del sismo principal, acabó de desplomar el edificio, cuyas ruinas se mostraron en la **Figura 2-2 a)**; de allí la premura que generalmente se presenta luego de un sismo ruinoso. Como referencia que se trata del mismo caso, obsérvese la torre de alta tensión en la parte posterior del edificio.

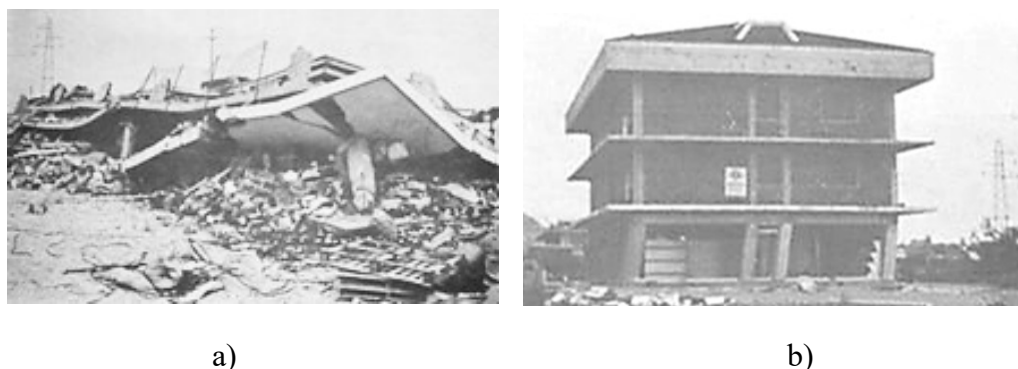


Figura 2-2: Sismo de Friuli.
a) Post-réplica. b) Efectos del sismo principal. (Fuente: Propia)

2.2. NORMAS DE CARÁCTER PROVISIONAL

2.2.1. Contenido de las Normas

Tres meses después del sismo de 1967, una Comisión ad-hoc, presidida por el Ingeniero José Sanabria (1908-2006), aprobó nuevas Normas con carácter provisional. Entre los aspectos de su contenido, destacan: (a) Los coeficientes sísmicos de diseño, para la evaluación de estructuras afectadas por el sismo y/o proyecto de nuevas edificaciones, función de las condiciones locales del subsuelo; (b) Nuevo mapa de zonación, en el cual Caracas queda en la misma zona sísmica que Cumaná, que en todas las Normas ha sido la de mayor peligrosidad del país; (c) Recomendaciones para el armado en zonas críticas de las estructuras portantes, en la cuales pudieran formarse rotulaciones con fuerte demanda inelástica; (d) Para edificaciones de más de 20 niveles o 60 m de altura, en ese documento se permitía el empleo de espectros de respuesta, los cuales no fueron indicados en las Normas; (e) Se advierte que, tomando en consideración las incertidumbres y conocimiento limitado que aún persistían sobre el tema, el cumplimiento de las Normas no podía considerarse una garantía de seguridad.

2.2.2. Espectros de Diseño

Dos años después, se difundieron en publicación del Banco Nacional de Ahorro y Préstamo (BANAP), recomendaciones para el empleo de espectros de respuesta, función del tipo y ductilidad del sistema estructural, así como del tipo de suelo (Abenante y Grases, 1969). Aparte de la laguna que dejó la Norma Provisional, parte de la motivación de este trabajo fue el presentado por el Profesor Luis Esteva M. en un Congreso celebrado en Caracas, pocas semanas antes del sismo de 1967 (Esteva, 1967).

2.2.3. Actualización de la Norma en 1982

Entre las ejecutorias de FUNVISIS, debe citarse que, durante 1982, las Normas Sísmicas -provisionales desde 1967- fueron objeto de una cuidadosa revisión con fuerte influencia del Applied Technology Council (ATC 3-06) de 1978, por parte de un amplio Comité de profesionales; estas fueron aprobadas ese mismo año. El Ingeniero Arnim de Fries (1936-2010), quien participó activamente en las discusiones de los viernes por la tarde, dejó claramente sentada la tarea que teníamos por delante. Dijo: *“Las Normas no pueden ser un recetario, ni tampoco un texto explicativo, pero deben cumplir ambas funciones”*. Esta frase, dio origen a los Comentarios que acompañan a la Norma, posteriormente identificada como Norma Covenin 1756 (1982), documento bautizado en La Casona por el Presidente Herrera Campins.

2.3. ACTUALIZACIÓN ACADÉMICA DE LA PROFESIÓN

A inicios del mes de julio de 1967, se celebraron en Caracas las *XII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural* y el *V Congreso Sudamericano de Ingeniería*, evento al cual asistió un destacado grupo de profesionales de la Ingeniería Hispanoparlante. Entre las conferencias destacadas de esta reunión técnica, resulta obligado citar aquí, el trabajo ya mencionado del Profesor Luis Esteva de la UNAM, México (Esteva, 1967).

2.3.1. Particularidades del Sismo de 1967

Las características de los efectos del sismo en una ciudad moderna, de unos dos millones de habitantes -incipientes barrios marginales aparte- y unas mil edificaciones de 10 o más niveles que ya alcanzaban los 30 niveles (MOP, 1967b), despertaron el interés de los profesionales, nacionales o de otros países, interesados en la materia. Adicionalmente, el evento destacó por dos características importantes: (i) la relativamente corta duración de la fase más intensa del evento, y; (b) la secuencia de pocas réplicas, si bien sentidas por la población, de corta duración e intensidad limitada. Por estas razones, en las áreas de mayor intensidad, aquellas con mayores espesores de aluvión, en adición a los cuatro edificios colapsados -origen de las cerca de 300 víctimas que dejó el sismo- entre unas 15 a 20 edificaciones con alturas de hasta 21 niveles, mostraban daños estructurales en su progreso hacia el desplome. Toda una valiosa lección sobre los estados últimos de una variedad de estructuras de concreto armado, que atrajo la atención de Ingenieros de todos los continentes, con un balance de más de 300 publicaciones sobre lo que hoy se conoce como la *Ingeniería Sísmica Forense* (Ugas et al., 1983).

2.3.2. Ciclo de Conferencias de Especialistas

Visto el limitado nivel de conocimientos y experiencia por parte de nosotros -los profesionales de la Ingeniería Estructural en Venezuela-, se organizó un ciclo de Conferencias Magistrales en el seno del CIV durante 1970, patrocinado por la *Asociación Venezolana de Productores de Cemento* (AVPC). Colaboraron allí los Profesores: N. M. Newmark (1970), H. Roy (1970), M. A. Sozen (1970). H. B. Seed, y R. B. Whitman. El Profesor Joaquín Marín, Jefe del Departamento de Estructuras de la Facultad de Ingeniería de la UCV, grabó y tradujo al castellano las lecciones, experiencias y recomendaciones de estos destacados profesionales de la Ingeniería Sísmica. Desafortunadamente, no se aprovechó la presencia de tan destacados especialistas en la materia, para la ya retrasada actualización de la Norma Provisional.

2.3.3. La Maestría en Ingeniería Sismo-resistente

Entre los investigadores que estudiaron el ‘escenario Caracas y Caraballeda’ se encontraban los Ingenieros Julio Ferry Borges y Arthur Ravara del *Laboratorio Nacional de Enghenairia Civil* (LNEC) de Lisboa. Éstos ya habían evaluado sismos anteriores: Agadir, 1960; Skopje, 1962; Alaska, 1964 y Niigata, 1964. De común acuerdo con el Decano de la Facultad de Ingeniería, Profesor Héctor Isava, y el interés del Rector de la UCV, Profesor Jesús M. Bianco, el LNEC convino en dirigir estudios hacia una mejor comprensión del desempeño de las estructuras afectadas por el sismo de Caracas, tarea que se desarrolló a partir de setiembre de 1967 hasta agosto de 1968, de común acuerdo con OTES. Una síntesis de resultados se presentó en el Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica, celebrado en Santiago de Chile en 1969 (Borges et al., 1969).

Los ensayos de laboratorio de algunas partes de los edificios colapsados o dañados, se realizaron en el *Instituto de Materiales y Modelos Estructurales* (IMME) de la Facultad de Ingeniería, UCV (como ilustración se citan aquí entre los publicados: L. A. Vigneri, 1967; J. Luchsinger, 1972); se realizaron estudios y análisis de los efectos del sismo de 1967, conjuntamente con la Escuela de Geología de la

Facultad de Ingeniería de la UCV, lo cual facilitó una visión amplia del problema. Estas fueron razones para que la *Organización de Estados Americanos* (OEA) declarase a la Facultad de Ingeniería de la UCV, Centro de Excelencia a Nivel Sudamericano y, desde inicios de los años 70, se ofreciese a profesores y profesionales de la citada región, becas para inscribirse en la UCV con el objetivo de seguir la Maestría en la especialidad de Ingeniería Sismo-resistente.

En Julio de 1973 se iniciaron las actividades docentes, con la asistencia como estudiantes de postgrado, de profesionales de seis países: República Dominicana, Colombia, Ecuador, Perú, Costa Rica y Venezuela. Se conformó así un valioso crisol de intercambio de experiencias, que mantuvo su continuidad durante los años subsiguientes. Esto ha quedado enriquecido con publicaciones de autoría venezolana, así como en Talleres y Congresos organizados en el país desde los años 80 en adelante.

2.3.4. Comisiones de Normas de Ministerios del Estado (Covenin)

No debe ignorarse aquí la creación durante los años 60 de la *Comisión Venezolana de Normas Industriales* (Covenin), organismo que, muy rápidamente, adoptó como oficiales -de aplicación obligatoria en todo el país- un conjunto de documentos que se extendían desde los ensayos de materiales, hasta las normas para el proyecto y evaluación de estructuras. Buena parte de esos documentos se originaron en las Comisiones de Normas de diferentes Ministerios. El manejo y distribución de tales Normas quedó en manos del Fondo de Normalización (Fondonorma) de carácter no gubernamental.

El Ministerio de Obras Públicas, organismo creado en 1874, fue desmembrado en 1977. Sus tareas se repartieron en tres nuevos Ministerios: el de Transporte y Comunicaciones (MTC); el del Desarrollo Urbano (Mindur) y; el del Ambiente y Recursos Naturales Renovables (Marnr). Correspondió a la Comisión de Normas de Mindur hermanar las nuevas Normas de Diseño Sismo-resistente aprobadas en 1982, con las de Concreto Armado, Pretensado y Acero. Igualmente, la Industria Petrolera estableció un conjunto de documentos, inicialmente Especificaciones internas y luego Normas Covenin, a ser cumplidas por los suplidores de equipos a la citada industria (Covenin 3621-2000a; 3622-2000b; 3623-2000c), así como la verificación de instalaciones en servicio.

2.4. CONFIABILIDAD DE NUEVOS PROYECTOS O DE OBRAS EXISTENTES

2.4.1. El Problema

A uno de nuestros más cuidadosos proyectistas de estructuras en zonas sísmicas, se le preguntó: “¿Cuán seguras contra terremotos son las edificaciones que Usted ha proyectado?” Su respuesta fue: “Mira, no lo sé. Lo que he hecho es cumplir lo que establecen las Normas vigentes”. Si tomamos en cuenta que no son infrecuentes los cambios de Normativas, la respuesta de ese reconocido especialista podría arrojar dudas sobre la seguridad de estructuras proyectadas y construidas con base a criterios que posteriormente hayan sufrido modificaciones. La necesidad de intervenir algunas edificaciones diseñadas y/o concebidas con criterios obsoletos, ha sido materia de preocupación en el área de Caracas pues su historial sísmico se extiende al menos a cinco sismos destructores (Grases et al, 1999).

El último gran sismo en el área, antes del de 1967, sucedió el 29 de octubre de 1900, con epicentro frente las costas de Cabo Codera. Este sismo afectó “la ciudad de los techos rojos” y fueron los campanarios de las iglesias los que más sufrieron. En la actualidad, es necesario realizar programas públicos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones en Caracas, especialmente de: escuelas, hospitales, oficinas públicas y estructuras estratégicas como puentes, torres de transmisión, edificaciones

industriales, etc, y atender aquellas que presenten problemas en barrios de construcción informal (véase: Lafuente y Genatios, 1998). Desafortunadamente, aunque la amenaza de un sismo destructor en Caracas está siempre presente, la actual crisis económica del país dificulta estas tareas. Sin embargo, el problema es acuciante. Acaso con la excepción de unas pocas regiones del continente, donde la frecuencia de grandes sismos ha dejado más lecciones y pareciera que puedan “convivir” con ellos, un porcentaje importante de nuestra población se encuentra bajo una amenaza no controlable, de naturaleza incierta. Estudios puntuales en edificaciones o instalaciones industriales, en Caracas y otras localidades del país, revelan que la confiabilidad (que puede expresarse probabilísticamente como una sustracción: $1 -$ la probabilidad de ruina) no siempre alcanza los valores deseables.

2.4.2. Exigencias Normativas

En Normativas recientes, como por ejemplo la Norma ISO 19.901-2 (2004) para el proyecto sismo-resistente de Plataformas Costa-fuera, se exige que, finalizado el proyecto, se calcule la confiabilidad a sismos de la estructura una vez construida según el proyecto aprobado. Tal confiabilidad se entiende como complemento de la probabilidad de ruina. Para esta última, la citada Norma ISO exige valores menores para las plataformas habitadas que para aquellas que no lo están. En la solución del problema resultan convenientes las llamadas “*curvas de fragilidad*”, que sintetizan: (a) la vulnerabilidad en términos de la probabilidad de alcanzar determinado “*estado de desempeño indeseable*” $P(EDI)$ -generalmente en ordenadas- en función de; (b) un parámetro que cuantifique la probabilidad de excedencia del movimiento del terreno (A_i) generalmente en abscisas -sea el movimiento en roca u ordenadas espectrales de cierto período (Hernández, 2009). Por tanto, la fragilidad se suele expresar como una probabilidad condicional: $P(EDI/A_i)$. La variación de la probabilidad de excedencia de (A_i), proviene del estudio de amenaza sísmica del sitio. Esta puede referirse a un horizonte de (t) años; en ese caso se expresa como $P(A_i/t)$. Más adelante, en esta explicación se adoptará que (t) sea igual a un año, lo cual es conveniente para comparaciones posteriores.

En la **Tabla 2-1** se reproduce la síntesis elaborada por Hernández, con las combinaciones de documentos que tuvieron vigencia simultánea entre 1939 y 2008. Tal como lo señala el autor en su trabajo: “....a lo largo de las últimas siete décadas han existido 9 variantes de normas sísmicas y 8 normas de diseño en concreto armado....”. Estas se pueden considerar como representativas de las exposiciones a un evento sísmico dado; por tanto, es preciso reconocer que la contribución hecha por Hernández construyendo las curvas de fragilidad para esas 17 variantes que se desprenden de la tabla, es un aporte sustancial a la sociedad toda.

Tabla 2-1: Normativas empleadas entre 1939 y 2008. Estructuras de Concreto Armado.
(Fuente: Hernández, 2009).

Normas de Diseño	Normas Sísmicas								
	MOP-39	MOP-1947		MOP-1955		MOP-67	Normas Covenin		
		$R_s \leq 2$	$R_s > 2$	No Ofic.	Ofic.		1756-82	1756-98	1756-01
MOP-1939	X								
MOP-1947		X	X						
MOP-1955				X	X	X			
MOP-CCCA,-67						X			
ACI 318-71						X	X		
ACI 318-80							X		
Covenin 1753-85							X	X	X
ACI 318-95 a 08								X	X

En la **Tabla 2-2**, se comparan las probabilidades de excedencia para edificios altos, correspondientes a los tres Niveles de Desempeño: Daños Moderados; Daños Severos y; Daños Totales, valores leídos de las curvas de fragilidad que se dan en el trabajo.

Tabla 2-2: Probabilidades de Excedencia para los casos de Edificios Altos.
(Fuente: Hernández, 2009, lecturas en sus Figuras 28 a 33).

GRUPOS DE NORMAS		NIVELES DE DAÑO (Estados de Desempeño)					
Organismo y año de Aprobación	Aceleración en Afloramiento Rocoso (g)	Moderado		Severo		Total	
		Depósitos Someros	Depósitos Profundos	Depósitos Someros	Depósitos Profundos	Depósitos Someros	Depósitos Profundos
MOP 1947	0.1	0.70	0.60	0.07	0.20	0.016	0.040
	0.3	1.00	1.00	0.8	0.90	0.400	0.600
	0.5	1.00	1.00	1.00	1.00	0.900	0.900
MOP 1955 (oficial)	0.1	0.40	0.18	0.002	0.01	0.0002	0.001
	0.3	1.00	0.70	0.20	0.40	0.050	0.180
	0.5	1.00	1.00	0.70	0.80	0.300	0.500
MOP 1967 (+ CCCA 67)	0.1	0.005	0.015	0.0001	0.0003	< 0.0001	< 0.0001
	0.3	0.25	0.24	0.02	0.090	0.004	0.018
	0.5	0.80	0.65	0.18	0.300	0.040	0.110
Covenin: (1756-82 + 1753-85)	0.1	0.002	0.0015	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
	0.3	0.20	0.05	0.015	0.012	0.001	0.002
	0.5	0.55	0.50	0.100	0.100	0.010	0.021
Covenin: (1756-01 + 1753-06)	0.1	0.001	0.003	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.001
	0.3	0.18	0.25	0.010	0.025	0.001	0.003
	0.5	0.50	0.60	0.080	0.080	0.018	0.040

La tabla se ha limitado a cinco grupos de Normas y tres niveles de aceleración en afloramientos rocosos. En esa tabla, queda claro que las Probabilidades de Excedencia en los diversos niveles de daño se reducen sustancialmente en la medida que se han actualizado las Normativas de obligatorio cumplimiento en los proyectos estructurales.

Obsérvese que, con las normativas del año 1982 en adelante, la probabilidad de excedencia de los niveles de Daño Severos o Total, para el caso de edificios altos, es inferior a 1×10^{-3} para 0.1g. Para 0.30g -exigido por la Norma vigente- las probabilidades de excedencia de Daño Total son iguales a 1×10^{-3} para depósitos someros y es 3 veces mayor en depósitos profundos. Las Normas en vigencia antes de 1967, reflejan en cierto modo los efectos constatados en el Valle de Caracas del último sismo intenso.

2.4.3. Evaluación Cuantitativa

De lo dicho se infiere que la probabilidad de que en un cierto lapso de tiempo (t), ocurra el (EDI) seleccionado, se puede obtener como la sumatoria de los productos que se dan en la fórmula (2-1), para todos los valores de (A_i). Esto es:

$$P(EDI/t) = \sum [P(EDI/A_i) \cdot P(A_i/t)] \quad (2-1)$$

Obsérvese que en ambas variables de los productos anotados en la sumatoria (multiplicando y multiplicador), los valores a emplear se obtienen como diferencia de valores consecutivos. O sea, por ejemplo, en la curva de fragilidad, el valor de la probabilidad de alcanzar el (EDI) para un cierto (A_i), expresado como $P(EDI/A_i)$ se puede obtener como resultado de la siguiente diferencia:

$$P(EDI/A_i) = P[EDI/(A_i + \Delta A_i)] - P[EDI/(A_i - \Delta A_i)] \quad (2-2)$$

donde (ΔA_i) es un valor suficientemente pequeño.

Para obtener el valor de la probabilidad de que ocurra el movimiento del terreno $P(A_i/t)$, basta obtener los valores correspondientes a las diferencias $P(A_i + \Delta A_i) - P(A_i - \Delta A_i)$ en la curva del valor (t) seleccionado. Supuesto $t = 1$ año, se tendría:

$$P(A_i) = [P(A_i + \Delta A_i) - P(A_i - \Delta A_i)] \quad (2-3)$$

El resultado de la sumatoria para todos los valores de (A_i) de los productos indicados en la fórmula (2-1) [vulnerabilidad x amenaza], es una buena aproximación de la confiabilidad a eventuales sismos futuros, de una nueva edificación, instalación o sistema, así como de algunas ya construidas.

Un ejemplo relativamente reciente, tiene que ver con la confiabilidad de un terminal de gas licuado ubicado en un puerto del Caribe. Los valores de la *amenaza sísmica* $P(A_i/t)$, empleados por el proyectista original en 2005, subestimaban los que se obtuvieron en un nuevo estudio, sustentado por un modelo sismo-tectónico elaborado por especialistas en la materia con: la información tectónica actualizada y las nuevas regresiones de atenuación publicadas en 2008 y años subsiguientes. Por tanto, los valores que resultaban al aplicar la fórmula (2-3) con los valores originales, no eran representativos de la amenaza sísmica del sitio, ni de sus condiciones Geotécnicas. La actualización de estas últimas variables modificó el resultado del cálculo de la confiabilidad, con lo cual fue preciso revisar algunos aspectos del diseño del terminal de gas licuado, que se reflejan en las curvas de fragilidad -fórmula (2-2)- para satisfacer las limitaciones de vulnerabilidad a las acciones sísmicas corregidas.

2.5. ACCIONES PREVENTIVAS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES

Una de las virtudes del sismo de Caracas fue la formación de profesionales de la Ingeniería en la especialidad de la Sismo-resistencia. Un grupo se formó en el país y otros se entrenaron en otras latitudes, todo lo cual abrió las puertas a la profesionalización de acciones preventivas. Se citan a continuación algunas de esas acciones, comenzando por la primera que nos fuera solicitada en el IMME, Facultad de Ingeniería, UCV.

2.5.1. Planta Generadora de Energía Eléctrica en el Litoral Central del País

Hacia inicios de 1974, el Ingeniero I. Gerov de la *Electricidad de Caracas* (Elecar), acudió al citado Instituto para plantear una legítima inquietud: Elecar debía ampliar su planta de Tacoa, lo cual implicaba construir 3 chimeneas de una altura aproximada de 100 m y, según Gerov: “...esa es una zona sísmica”. Analizado el problema y convenido el alcance del trabajo, se realizó en ese momento:

- (i) uno de los primeros estudios de amenaza sísmica representativos del escenario sismo-tectónico del área, con la información de ese momento;
- (ii) (se modelaron las fundaciones y el cuerpo de la chimenea a ser proyectada, y
- (iii) se llevó a cabo un análisis dinámico para determinar las sollicitaciones esperadas por sismo en

las chimeneas, a ser entregado a la empresa proyectista.

La tarea identificada como (iii), toda una novedad en la Facultad, fue ejecutada por el Profesor Redescal Uzcátegui. El citado escenario sismo-tectónico fue elaborado con base a información suministrada por FUNVISIS y la Escuela de Geología de la UCV. Las regresiones entre magnitudes, distancias y movimientos máximos del terreno, empleadas en aquel momento, no tenían el sustento de las actuales, publicadas desde 2008 en adelante. Estas, de diversa autoría, cuentan con un amplio abanico de registros obtenidos en diversas latitudes del planeta. Estas se ofrecieron en *Earthquake Spectra*, 24 del año 2008 y ediciones posteriores

2.5.2. La Industria Petrolera

La experiencia ha demostrado que las instalaciones de la industria petrolera pueden ser vulnerables a las acciones sísmicas. Se presenta aquí un conjunto de casos que fueron evaluados con Especificaciones establecidas en 1992, revisadas y aprobadas como Normas de la Industria el año 2000 (Covenin 3621-2000a; 3622-2000b; 3623-2000c).

1. **Recipientes Verticales.** Los recipientes a los cuales se refiere esta Sub-sección son frecuentes en la industria petrolera para la separación de diferentes derivados del petróleo. Constan de un tubo metálico de espesor adecuado, apoyado en una falda con una abertura para acceso. Además de la presión de operación, usualmente se indican posibles valores de sobrepresión temporal, lo cual incrementa sus espesores. Por su configuración, las sollicitaciones sísmicas deben determinarse por procedimientos dinámicos de superposición modal. Constan de un tubo vertical, de sección capaz de soportar las presiones de operación, vinculado a algunas tuberías de pequeño diámetro, flexibles, con frecuencia ignorados en el modelo. Además del peso propio del tubo, deben estimarse las cargas internas: platos para retención de líquidos, eventualmente fracciones del peso del líquido y aditamentos indicados en los planos. Bajo acción sísmica, el espesor del tubo suele ser adecuado para resistir los máximos momentos flectores sumados a las tensiones de operación y eventuales correcciones por temperatura.
2. **Pandeo de un Recipiente por Sismo + Incendio.** Este recipiente sufrió los efectos del terremoto de Kern County en 1952, al cual se sumaron los efectos del fuego subsiguiente; según los estudios del caso, el pandeo probablemente fue efecto de las altas temperaturas locales.
3. **Falda de Apoyo de Ductilidad Limitada.** El tubo o recipiente, típicamente se encuentra soportado por una falda del mismo diámetro exterior, usualmente algo más delgada, soldada a la parte inferior del tubo, frecuentemente con un hueco por donde pueda acceder un operario (el ‘*manhole*’); este hueco queda reforzado por una lámina que evita el pandeo de la falda. La conexión de la falda a la fundación de concreto armado se realiza por medio de barras o pernos, anclados a la fundación, que transmiten los esfuerzos máximos (peso propio + momentos flectores actuantes, incluidos los efectos del sismo de diseño). En los recipientes más antiguos, la longitud libre de deformación de las barras o pernos de anclaje, suele ser muy pequeña, con lo cual la capacidad de deformación inelástica es limitada (**Figura 2-3**). Este problema merece atención y en la práctica se resolvió disponiendo barras adicionales, a lo largo de un círculo de mayor diámetro que la falda. Estas barras, también de mayor longitud, se seleccionaron de modo que su deformación cedente fuese compatible con la de las existentes, de tal forma que, además de incrementar el momento cedente del conjunto, se contase con una mayor reserva inelástica.

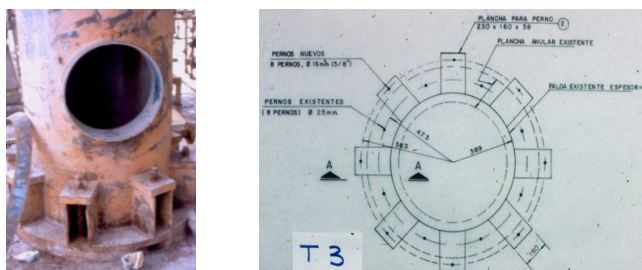


Figura 2-3: Tubo o recipiente con falda de Apoyo de Ductilidad Limitada.

Los pernos originales se encontraban en buen estado; la longitud libre para deformarse era limitada. Se dispuso un número similar de pernos, más alejados del centro del recipiente, de mayor longitud libre para deformarse. La cedencia de ambos grupos de pernos, sucede bajo el mismo momento flector. (Fuente: Coral 83, 1998).

4. **Pandeo de la Falda.** En uno de los casos estudiados, los momentos y fuerzas axiales más desfavorables alcanzaban a superar la resistencia al pandeo de la falda. En ese caso se incrementó el área e inercia de la falda soldando a esta, 12 perfiles paralelos al eje del recipiente. Sus longitudes soldadas abarcan: (a) toda la altura de la falda, y; (b) una parte del recipiente soldado a la falda, de longitud aproximadamente igual a un diámetro de esta, con las secciones del perfil L progresivamente reducidas hasta quedar en ‘punta de lanza’; de este modo se evitan indeseables cambios bruscos de rigidez. Los pernos de fijación a la fundación se verificaron para asegurar que soportasen ese incremento en el momento cedente.
5. **Demanda de Ductilidad en los 24 pernos de una fundación de un Recipiente Vertical.** Sean de planta circular, cuadrada, octogonal u otra, lo primero que debe verificarse en la fundación es su resistencia a los momentos flectores que se generan como consecuencia de la respuesta dinámica del recipiente. Pasado ese examen debe verificarse la resistencia al volcamiento del equipo, por deformación excesiva del terreno. Esta verificación se llevó a cabo en todos los recipientes analizados y, por métodos simplificados, el que se presenta, donde la demanda de ductilidad excedió la unidad en los 24 pernos de anclaje (Figura 2-4).

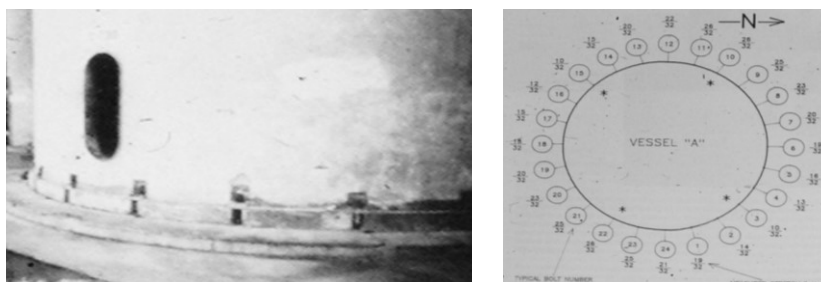
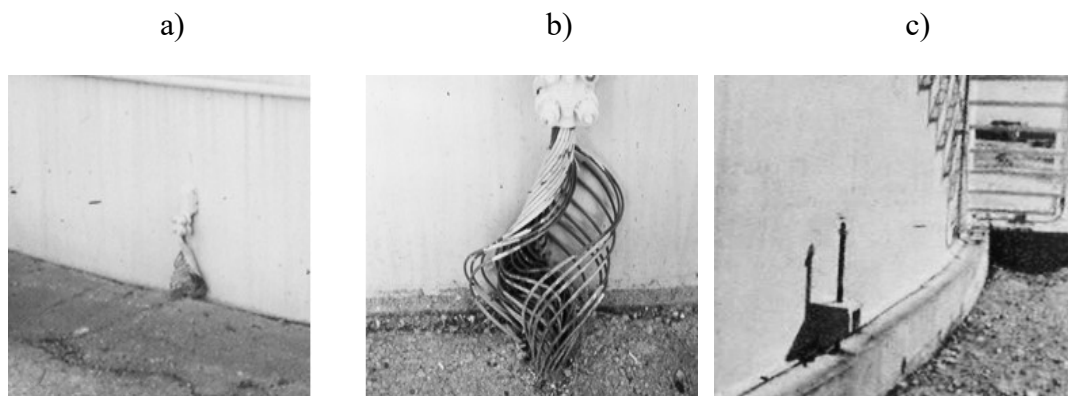


Figura 2-4: Recipiente Vertical ubicado a 140 km al Nor-este del epicentro del terremoto de Loma Prieta, 1989, M = 6.9, California. Anclado a la fundación con 24 pernos de 3", las elongaciones inelásticas fueron 26/32 de pulgada en la dirección Sur-este. (Fuente: Mendoza, 1990).

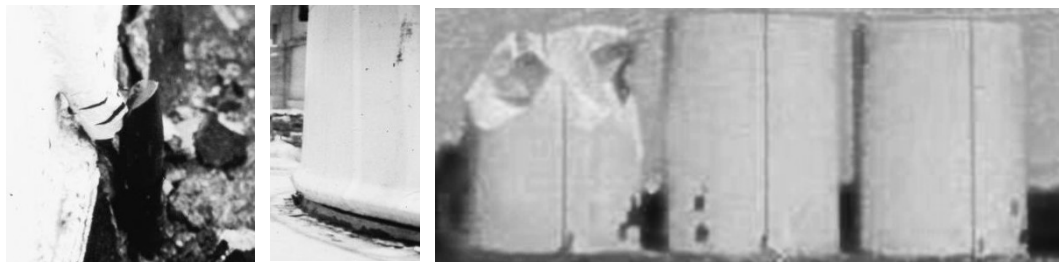
6. **Análisis Dinámico de un recipiente vertical de 73 m de altura y 800 toneladas de masa.** El trabajo se inició elaborando un modelo para el análisis dinámico del equipo, con 5.85 m de diámetro, 2.4 cm de espesor del recipiente, el cual trabaja con cierta presión interna (12.7 kgf/cm^2) y a temperaturas de 400°F . El modelo tiene un total de 37 juntas, separadas 2.0 m entre sí y la acción sísmica en la base fue establecida por el propietario, por medio de un espectro anclado en 0.33g. Para simplificar el trabajo, se decidió emplear un espectro anclado en 1.0g -3 veces mayor que el de referencia- con la misma forma espectral establecida. Una vez determinadas las propiedades dinámicas del equipo, se determinó la distribución de cortantes; para ello las contribuciones de los diferentes modos en los tres grados de libertad

seleccionados, debían alcanzar como mínimo el 90% de la masa participativa. Alcanzada esta condición, se procedió a verificar la seguridad de: el recipiente, la falda, los pernos de anclaje de 3" de diámetro, la seguridad de la fundación octogonal y los esfuerzos en el terreno de fundación. Siguiendo el esquema descrito en la [Sección 2.4.3](#) de este texto, se evaluó la confiabilidad del diseño.

7. **Tanques Metálicos de Pared Delgada.** Las evidencias en sismos pasados sobre el desempeño de tanques metálicos de pared delgada revelan dos aspectos a ser evaluados en tanques expuestos a sismos: (i) el líquido contenido en su interior genera solicitaciones impulsivas (una fracción del líquido que se considera “*adherido*” a las paredes del tanque) y; (ii) efectos convectivos (efecto del oleaje del líquido dentro del tanque) asociado a un muy pequeño amortiguamiento. Sus efectos conjuntos y en función de las dimensiones del tanque, densidad del líquido almacenado y dirección de la componente más fuerte del sismo, dan como resultado solicitaciones adicionales en las paredes del tanque y su eventual levantamiento ([Figura 2-5](#)).



[Figura 2-5](#): Evidencias de levantamientos de tanques metálicos de pared delgada, por efectos de sismos pasados. (Fuente: a y b) propia; c) Ugas, 1977).



[Figura 2-6](#): Fallas en tanques metálicos.

A la izquierda: falla frágil del anclaje inadecuado de un tanque. Figura central: pata de elefante en zona opuesta del anclaje fallado. Figura de la Derecha: grave implosión de un tanque, por la súbita pérdida total del vino tinto que contenía. Terremoto de San Juan, Argentina, 1977, $M = 7.4$. (Fuente: Ugas, 1977).

El levantamiento puede generar: (a) que la lámina de fondo se despegue y ocurra un derrame total del contenido; (b) que en su caída se genere el pandeo de la lámina metálica ('pata de elefante'); (c) que el pandeo sea resultado de la compresión. En el caso (a) el súbito vaciado del tanque genera una fuerte succión interna que, en tanques techados, ocasionan la pérdida total del tanque por pandeo de sus paredes metálicas ([Figura 2-6](#)).

Obviamente la componente convectiva es despreciable en tanques de pequeño diámetro, pero pasa a ser importante en tanques de gran diámetro, especialmente por el hecho de que su muy pequeño amortiguamiento conduce a ordenadas espectrales importantes y actúa con

un mayor brazo de palanca. Las anteriores son razones para que, en las Normativas de API, así como en las Normas Covenin vigentes en Venezuela, se establezcan criterios para el anclaje de ciertas geometrías de tanques. Aquellos que se construyeron sin tomar en consideración esas previsiones y están sujetos a las acciones sísmicas, deben ser anclados para evitar situaciones potencialmente catastróficas (Covenin 3623-2000c).

2.5.3. Equipos de S/E de Instalaciones de Alto Voltaje

1. **Sub-Estaciones (S/E) con Columnas de Porcelana.** En las líneas de alto voltaje, se requieren equipos con columnas aisladoras de porcelana. Este aspecto tiene especial importancia en Venezuela, pues en el área de la represa de Guri, se generan niveles de tensión de 750 KV que deben ser transmitidos a centenares de kilómetros hacia el Norte a Nor-este, por zonas con una variedad de amenazas sísmicas a ser consideradas, especialmente en los equipos instalados en (S/E) desde 750 KV hasta 120 KV. Dado que una de las limitaciones de las columnas aisladoras de porcelana, es su baja e irregular resistencia a la tracción por flexión -fusión de la porcelana exterior en hornos de alta temperatura- una de las operadoras del oeste de USA emprendió un programa con columnas de porcelana pre-comprimidas con gruesos tendones de fibras de vidrio en su interior, para líneas de 500 KV. Los ensayos sobre mesa vibrante arrojaron resultados promisorios y las columnas fueron instaladas en la región de Morgan Hill, California, antes de 1986. Ese año ocurrió un primer sismo, relativamente menor, con registros cercanos a la citada región, hasta de 0.11g. El sistema pasó el examen sin problemas: la fijación de las mesas metálicas se lograba por medio de pernos cuya compresión y fricción, ‘impedía’ que las mesas metálicas que soportaban los aisladores se desplazaran lateralmente de la fundación. Solo se observaron milimétricos desplazamientos entre las partes visibles de las zonas de contacto mesa-fundación (**Figura 2-7**). En 1989, con ocasión del terremoto de Loma Prieta, el registro en la misma estación acelerográfica, alcanzó máximos de 0.6g en la componente horizontal y 0.4 g en la vertical: la casi totalidad de las mesas metálicas volcaron (**Figura 2-8**). Analizado el problema se concluyó que la componente vertical del sismo había sido ignorada en los sistemas de fijación mesa-fundación.



Figura 2-7: Imágenes posteriores al sismo de Morgan Hill de 1986.

Izquierda: Columnas de porcelana postensadas con tendones de fibra de vidrio, vinculadas a mesas metálicas. Centro: Detalle de fijación de las mesas a las fundaciones. Derecha: desplazamientos incipientes bajo acción sísmica de 0.11g. (Fuente: propia).



Figura 2-8: Estado final de la instalación, luego del sismo de 1989.
(Fuente: propia).

2. **Sub-Estaciones Encapsuladas.** Estos equipos ofrecen la ventaja de requerir espacios más limitados para su operación. La verticalidad de sus componentes se garantiza por medio de tensores laterales, con tornillos sin fin, ajustables. Por tanto, en caso de sismo, los citados tensores deben mantenerse en el rango elástico, pues de otro modo podrían quedar deformaciones no elásticas permanentes (Figura 2-9). El equipo analizado, ubicado en Caracas, reveló que la respuesta se mantenía elástica para eventos con una muy pequeña probabilidad de ser excedidos en caso de sismo, ya que se encontraba en el orden de 1% para una vida útil de 50 años, lo cual se consideró un riesgo aceptable.



Figura 2-9: Sub-estación encapsulada de alto voltaje. Derecha: detalle del tensor.
(Fuente: Coral 83, 1998).

2.5.4. Fallas Activas y Trincheras de Evaluación

1. **Tubería Submarina a la Isla de Margarita.** Destinada al suministro de agua potable a la isla de Margarita, esta tubería de un metro de diámetro, incluida una capa protectora de concreto, debía cruzar la falla geológica activa de Coche. Considerando el porcentaje de sólidos de arrastre provenientes del río Orinoco -aporte situado al Sureste del área de cruce- en su análisis, la tubería se supuso enterrada. En la Figura 2-10, se reproduce el modelo que idealiza la interacción suelo-tubo. Bajo un desplazamiento transcurrente dextral de 2.0 m según estimación conservadora para un sismo de magnitud 7.3, el espesor de la tubería no estaba en capacidad de mantenerse en el rango elástico, tomando en consideración la presión interna y las deformaciones por flexo-tracción. Por esta razón, en los cerca de 50 m de afectación -a cada lado de la falla- debido al desplazamiento de la falla, se recomendó que el espesor de la tubería fuese incrementado en no menos de tres centímetros (Uzcátegui et al. 1977).

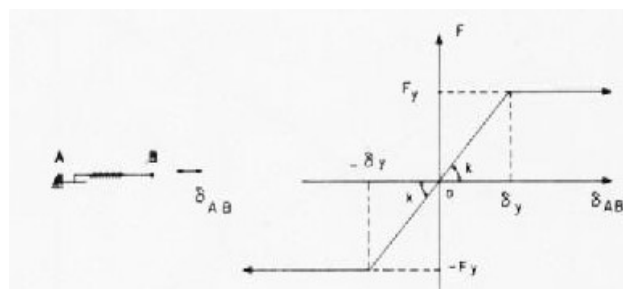
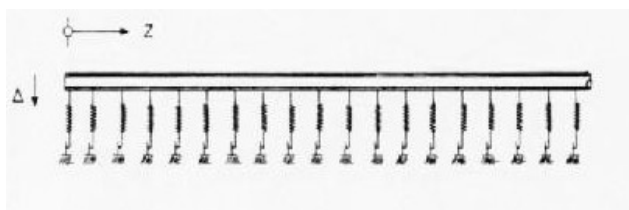


Figura 2-10: Modelo adoptado para estudiar la interacción entre la tubería submarina y el material en el cual se ha supuesto quedará enterrado.

(Fuente: Uzcátegui et al., 1977).

2. **El Túnel de Yacambú.** Cruce con la falla de Boconó. En 1979 culminó la construcción del embalse de Yacambú, en la cara Suroeste de la cordillera de Los Andes Venezolanos, con una cota de 110 m de altura de agua. El proyecto establecía el transvase del agua almacenada, a los extensos valles del Quibor, rico por su producción en legumbres, así como a la ciudad de Barquisimeto, capital del estado Lara; ambas áreas ubicadas del lado Noreste de la cordillera. El citado año se evaluaron dos alternativas: (i) bombeo por sobre las alturas de la cordillera, con generación hidroeléctrica en el área de descarga con pérdida de un 15% de la energía generada y; (ii) perforar la cordillera, con un túnel de 4.5 m de diámetro y 22 kilómetros de longitud, lo cual facilitaba la descarga masiva de agua. Adoptada esta segunda opción e iniciada la perforación, se identificó que esto implicaba taladrar ortogonalmente la falla activa de Boconó, ubicada en la vertiente de la zona Noreste de la cordillera. Como es sabido, la anchura de las fallas activas guarda una cierta proporcionalidad con su largura y tasa media de desplazamiento; en este caso, la anchura de la falla -parte de la largura del túnel- resultó ser cercana a los 1000 metros. A lo largo de esa zona, el terreno era inadecuado debido a la presencia de filitas altamente compresibles, lo cual impedía el empleo de “topos de excavación”. Por tanto, fue preciso ejecutarlo por procedimientos tradicionales, con un diámetro de cinco metros previendo deformaciones visco-plásticas del material. La solución a los cambios de diámetro se presenta en Hoek y Guevara (2009) (Figura 2-11).

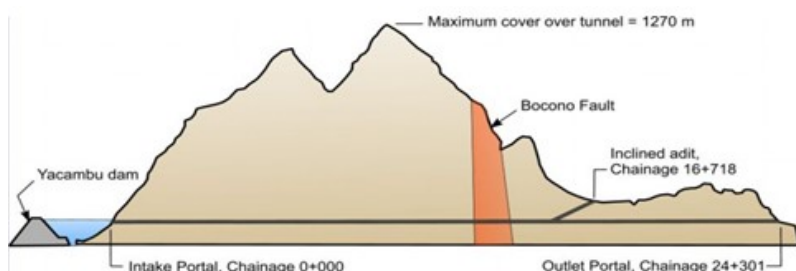


Figura 2-11: Caso de represa de Yacambú.

Izquierda: Sección transversal donde se señala el embalse de Yacambú, el eje del túnel de trasvase y la anchura de la falla de Boconó.

Derecha: La solución de anillos con diámetros ajustables, toleró las deformaciones visco-plásticas del terreno.

(Fuente: Hoek y Guevara, 2008).

En 2012 se anunció el fin de la excavación del túnel y el inicio del proceso de cobertura interna por medio de concreto “disparado”. En la actualidad, después de más de cuarenta años de iniciada y una inversión de unos 1500 millones de dólares, esta obra se encuentra inconclusa y paralizada. Las causas se achacan tanto a problemas técnicos como administrativos; también han circulado denuncias por manejo inadecuado de fondos

2.6. EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL

Este tema cubre desde las precauciones elementales para evitar las columnas cortas, que puedan fallar de modo frágil por corte, o, en caso de que su empleo fuese inevitable, reforzarlas para resistir las solicitaciones máximas esperadas. Igual comentario es válido, por ejemplo, para el caso de miembros concurrentes a uniones. En sistemas conformados por vigas y columnas, es común la frase: “... *vigas más débiles que las columnas...*”, lo cual puede dejar de ser válido en caso de tabiquerías interrumpidas a cierta altura como se ilustra más adelante. A continuación se dan breves descripciones de edificaciones que alcanzaron el estado de ruina, o daños graves en su estructura.

2.6.1. Edificaciones Irregulares

Este primer caso trata sobre una edificación de 10 niveles y sótano de estacionamiento, ubicado en la ciudad de Caracas y orientado en el sentido Este-Oeste. Las columnas de la parte posterior del edificio eran de altura doble (aproximadamente 6 m), debido a una interrupción en la losa de la planta baja (tope del sótano, **Figura 2-12**). Por tanto, los diez niveles superiores de planta tipo, se encontraban soportados por un primer nivel con un centro de rigidez desplazado hacia la entrada del edificio. En su colapso el edificio giró y golpeó al edificio adyacente, distante unos 8 a 10 m hacia el Sur-este, el cual fue reforzado posteriormente. Este indeseable estado de desempeño costó la vida a un centenar de personas.



Figura 2-12: Edificaciones irregulares.

A la izquierda; edificio conformado por: sótano, planta baja, 10 plantas tipo y tanque de agua, antes del sismo de 1967. Centro: configuración de la planta baja, en dirección Este-Oeste. A la derecha: estado posterior al sismo de 1967. (Fuente: Comisión Presidencial, 1968).

2.6.2. Influencia de la Tabiquería. Plantas bajas Libres

En el caso del terremoto de Caracas de 1967, a continuación se cita una edificación que condujo a una situación catastrófica. Se trataba de dos edificaciones de 10 niveles de altura, nominalmente iguales, de planta rectangular, separadas por un tercer cuerpo, independiente de los dos primeros, que alojaba el servicio de ascensores y escaleras del conjunto. La diferencia entre las dos edificaciones, sin sótano, paralelas entre sí, era que la planta baja de la más cercana a la zona de circulación de peatones y automóviles, estaba ocupada por tiendas, farmacia, peluquería y otros servicios, así como por las paredes de fachada. En la edificación más alejada de la zona de circulación, del otro lado del cuerpo de acceso a los otros dos -como quedó dicho no vinculado a estos- se destinó la planta baja a estacionamiento de vehículos, sin paredes laterales. Por tanto, la planta baja de este segundo cuerpo de 10 niveles constituía una grave irregularidad en la rigidez, comparada con el primero de los edificios aquí descritos. Bajo la acción del sismo, se desplomó: las columnas de la primera planta literalmente se hincaron en el terreno

luego de perforar las vigas de riostra de fundaciones y fueron desenterradas para su inspección **Figura 2-13**.

En otros casos que escapan a esta síntesis, la influencia de las plantas bajas libres o con marcadas reducciones en la rigidez, ha sido motivo de un previsible desempeño catastrófico (Lafuente y Genatios, 1998).

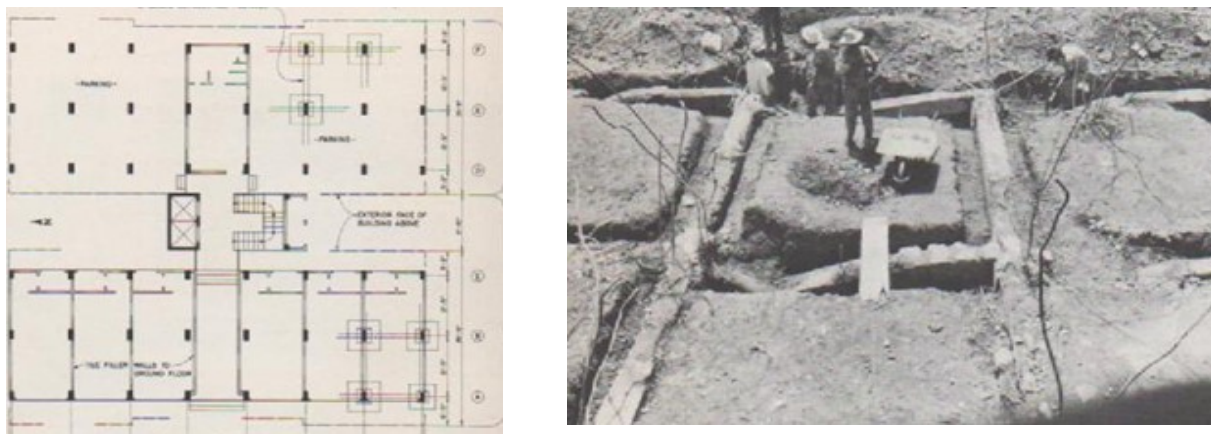


Figura 2-13: Planta de los tres cuerpos del Edificio Palace Corvin.

El cuerpo inferior –véase la planta en la figura de la izquierda- está más al Este. La planta baja de ese cuerpo, tenía como destino el estacionamiento de vehículos, sin ningún tabique, lo cual creó, a ese nivel, un piso blando. En su desplome, las columnas de la primera planta cayeron sobre las vigas de riostra de las fundaciones, cuyo estado final luego de la limpieza, se dan en la figura de la derecha. De nuevo la dirección del desplome es propia de un fuerte pulso, en este caso de Norte a Sur. (Fuente: Comisión Presidencial, 1968).

2.6.3. Paredes Ciegas

Reciben este nombre los muros de mampostería sin aberturas. En edificios de múltiples niveles, pueden introducir graves efectos de torsión, como fue el caso del Immeuble Consulaire, en el terremoto de Agadir, 29 de febrero de 1960, magnitud 5,7. Como agravante, el empleo de elementos prefabricados en esta y en otras edificaciones, no estuvo acompañado de sistemas de unión adecuados, lo cual dio lugar a uno de los sismos más mortíferos del siglo XX (300 víctimas /1000 habitantes). En la **Figura 2-14** se muestra el Immeuble Consulaire antes del sismo y parte de los restos del mismo después del sismo.

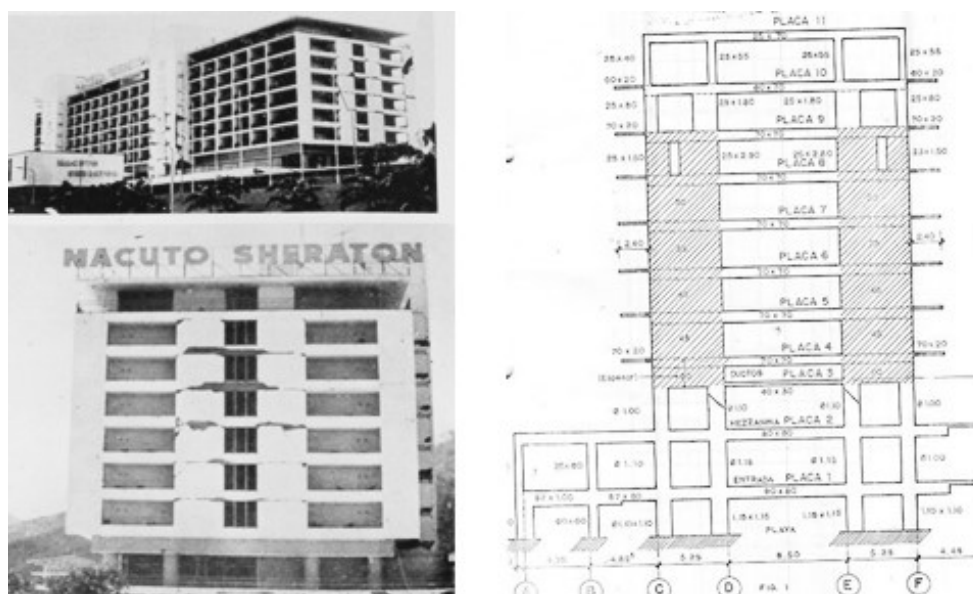


Figura 2-14: Paredes ciegas.

Izquierda: Fachada posterior -muro ciego- del Immeuble Consulaire. Centro: Fachada principal del edificio opuesto al primero. Derecha; restos del edificio después del sismo, donde fallecieron unas 300 personas. (Fuente: *American Iron and Steel Institute*, 1962).

2.6.4. El Hotel Macuto Sheraton

Se trata de una estructura de concreto armado, construida en áreas ganadas al mar en la costa de Caraballeda, sobre pilotes metálicos hincados, de sección H, en depósitos predominantemente de deslaves prehistóricos provenientes de la Cordillera de la Costa, la cual alcanza alturas de 2600 m. Proyectado y construido a inicios de los años 60, esta estructura sufrió daños en sus columnas de 1.15 m de diámetro ubicadas en la Mezzanina, las cuales continúan hasta la fundación con gruesas columnas de sección cuadrada. La Mezzanina está enmarcada por las dos parejas de columnas, bien armadas y zunchadas, unidas en el tope por una robusta viga que las une (**Figura 2-15**); esta es la base de dos muros -uno sobre cada pareja de columnas- de 5 niveles de altura.



Evaluada sus reservas resistentes y tomando en consideración la calidad del concreto y de las barras de refuerzo, luego de nivelar el pequeño descenso sufrido por una de ellas, se decidió continuar los dos muros hasta los niveles de la fundación. Se eliminó así la discontinuidad de la Mezzanina según descripción de Agustín Mazzeo (1940-2011) (**Figura 2-17**) y se restituyó el servicio de la instalación (Mazzeo, 1969).



Figura 2-17: Solución al problema de la discontinuidad de rigideces a nivel de Mezzanina.
(Fuente: Mazzeo, 2004).

2.6.5. Edificaciones con Pórticos no Paralelos

De los casos conocidos en Caracas, se retiene aquí el de una edificación de 17 plantas, con estructura a base de pórticos de concreto reforzado, con la característica de que los pórticos no son paralelos entre sí. Es decir, de la planta curva que conforma la base de la edificación -esencialmente en dirección de Norte a Sur- la orientación de los pórticos concurre hacia un punto cercano al centro de la circunferencia de la citada planta curva, una distancia algo mayor que la largura de la planta. No se ha logrado el acceso a las hipótesis del proyecto, el cual probablemente fue de inicios de los años 60. Dos particularidades destacan en esta edificación. En primer lugar, las fachadas extremas son ciegas y descansaban sobre las columnas inferiores de los pórticos extremos de la planta en sus extremos norte y sur (sótano) (**Figura 2-18**, Izquierda). En segundo lugar, la planta más baja está destinada a estacionamiento, con lo cual no hay tabiquería en esa planta. Bajo la acción de cargas laterales, el esquema estructural descrito no se deforma como un sistema de pórticos, sino más bien como un arco o sector cilíndrico vertical, apoyado en columnas. De modo que, además del eje de simetría, hay un eje ortogonal a este -no dibujado- aquí denominado como 'eje neutro'. Bajo las fuerzas inerciales generadas por la respuesta de la edificación a las vibraciones del terreno, las columnas más afectadas por esas acciones fueron aquellas más alejadas del citado 'eje neutro': las esquineras en los extremos del arco y columnas más alejadas del eje neutro, cercanas al eje de simetría (**Figura 2-18**, Tercera y Cuarta).

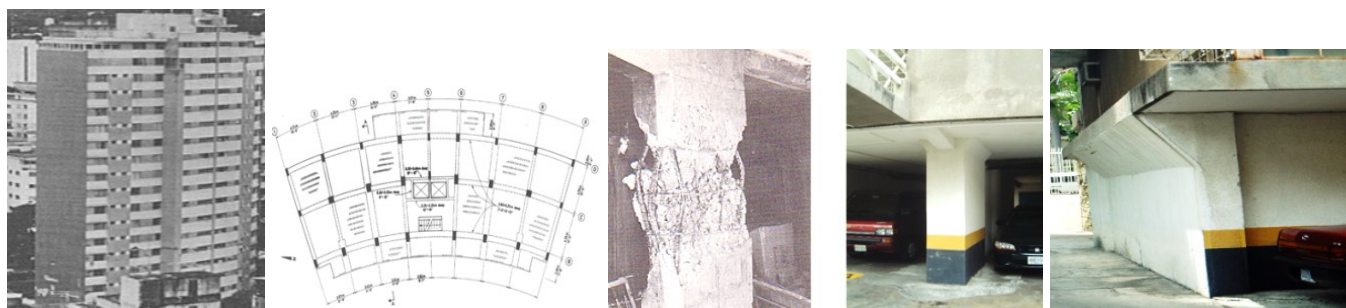


Figura 2-18: Daños en edificaciones con pórticos no paralelos.

Izquierda: Edificio de 17 niveles. Planta: Longitud estimada de la planta curva: 0.7 veces el radio de curvatura. Tercera y Cuarta: Bajo la acción del sismo fallaron las columnas 7 a 4 del eje D, y la 1 y la 9 del eje B, y la mampostería de la parte inferior de las fachadas ciegas (véase: la Figura izquierda). Tercera y Cuarta: Daños generados por el sismo en la columna 4D (Tercera) y adecuación de la misma (Cuarta). Derecha: Muro en el extremo Sur del edificio, destinado a soportar las solicitaciones de la fachada ciega. En el extremo Norte se dispuso otro muro similar. (Fuente: propia).

Las fallas de estas columnas, debidas a la respuesta sísmica del edificio, son similares a las que se obtienen en columnas de concreto armado bajo la acción de una carga centrada en ensayos de laboratorio; o sea, no se llegan a generar solicitaciones debidas a flexión. Para mitigar los problemas estructurales, en su adecuación, además de incrementar las dimensiones de las columnas del sótano, los muros ciegos de los dos extremos se prolongaron hasta el nivel de fundación con engrosamiento en sus secciones (**Figura 2-18**, Derecha). Esta edificación se encuentra en estudio actualmente, pendiente de información sobre otras intervenciones no visibles desde el exterior.

2.6.6. Edificio de 21 Niveles, de Concreto Armado; una Vivienda por Planta.

Esta edificación, de planta esencialmente cuadrada con pequeños salientes en tres de sus fachadas, fue afectada por el sismo de Caracas de 1967 -evento de relativa corta duración y pocas réplicas. La misma presenta singularidades en su configuración, que sustentan las decisiones de refuerzo que fueron adoptadas (Borges y Hernández, 1969) (**Figura 2-19**). Destacan las cuatro particularidades siguientes:

- a) Por su área total, la decisión de limitar a una vivienda por planta, incrementó la densidad de tabiquería en todos los niveles, incluida una de las fachadas sin aberturas;
- b) La sección transversal de las 4 columnas centrales, del orden de 50 x 55 cm, contrastaban con las columnas perimetrales con sección en forma de L y dimensiones de 25 cm x 35 cm;
- c) Las dimensiones de las columnas parecen estar influenciadas por la denominada 'área tributaria' y
- d) Las dimensiones de los elementos portantes (4 columnas centrales y 16 perimetrales, vigas y losas nervadas) mantuvieron sus dimensiones desde la planta baja hasta el nivel 21.

El desempeño de esta edificación fue característica de un voladizo vertical, empotrado en sus fundaciones: las columnas centrales no sufrieron ningún daño, a diferencia de las columnas perimetrales de las cuatro fachadas que sufrieron fallas por compresión axial a nivel de planta baja y, ocasionalmente, también por compresión en las de la primera planta; esto ameritó la disposición de riostras temporales. Desde esos niveles hasta el tope, no se reportó ningún daño estructural, así como tampoco en la tabiquería. Por tanto y al igual que en el caso descrito en la **Sección 2.6.5**, la deformación de la estructura no fue la de pórticos con miembros sometidos a flexión y fuerza axial, sino más bien la de un gran voladizo empotrado a nivel de fundación. Tomando en consideración esa respuesta, la estructura fue reforzada del siguiente modo:

- 1) Engrosamiento de todas las columnas periféricas desde planta baja hasta el nivel 21;

- 2) Disposición de muros de concreto en las fachadas, desde planta baja hasta el nivel 8;
- 3) Reducciones en la rigidez perimetral del nivel 8 al 10 para atenuar los cambios en la rigidez (**Figura 2-19**, Derecha);
- 4) Hincado de micropilotes y ampliación de los cabezales en las bases de los muros. Esto último fue ejecutado por la misma empresa que construyó las bases del edificio original

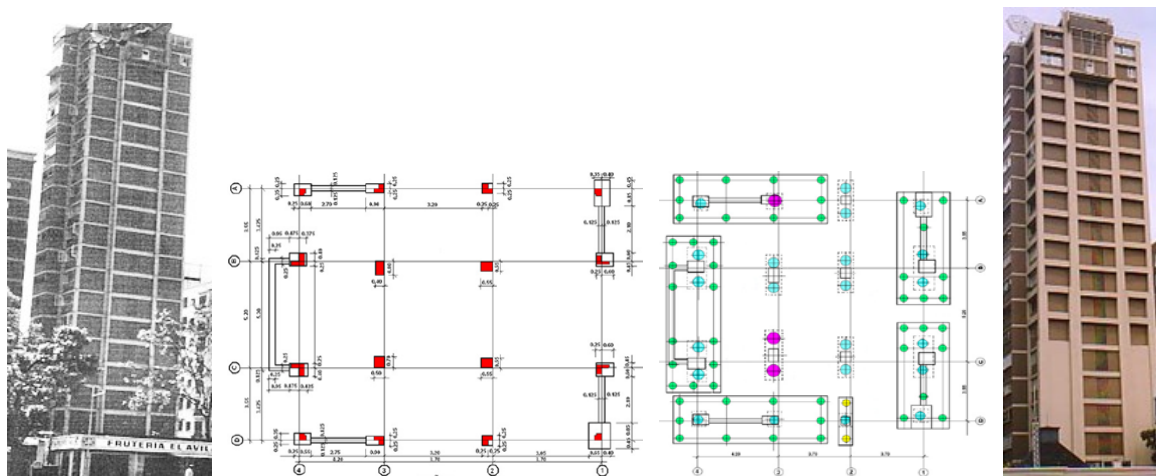


Figura 2-19: Reparación del edificio Petunia.

Izquierda; Fachada Oeste del edificio Petunia II antes del sismo de 1967. Centro-izquierda: En rojo, dimensiones originales de las columnas desde planta baja hasta el piso 21, así como engrosamientos en columnas periféricas. Centro-derecha: cinco nuevos muros y sus nuevas fundaciones. Derecha: Fachada Oeste del edificio intervenido. Obsérvese que del piso 8 al 10, hay una primera reducción de secciones - transición de rigideces- y del 10 al 21, se mantienen todas las secciones. (Fuente: Maglioni et al, 2011).

2.6.7. Edificio Mansión Charaima, de 11 Niveles, Construido en dos Etapas

Se trata de una edificación de planta rectangular de unos 40 a 50 m de largura y unos 25 de anchura. En una primera fase se construyeron: la planta baja y los 7 primeros niveles y, pocos años antes del sismo de 1967, se construyeron los 4 niveles faltantes hasta alcanzar los 11 planificados y, sobre el último nivel, un gran tanque para almacenamiento de agua. La sección de las columnas que se elevaron desde el tope del piso 7 hasta el tope del nivel 11 y el tanque, todas fueron de menor sección que las que llegaban al piso 7. Esta discontinuidad de rigideces quedó agravada por la siguiente particularidad: la ubicación de este edificio al borde de la playa, es un área que durante el día recibe mucho sol. Por esta razón, la tabiquería de las fachadas (nada se aclaró sobre las internas) eran de un material aislante tipo ‘*plywood*’ o similar, con muy baja resistencia a las fuerzas cortantes. Seguramente ya en el primer modo de vibración, la discontinuidad de rigideces y la masa del tanque fueron causantes que este saliera despedido hasta caer alejado de la fachada del edificio; los entrepisos de los 4 niveles superiores, uno sobre otro, quedaron colgando de los siete inferiores.

En la **Figura 2-20** se ilustran dos casos cercanos en la Urbanización Tanaguarena, Litoral central. A la izquierda de las tres figuras, el edificio Mansión Charaima de 11 niveles, cuyo desempeño se acaba de describir. Por petición de los familiares que sobrevivieron, el edificio fue demolido. A continuación en el centro de las tres figuras se muestra una vivienda, parcialmente volcada; en uno de los informes sobre el sismo, se señala este caso como un “*caso típico de licuefacción del terreno*”, apreciación que no se ajusta a lo que realmente ocurrió. El volcamiento de la vivienda fue consecuencia de la falla de columnas cortas, de un semisótano según se muestra en la lámina de la derecha.

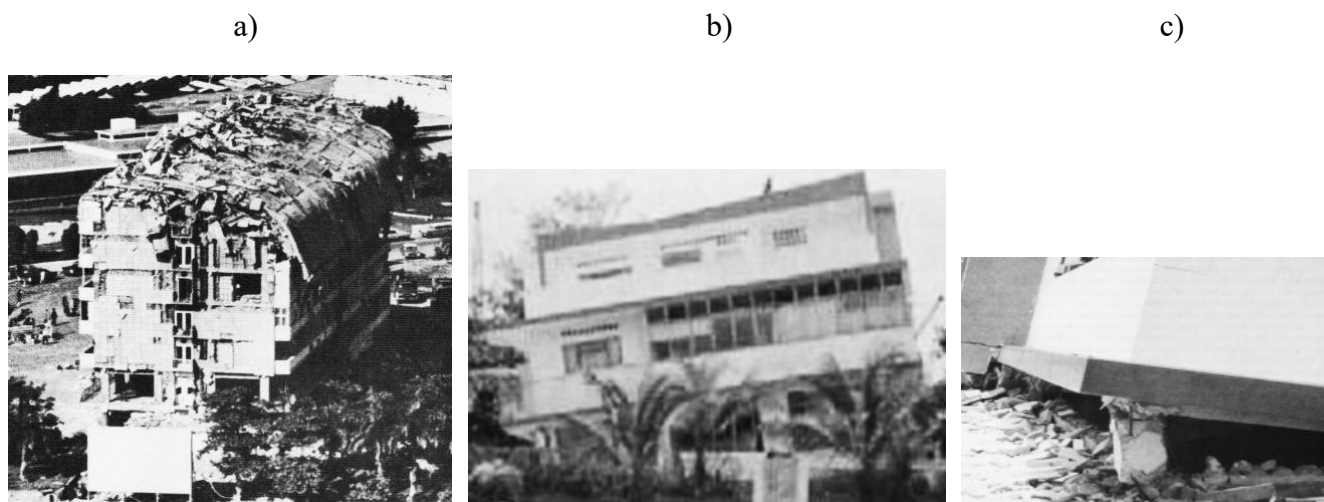


Figura 2-20: Edificaciones en el Litoral.

Izquierda: Edificio Mansión Charaima, con sus cuatro últimos niveles colapsados. Centro: Vivienda de planta baja y dos plantas, volcada por la falla de las columnas cortas del semisótano, tal como se muestra en la última de las fotos. No es un caso de licuación, como se ha señalado en algún reporte. (Fuente: a) Hanson et al, 1969; b) y c) propia).

2.6.8. Edificio conformado por dos sótanos, planta baja y 15 plantas tipo

Se trata de una edificación ubicada al Este de Caracas, afectada por el sismo de 1967. Su planta tiene la forma de una pronunciada H (Izquierda de la **Figura 2-21**), con el tramo horizontal en dirección Norte-Sur. En esa dirección se definen 6 ejes (del A al F) y en la dirección Este-Oeste 7 ejes: (del 2 al 4, del 6 al 8 y el eje 5 que solo va del eje C al D). Es decir, la planta es una H con 8 columnas perimetrales: A2; A4; A6; A8; F2; F4; F6; F8. Luego del sismo de 1967, las 8 columnas recién anotadas sufrieron daños pronunciados, en mayor o menor grado, a nivel de Planta Baja y algunas también en la primera Planta Tipo (Centro de la **Figura 2-21**). El reforzamiento de esta estructura consistió en disponer cuatro muros en la dirección Norte-Sur, desde el sótano hasta el tope del edificio, cada uno de los cuales abarcaba tres columnas: muro 1 (columnas: A2, A3 y A4); muro 2 (columnas: A6, A7 y A8); muro 3 (columnas: F2, F3 y F4); muro 4 (columnas: F6, F7 y F8) (Derecha de la **Figura 2-21**). Las 8 columnas perimetrales - extremos de los cuatro muros recién identificados- además de engrosadas, fueron conectadas por medio de vigas de 1.10 m de altura, a sus columnas adyacentes, también engrosadas en sección y armadura.

De este modo, los cuatro extremos de la H quedaron reforzados por medio de cuatro muros acoplados a robustas columnas por medio de vigas de 1 m de altura (**Figura 2-22**). Externamente el edificio no sufrió ningún cambio visible.

Las bases de los 4 nuevos muros -sótano 2 y sótano 1- quedaron vinculados por un muro perimetral a lo largo de las cuatro caras del edificio. Solo quedó una entrada para vehículos a los sótanos por el lado Este y una salida de estos por el lado Oeste.



Figura 2-21: Edificación con planta en forma de H.

Izquierda: Fachada Sur del edificio: dos sótanos, planta baja, 15 plantas tipo y pent house. Centro: Daños típicos en columnas de planta baja y primer nivel del edificio, consecuencia del sismo de 1967: columnas A4 y F4. Derecha: Nuevos muros de concreto de sótano hasta el tope, con columnas de borde engrosadas: A2-A4; A6-A8; F2-F4; F6-F8 y vigas altas de conexión con columnas engrosadas: A2-B2; A4-B4; A6-B6; A8-B8; E2-F2; E4-F4; E6-F6; E8-F8. (Fuente: Hanson et al., 1969).



Figura 2-22: Detalles de refuerzo

Izquierda y Centro: Detalles del reforzamiento. Izquierda: armadura del muro, vinculación con columna esquinera engrosada y armadura de viga de acoplamiento con columna engrosada adyacente. Derecha: Columna engrosada y viga de acoplamiento, con el muro de la derecha no visible; concreto ya vaciado. (Fuente: Hanson et al., 1969).

2.6.9. Hotel con Pronunciadas Irregularidades

Ubicado en la ciudad de Mérida, el hotel que se ilustra en la **Figura 2-23**, fue objeto de un llamado de atención al gobierno del estado Mérida, por parte de un grupo de Profesores de la Universidad de Los Andes, encabezado por el Profesor William Lobo Quintero (1934-2014). Se señalaba allí, la elevada vulnerabilidad de esa configuración a eventuales temblores de tierra, en un área reconocidamente sísmica. Esto representaba un elevado peligro para los ocupantes de esa edificación, así como al personal de servicio en las plantas inferiores. La advertencia motivó una intervención con elementos estructurales adecuados que aseguraron su estabilidad en caso de sismos.



Figura 2-23: Hotel en la capital de estado Mérida.

Reforzado por solicitud de un grupo de Profesores de Estructuras de las ULA. (Fuente: Lobo Quintero, 2012).

2.6.10. Desplome de una Edificación en 1997, causa 33 Víctimas

No puede quedar esta reseña, sin hacer referencia al desplome de una edificación de 8 niveles ubicada en Cumaná, capital de estado Sucre, al Este de Venezuela. Esta edificación, proyectada en 1977, empleando los criterios de la Norma provisional de 1967 vigentes para ese momento, se encontraba a una distancia de unos 75 km del epicentro del sismo de Julio de 1997. Sus características: magnitud 6.9, foco superficial, evidencias visibles del desplazamiento transcurrente dextral de la falla de El Pilar -el cual alcanzó máximos de hasta unos 60 cm- esto corroborado por la distribución de focos de réplicas registradas en el sitio, alejándose de Cariaco en dirección Este. En la sede cumanaense de la Universidad de Oriente (UDO), se obtuvieron registros acelerográficos del sismo principal, en suelo tipo roca, en las cercanías del edificio desplomado; o sea a una distancia y rumbo al epicentro similar. Para evaluar responsabilidades del caso, los Tribunales del estado Sucre designaron una *Comisión Investigadora de Expertos*. Debe señalarse igualmente, que en las cercanías del edificio derrumbado no se conocieron otros casos de daños, con lo cual se presumían agravantes en la concepción estructural y/o en la ejecución del edificio en cuestión. A petición de la Juez que evaluó el caso y dado que el Ingeniero Proyectista no se encontraba en el país, el Arquitecto hizo entrega al Juzgado de toda la documentación que obraba en su poder: la memoria de cálculo de la estructura, los planos de arquitectura y de ejecución, así como copias de los informes de inspección.

Estudios geotécnicos en el área donde se encontraba fundado el edificio colapsado, revelaron que hasta 40 metros de profundidad seguían apareciendo conchas marinas relativamente recientes. Las bajas velocidades de propagación de ondas de corte se incorporaron al análisis dinámico del depósito, en las dos direcciones del registro de la UDO, lo cual reveló amplificaciones del movimiento del terreno registrado con períodos dominantes cercanos a los de la edificación, que excedían en algo más del 50% de las que se podían inferir de la Norma.

La configuración estructural de la edificación, presentaba graves irregularidades que fueron penalizadas en Normas posteriormente aprobadas: la de 1982 y aún más en la de 2001: el núcleo de escaleras ubicado en una de las esquinas del edificio, una parte de la planta baja de doble altura para construir una mezzanina y otras, configuraron irregularidades. Estas, así como incertidumbres en la contribución de la tabiquería y la calidad del concreto, condujeron a los profesionales que estudiaron el caso a definir dos modelos considerados extremos. A los fines de identificar la sensibilidad al ángulo de ataque del sismo, en el análisis dinámico la pareja de componentes ortogonales X e Y, registrada y modificada por la respuesta del depósito aluvional, se rotó en la forma siguiente: $X = 0^\circ$ y $Y = 90^\circ$; $X = 22.5^\circ$ y $Y = 112.5^\circ$ etc, hasta $X = 90^\circ$ y $Y = 180^\circ$. Por tanto, en cada uno de los dos modelos se evaluaron 5 ángulos de ataque diferentes de la componente principal del sismo y de su simultánea componente ortogonal. Estos se

evaluaron bajo la acción de los 5 ángulos de ataque ya mencionados. Se obtuvieron así, 10 resultados diferentes de la reserva resistente de la estructura del edificio. Los resultados se sintetizaron por medio del cociente: (fuerza cortante calculada, asociada al estado de ruina de cada modelo)/(peso total de la edificación), denominado ‘*coeficiente sísmico resistente*’ (CSR). Para suelos que no fuesen roca, en la Norma Provisional de 1967 vigente para la fecha del proyecto, se estipulaba para el área de Cumaná, un valor del (CSR) con fines de diseño, igual a 0.06 en caso de emplear los *criterios* de diseño de esfuerzos admisibles para el concreto armado, iguales a: $(0.45 f'_c \text{ y } 0.50 f_y)$. Caso de emplear criterios más modernos asociados a los estados últimos, como los que empleó la *Comisión Investigadora de Expertos*, conservadoramente se estableció como requerimiento que debía cumplir la edificación en estudio, el valor (CSR) igual a 0.10; o sea, un 60 a 70% mayor. Los resultados de los 10 (CSR) obtenidos de los análisis realizados por la citada *Comisión*, oscilaron entre 0.12 y 0.25, con una media de 0.18 (Figura 26, del Informe de la Comisión Investigadora, 1999, que se reproduce en la **Figura 2-24** que sigue). Esto reveló que, aun cuando, como se indicó, la estructura presentaba irregularidades, el edificio no fue sub-diseñado.

Finalmente, en este doloroso y delicado caso, destaca un aspecto omitido en el estudio hecho, que ha podido arrojar más luces: (i) los resultados de núcleos obtenidos en vigas y columnas de la estructura derruida, arrojaron resistencias aproximadamente un 50% más bajos que los exigidos en el proyecto, los cuales contrastaban con los obtenidos en los muros del sótano del edificio que no sufrió ningún tipo de daños y donde se obtuvieron resistencias un 20% a 30% por encima de las exigidas (GMK, 2002); (ii) la ausencia de análisis químicos para conocer los contenidos de cemento y las relaciones (agua/cemento) empleadas, hubiesen facilitado la comparación de los diseños de mezclas de ambos concretos. Para finalizar, debe aclararse aquí que La Juez no hizo uso de su prerrogativa de solicitar una evaluación del *Informe Final del Estudio*, a un Comité de Expertos. El caso no está cerrado, sigue en manos de los Tribunales competentes y, el único acusado, es el Arquitecto.

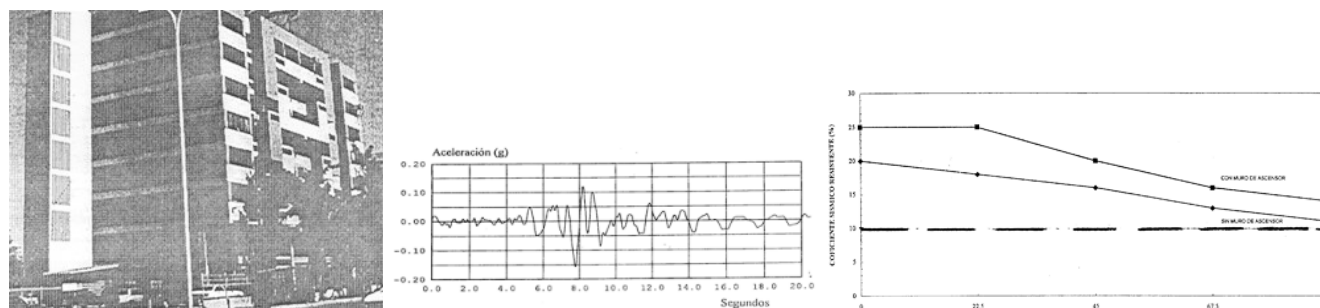


Figura 2-24: Falla de edificio. Sismo de Cariaco, 1997.

Izquierda: Configuración del edificio con anterioridad al sismo. La disposición de circulación vertical excéntrica, es fuertemente penalizada en Normativas posteriores a 1977, año del proyecto. Centro: Acelerograma obtenido en el tope del terreno de fundación, que excede en un 50% las exigencias de las Normas vigentes para el año del proyecto. Derecha: Figura del Informe que demuestra cumplimiento de la normativa. (Fuente: IMME, Informe N° 209209, 1997).

2.7. INCERTIDUMBRES DE EJECUCIÓN Y REFORZAMIENTO

2.7.1. Autoconstrucción en Kayaköy, Turquía

En una de las misiones de campo realizadas hacia el centro de Turquía, se visitó el área de Kayaköy. El Gobierno local había organizado un *Programa de Autoconstrucción* en una extensa planicie, para lo cual: se delimitaron las áreas a ser urbanizadas, se dispusieron sistemas de agua potable y recolección de aguas servidas, recolección de basura, energía e iluminación de calles, etc. Los interesados, esencialmente campesinos, se anotaban en un programa según el cual recibían en propiedad una parcela siempre que en un determinado plazo construyeran una vivienda. Suministrados los planos y esquemas para su ejecución,

así como los materiales necesarios en la medida que se avanzara en la obra, para la fecha de nuestra visita -Abril de 1970- la inspección abarcó unas 50 viviendas ya ocupadas. De ellas, el sismo dejó unas pocas que se consideraron habitables, incluso alguna sin daños visibles, pues en su mayoría habían sufrido daños importantes llegando a la ruina total. Toda una demostración de las consecuencias propias de la llamada autoconstrucción.

2.7.2. Edificaciones de Villa Olímpica, Santiago de Chile

Años después y con motivo del terremoto chileno de Viña del Mar, mes de marzo de 1985, en el área de Villa Olímpica de Santiago se evaluó el desempeño de tres unidades de vivienda nominalmente iguales afectadas por ese sismo de magnitud 7,7. Las unidades de vivienda eran de concreto reforzado, de planta rectangular, de cuatro niveles, con pórticos paralelos de un solo vano, columnas de sección rectangular y mayor dimensión de estas en el sentido del único vano. Como particularidad en su configuración, uno de los extremos de la planta rectangular, solo a nivel de planta baja, no tenía tabiques; ese extremo culminaba con un grueso muro de concreto armado dispuesto sobre el último pórtico que, en planta baja, no tenía tabiques. Por tanto, cada una de las dos columnas de ese último pórtico podían considerarse empotradas: en su base (supuesta una fundación directa bajo tierra) y en su extremo superior en el muro de concreto armado. De los tres edificios que se ilustran en la **Figura 2-25**:

- (i) en el primero a la izquierda y de acuerdo con la inspección de uno de los miembros de la Misión, no hubo agrietamiento alguno en las columnas extremas;
- (ii) en el segundo, las fuerzas cortantes inducidas en las dos columnas del pórtico extremo, excedieron la capacidad de las mismas y el muro quedó sin apoyo colgado del resto de la estructura;
- (iii) en el tercer edificio inspeccionado, se identificó el estado de agrietamiento con múltiples grietas cuasi paralelas, separadas unos 40 cm aproximadamente y con una inclinación del orden de 45° . No se logró reconstruir de un modo confiable, la ubicación y rumbo de la mayor dimensión de las edificaciones, respecto al epicentro (Grases, 2002).

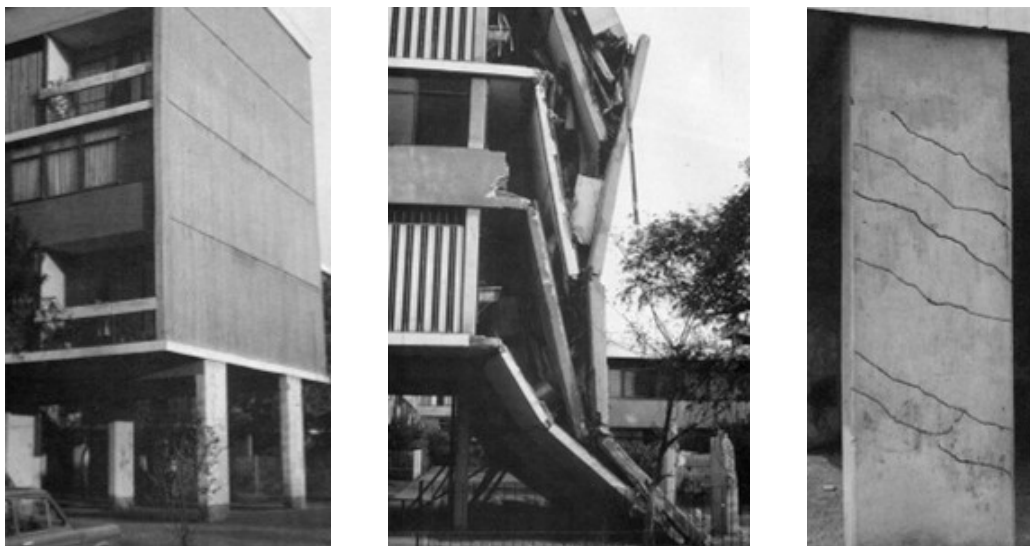


Figura 2-25: Desempeño de tres edificaciones nominalmente iguales.

En Villa Olímpica, Santiago de Chile, terremoto de 1985 $M = 7.7$. Izquierda: sin daños visibles. Central: falla por corte de las dos columnas de planta baja; Derecha: agrietamiento de una de las columnas de planta baja, en la cercanía de falla por corte.

(Fuente: Grases, 2002, p. 19 a 22. Foto de la derecha -p. 22- remarcada para destacar el patrón de agrietamiento).

2.7.3. Adecuación de dos Edificaciones nominalmente iguales

Se trata de dos edificaciones nominalmente iguales, de planta baja y 13 plantas tipo. En su planta, esencialmente rectangular, se dejaron entrantes en su parte central -cercana a la forma de una gran C angosta. Ambos edificios, ubicados en una misma parcela a distancias del orden de unos 30 m entre ellos, fueron sacudidos por el sismo de Caracas de 1967. Construidos siguiendo los mismos planos, la única diferencia a destacar es que: si uno mostraba las irregularidades propias de una angosta C en su fachada Norte, el “gemelo” mostraba las mismas irregularidades en su fachada Sur; el cuerpo de escaleras se encontraba ubicado en el medio de esa gran C. Como daños relevantes, similares en ambos, destacaba el mal comportamiento de varias uniones de columnas esquineras con las vigas concurrentes. También se constataron algunos daños en la tabiquería y machones en los primeros niveles (**Figura 2-26**). Las posibles consecuencias de esos riesgosos daños fueron atenuadas con la colocación de apuntalamientos con elementos metálicos temporales.

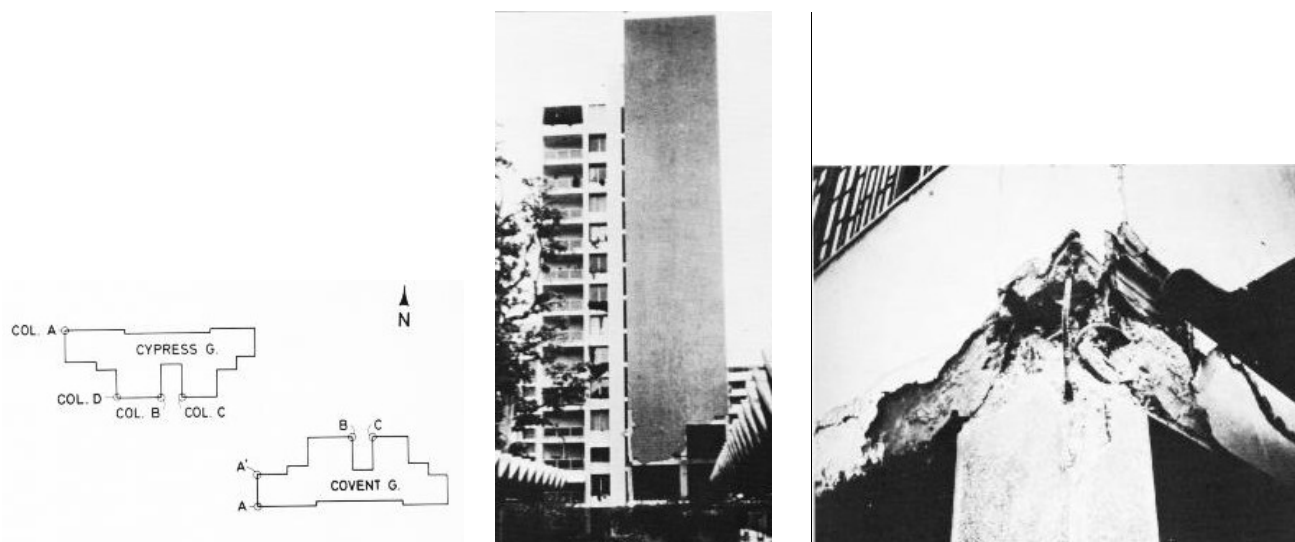


Figura 2-26: Fallas en edificaciones nominalmente iguales.

A la izquierda se da la ubicación de los dos edificios en planta. En el centro la tabiquería dañada en las dos plantas tipo inferiores y en la figura de la derecha una de las múltiples uniones esquineras falladas. (Fuente: Comisión Presidencial, 1968).

Las soluciones para minimizar los efectos de la irregularidad resultaron ser enteramente diferentes: en un caso la “C” fue cerrada por medio de gruesos miembros de concreto reforzado, dos horizontales que unían las losas de piso y dos en cruz por piso, de planta baja hasta el tope, lo cual incrementó tanto la rigidez como la masa del edificio y en el segundo caso se dispusieron vigas metálicas de tipo doble T, de unos 20 a 30 cm de altura, para conectar las losas de piso desde el primer nivel hasta el octavo aproximadamente (**Figura 2-27**). Este caso se encuentra en estudio actualmente.



Figura 2-27: Adecuación en edificaciones nominalmente iguales.

Izquierda: Adecuación en la fachada del Covent G. Derecha: Adecuación en la fachada del Cypress G. (Fuente: propia).

2.7.4. Efectos Desfavorables de los Ensanchamientos de Columnas

Los ensanchamientos de mono-columnas con el fin de lograr efectos arquitectónicos o un mayor soporte a los tableros de puentes, no siempre han tenido un desempeño adecuado. Esto es consecuencia de que las fuerzas cortantes últimas, asociadas a columnas ensanchadas exceden las que resultan de considerar la longitud total de la columna y no la de la parte no ensanchada, que es donde se generan las máximas fuerzas cortantes. Esto se puede evitar, separando el extremo superior del ensanchamiento o disponiendo un material deformable en ese espacio, para reducir los momentos últimos en el extremo de la columna ensanchada.

2.8. DISIPADORES DE ENERGÍA Y OTROS TEMAS

2.8.1. Apoyos Disipadores de Energía

Se describen aquí, los aisladores disipadores de energía empleados en la línea férrea Coche-Cúa, ubicada en una zona sísmica al sur de la capital. Este ferrocarril discurre en un área con fuertes irregularidades topográficas, que requieren pilas de concreto de hasta unos 45 m de altura. Dado que, para resistir los momentos flectores en la base de las pilas era preciso construir fundaciones en zonas de difícil acceso, resultó conveniente explorar la disposición de aisladores entre la vía férrea y el tope de la pila, con lo cual se lograba reducir los momentos flectores en la base de las pilas. Para los sismos de diseño, los Ensayos en Laboratorio de los equipos seleccionados revelaron respuesta elasto-plástica con un cierto endurecimiento, muy estables desde el punto de vista histerético (**Figura 2-28**). Se redujeron así las sollicitaciones a flexión en la base de las pilas, propias de una respuesta elástica del sistema, a valores 2.5 veces menores (Pérez H., R. et al, 2009). Su mantenimiento es prácticamente nulo y, en caso de un sismo intenso, la sustitución de los disipadores de energía es relativamente sencilla.

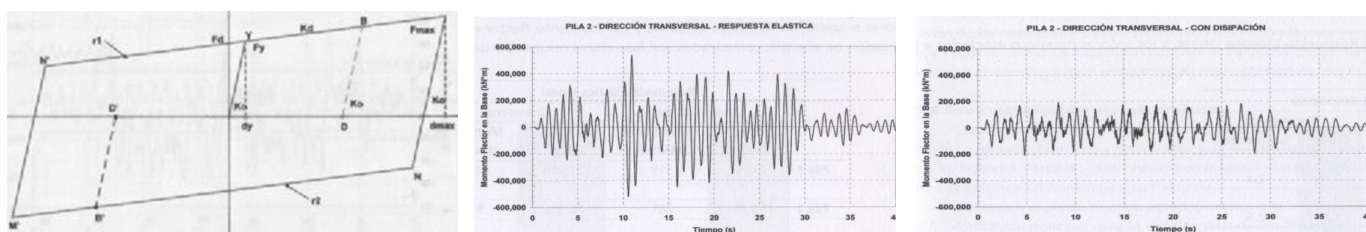


Figura 2-28: Comportamiento de aisladores sísmicos.

Izquierda: estabilidad de los lazos histeréticos del equipo. Centro: fuerzas cortantes en la pila, suponiendo respuesta elástica. Derecha: fuerzas cortantes en la pila, con los aisladores sísmicos en operación. Escalas iguales en las dos últimas figuras. (Fuente: Pérez Hernández et al., 2009).

Como segundo caso, se ilustra la instalación de una edificación estratégica empleada desde finales de la década de los años 80 en la Central de Bomberos de Los Ángeles (L.A.). Conocida la extensión de esta ciudad, la información sobre eventuales incendios se encuentra centralizada en una edificación totalmente aislada por medio de tacos con varios estratos de goma-acero-goma, debidamente vulcanizados, cuya eficiencia fue comprobada durante el último sismo que afectó L.A. (**Figura 2-29**).

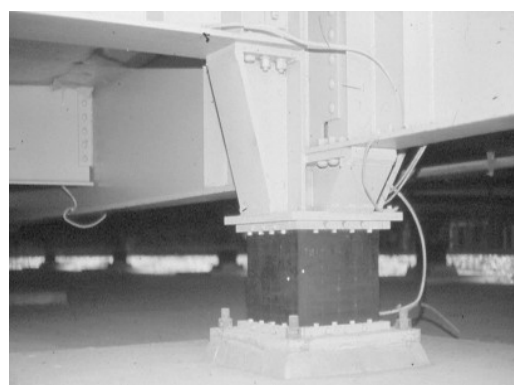


Figura 2-29: Aislamiento sísmico en Central de Bomberos.

Izquierda: Central de Bomberos de Los Ángeles, California. Derecha: Sistema de aislamiento sísmico con tacos de goma entre la estructura y sus fundaciones. (Fuente: propia).

2.8.2. Incremento de Amortiguamiento en Edificaciones

Esta estrategia fue aplicada en la construcción del Edificio Pietrasanta en Barquisimeto, capital del estado Lara, de unos 8 a 9 niveles (Morón y Gaschteff, 2009). La metodología consistió en disponer amortiguadores “*ad hoc*” entre niveles adyacentes. Estos tienen por finalidad disipar una parte sustancial de la energía de deformación resultado de la respuesta de la estructura a la acción vibratoria en su base. De este modo las fuerzas inerciales y desplazamientos son menores, con lo cual se limitan los daños y se reduce la probabilidad de ruina bajo sismos intensos.

2.8.3. Maremotos en Cumaná

En Cumaná se reporta el primer maremoto de la historia post-colombina en América, sucedido el año 1530. Luego de otros eventos comparables en los siglos subsiguientes, el sismo de 1997 presentó una característica particular (véase la **Sección 2.6.9** de este texto). En el extremo occidental de la ciudad donde se sintió fuertemente este sismo de magnitud Richter 6.9, se encuentra el muelle pesquero; este queda ubicado unos 75 km más al Oeste del epicentro del sismo. Cerca de las 2 de la tarde -hora del sismo de Cariaco- dos jóvenes que pescaban en el extremo occidental del muelle, súbitamente fueron arrastrados por una marejada generada por el citado sismo. Uno de los jóvenes se salvó a nado y, el segundo,

desafortunadamente falleció por no saber nadar. Estudiado el evento, el mecanismo del mismo fue de tipo transcurrente-dextral, asociado a la falla de El Pilar; su rotura se extendió más hacia el Este del epicentro, todo lo cual fue corroborado por la ubicación de los epicentros de las réplicas que siguieron y trazas visibles del desplazamiento de la citada falla. Sismólogos de la Universidad de Oriente -entre ellos el profesor Luis Daniel Beauperthuy (1947-2013)- convinieron en que los pronunciados incrementos de profundidad en la costa Oeste y Nor-oeste de áreas densamente urbanizadas de Cumaná, unido al volumen de finos sedimentos que permanentemente arroja al mar el río Manzanares, el cual desemboca a poca distancia, allí acumulados, hubiese perdido estabilidad con las vibraciones del terreno (Beauperthuy, 2010). El tema no deja de tener interés, pues si quedase demostrado que ese mecanismo ha sido el responsable de algunos de los “maremotos” en Cumaná, voladuras controladas con una frecuencia adecuada, disminuirían el riesgo de grandes marejadas asociadas a sismos cercanos.

2.8.4. Deslizamientos

Se deja constancia aquí de una de las mayores catástrofes de América en tiempos recientes, como consecuencia de un sismo. Se trata del sismo que afectó la costa de Perú, en 1970, magnitud 7.8, identificado como terremoto de Chimbote. Los efectos de este evento desestabilizaron un lago en formación con agua de deshielo, en lo alto de la Cordillera Blanca, a 5000 m de altura. Esto generó un gigantesco alud de agua, hielo, suelos y rocas, cuya velocidad al llegar a las zonas más bajas de la cordillera se estimó en 600 km/hora. Ya conocido e identificado como “*huaico*” -según el Drae, vocablo Peruano para designar ‘masa de peñas que las lluvias torrenciales desprenden de las alturas de los Andes’- el cual dejó un balance de 67 mil víctimas, entre las cuales toda la población de Yungay que yace bajo los estratos que se observan en la **Figura 2-30**.



Figura 2-30: Deslizamientos en Yungay, 1970.

Bajo este lecho de material proveniente de la cordillera blanca, yace el pueblo de Yungay. Su cementerio está a mano derecha en la parte más alta del pueblo. (Fuente: Alberto Sarria, 1934-2015).

2.8.5. Secuencias de Sismos Cercanos en el Tiempo en Venezuela

Se hará referencia aquí a secuencias de sismos cercanos en el tiempo, con epicentros que, como veremos, pueden ser distantes. En general, solo se hace referencia a eventos dentro del territorio venezolano; ocasionalmente también pueden ser epicentros en la zona fronteriza con Colombia. El tema fue planteado como un “....*alguien debería estudiarlo...*”, por el Profesor Luis Daniel Beauperthuy en una despedida de aeropuerto.

1. Terremoto del 26 de marzo de 1812. Ese día, un Jueves Santo, Caracas y La Guaira sufrieron severos daños en sus construcciones consecuencia de un sismo intenso. Recientemente se han presentado trabajos según los cuales, una hora más tarde del sismo recién mencionado, Mérida y zonas aledañas sufría severos daños consecuencia de un sismo local (Altez, 2005). Falta por aclarar las horas de las destrucciones de San Felipe y Barquisimeto, aproximadamente a mitad de camino entre las dos áreas mencionadas y también afectadas por sismos intensos. ¿Son consecuencia de un tercer sismo? Esta hipótesis no es descartable, pues poblaciones como Valencia, Puerto Cabello y otras intermedias, si acaso, solo sufrieron efectos muy débiles ese día a esas horas.
2. Terremoto de El Tocuyo, 3 de agosto de 1950. Ese día, la ciudad de El Tocuyo, estado Lara, en horas de la tarde sufrió un fuerte sismo destructor de magnitud 6,4. Trece horas antes, ese mismo día, Colón, Ureña y San Antonio, a unos 250 kilómetros hacia el sureste de El Tocuyo, sufrían destrucciones como consecuencia de un fuerte sismo local.
3. Terremoto de Caracas del 29 de julio de 1967. A las 8 de la noche de ese sábado, Caracas sufrió los efectos del ya aludido sismo Cuatricentenario. No siempre destacado en las crónicas, ese mismo día, unas 13 horas antes, en Santander (Betulia, Bucaramanga y Cúcuta), Colombia, afectación por sismo con foco a 120 km de profundidad, con saldo de 20 víctimas. La capital del estado Táchira y localidades vecinas, sufrieron los efectos de ese sismo que ocasionó varias víctimas y daños en edificaciones. La distancia entre los dos epicentros está en el orden de 850 km.
4. Temblores en Curarigua. En la localidad de Curarigua, estado Lara, el 17 de agosto de 1991, la red de registros instrumentales señala dos eventos consecutivos con una diferencia de 13 segundos entre los dos. Sus epicentros se encontraban ubicados: el segundo a unos 20 km más al noreste que el primero y sus efectos descritos en Lugo y Ferioli (1991) no son separables. Seis horas y 21 segundos después, se reporta un tercer evento a unos 90 km más al Este, de magnitud 5.2 ampliamente sentido en Trinidad y Ciudad Guayana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABENANTE, F. y GRASES, J. (1969). *Contribución al análisis sísmico de estructuras*. Oficina de Investigación de Viviendas de Interés Social del BANAP, CCCA y AVIE. Impresos ACEA Hnos., Caracas, 87 p.
- ALTEZ, R. (2005). El desastre de 1812 en Venezuela: sismos, vulnerabilidad y una patria no tan boba. Trabajo de Grado, nivel Maestría, UCAB, 433p, Caracas.
- AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE (1962). *The Agadir Morocco Earthquake, february 29, 1960*. New York, 112 p.
- APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL (ATC 3-06) (1978). *Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings*. National Bureau of Standards, NBS SP-510, U.S. Government Printing Office, June. Washington, 505 p. + mapas.
- BEAUPERTHUY, L. D. (2010). Comunicación personal, del día 24 de septiembre.
- BORGES, J. F. y HERNÁNDEZ A., C. (1969). *Reforzamiento del Edificio Petunia II, dañado por el sismo de Caracas de 1967*. Informe presentado a la OTES, Caracas.
- BORGES, J. F., GRASES, J. and RAVARA, A. (1969). Behaviour of tall buildings during the Caracas earthquake of 1967. *Proc. of the IVth World Conf. on Earthq. Eng.*, vol. 3, p J-2, 107-123, Santiago de Chile.
- BRICEÑO, F., ESPINOZA, A. y ARCIA, J. (1973). Dynamic response study of the Palace Corvin building in Caracas, Venezuela. *Proc. Vth World Conf. on Earthq. Eng.*, vol. 1, pp 274-285, Roma.
- CARAPAICA, B. (1992). Bibliografía de las investigaciones realizadas en Venezuela en las áreas de Ingeniería Sísmica, Sismología y Geología. Mindur-Funvisis, Caracas.
- CASTELLANOS E., S., SUÁREZ, J., KELEMEN, J., BRICEÑO, F., GÓMEZ, J., OLIVARES, A., LUSTGARTEN, P., HOLOMA, S., GONZÁLEZ, J. V. y GÓMEZ, G. (1978). Estudio del comportamiento de edificios dañados y no dañados. Capítulo XV de *Segunda fase del estudio del sismo ocurrido en Caracas el 29 de Julio de 1967*. Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo, Ministerio de Obras Públicas, 2 volúmenes, edición FUNVISIS, Caracas, 1281 p.
- CLOUD, W. K. (1968). Mediciones de períodos naturales en 8 estructuras de Caracas, después del sismo del 29 de Julio de 1967. USGS, presentado a la Comisión Presidencial, Caracas.
- COMISIÓN INVESTIGADORA (1999). Informe de la Comisión Técnica para Investigar el desplome de una edificación de varios niveles en Cumaná, consecuencia del terremoto de Cariaco de 1979. Copia suministrada por el Arquitecto del Proyecto. Cumaná.
- COMISIÓN PRESIDENCIAL PARA EL ESTUDIO DEL SISMO (CPES) (1968). *Primera fase del estudio del sismo ocurrido en Caracas el 29 de Julio de 1967. Edificios derrumbados*. Ministerio de Obras Públicas, 3 vol.: A, B y C. Caracas, 290 p. + 9 p. y Anexos + 1 p. y fotos. /Suscriben el Informe los Ingenieros Miembros de la Comisión: José Sanabria (Presidente), Edgar Pardo Stolk, Pedro Pablo Azpurua, Hugo Pérez La Salvia, Félix Briceño E., Paúl Lustgarten, Alberto E. Olivares, Blas Lambertí, Andrés Sucre E., Silvestre Castellanos E., Manuel A. Planchart/.
- COMISIÓN PRESIDENCIAL PARA EL ESTUDIO DEL SISMO (1969). Evaluación de los procedimientos de proyectos y prácticas de construcción en Caracas; su relación con los daños. *Boletín de la Asociación Venezolana de Ingeniería Estructural* (AVIE), N° 9, Caracas pp 15-28. /Véase también el trabajo presentado por esa Comisión en el IV Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica, Santiago de Chile, 1969, bajo el título: *The Caracas earthquake of July 29, 1967*, Proceedings 4th WCEE, vol. 3, J-2, pp 74-89/.
- COMISIÓN PRESIDENCIAL PARA EL ESTUDIO DEL SISMO (1978). *Segunda fase del estudio del sismo ocurrido en Caracas, el 29 de Julio de 1967*. FUNVISIS, 2 Vol., Caracas.
- COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (Covenin) (1981). *Estructuras de Concreto Armado para Edificios, Análisis y Diseño*. Mindur-Covenin 1753-81. Caracas, 295 p.
- COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (Covenin) (1982). *Edificaciones antisísmicas*. Norma Venezolana, Mindur-Covenin 1756-82. CDU 721:550.34. Caracas, 67 p + comentarios.
- COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (Covenin) (1983). *Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones* Norma Venezolana, Mindur-Covenin 2002-83. Caracas, 53 p.
- COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (Covenin) (1985a). *Prescripciones especiales para el diseño de elementos estructurales de edificaciones antisísmicas*. Capítulo 18 de la Norma Covenin-Mindur 1753-85. Caracas. /Documento a cargo de una Subcomisión coordinada por el Ing. César Hernández Acosta/.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (Covenin) (1985b). *Estructuras de Concreto Armado para Edificios, Análisis y Diseño*. NORMA Covenin-Mindur 1753-85. Fondonorma, Caracas.
- COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (Covenin) (1988). *Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones*. Comisión de Normas de Mindur, CDU 624.042:691. Caracas, 40 p. + comentario + apéndice.
- COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (Covenin) (2000a). *Diseño sismo-resistente de instalaciones industriales*. Articulado y Comentario. ISBN 980-06-2542-9, Fondonorma, Covenin 3621. Caracas, 35 p. /Inicialmente: Especificación PDVSA JA-221, 1999/.

- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (Covenin) (2000b). *Diseño sismo-resistente de recipientes y envases*. Norma Venezolana, Covenin 3622. Articulado y Comentario, 12 p. Fondonorma, ISBN 980-06-2544-5, Caracas.
- COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (Covenin) (2000c). *Diseño sismo-resistente de tanques metálicos*. Fondonorma, Covenin 3623, Caracas. /Inicialmente: *Especificación PDVSA FJ-251*, 1999/.
- DE LA ROSA J. y URREIZTIETA O. (1953). Normas para el uso del Concreto Armado. *Revista del CIV*, N° 206:9-17; N° 207:4-17; N° 208:4-13, Caracas. /Por su presentación, la autoría de ese trabajo corresponde a la Dirección de Obras Públicas del Distrito Federal, División de Control de Construcciones. De La Rosa y Urreiztieta firman una nota que encabeza este largo documento, señalando que las fuerzas por sismo que incluye el documento: "*Están basadas en The Lateral Force Code, del Joint Committee of the San Francisco, ASCE Calif. Sect. and Struct. Eng. Assoc. of North Califor. SEAONC del año 1951*".
- EARTHQUAKE SPECTRA (2008). Special issue on the Next Generation Attenuation Project. *Earthquake Spectra*, vol. 24, EERI, Peerc and California Department of Transportation, Oakland, Cal. 341 p. /Regresiones actualizadas en 2013/.
- ESTEVA M., L. (1967). Criterios para construcción de espectros para diseño sísmico. *Boletín Técnico IMME*, N° 19, p. 49-73, Caracas.
- FIEDLER, G. (1968). Estudio sismológico de la región de Caracas con relación al terremoto del 29 de Julio de 1967. Reporte y evaluaciones. *Boletín Técnico IMME*, vol. VI, N° 23-24, 127-221, Caracas.
- FIEDLER, G. (1969). Algunas notas sobre la aceleración del suelo en el terremoto de Caracas de Julio 29 de 1967. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, 24:85, 19p., Caracas. /Versión en inglés, folleto de 24 p, editado en Italgráfica, Caracas, 1969/.
- G.M.K. (2002). Evaluación de la calidad del concreto de los muros norte y sur del sótano del edificio Miramar, Cumaná. G.M.K. QA & QC, 15 p
- GRASES, J. (2002). Introducción a la Evaluación de la Amenaza Sísmica en Venezuela. Acciones de Mitigación. Fundación Pedro Grases, ISBN: 980-07-8393-8, Caracas, 249 p.
- GRASES, J., ALTEZ, R. y LUGO, M. (1999). *Catálogo de sismos sentidos o destructores. Venezuela 1530/1998*. Vol XXXVII, Acad. de Ciencias Físic., Matem. y Nat., y Fac. de Ing. UCV. Ed. Innov. Tecno., ISBN: 980-6195-06-X, Caracas, 654 p. /Edición para conmemorar los 50 años del fallecimiento del Dr. Centeno Graü/.
- HANSON, R. D. and DEGENKOLB, H. J. (1969). *The Venezuela earthquake, july 29, 1967*. American Iron and Steel Institute. New York, 176 p.
- HERNÁNDEZ, J. J. (2009). Confiabilidad sísmica estructural de edificaciones existentes de Caracas. Presentado en Proyecto Pensar en Venezuela, CIV, 18 y 19 septiembre. Caracas, 197 p.
- HOEK, E. and GUEVARA B., R. (2009). Overcoming squeezing in the Yacambú-Quibor tunnel, Venezuela. *Rock Mechanics and Rock Engineering Magazine*, February. /37 p., ampliamente ilustrado/.
- ISO 19.901-2 (2004). Petroleum and Natural Gas Industries-Specific Requirements for Offshore Structures-Part 2: Seismic Design Procedures and Criteria. International Standard, Geneva 20.
- LUCHSINGER, J. (1972). Contribución de los elementos de tabiquería de arcilla en la respuesta de estructuras sometidas a cargas sísmicas. *Boletín Técnico IMME*, X (39-40):3-34, Caracas.
- LAFUENTE, M. y GENATIOS, C. (1998). Consideraciones sobre el comportamiento sismo-resistente de estructuras de paredes de mampostería con marcos de concreto armado. *Boletín Técnico IMME*, 36(2):29-52, Caracas.
- LOBO QUINTERO, W. (2012) Fotos tomadas por el Prof. William Lobo Q., Mérida. Copia del Informe presentado a la Alcaldía, advirtiendo sobre la vulnerabilidad de esa edificación Hotelera, ULA. Mérida.
- LUGO, M. y FERIOLI, M. P. (1991). Encuesta de intensidades de los sismos de Curarigua (agosto-setiembre, 1991). FUNVISIS, Caracas.
- MAGLIONE di G., P. y GRASES, J. (2011). Evaluación de la respuesta sísmica de un edificio de 21 niveles durante el sismo de Caracas del 29-07-1967 y la revisión de sus estructuras reforzadas en 1968. *Tekhne*, Revista de la Facultad de Ingeniería, UCAB, N° 14, 19-39, ISSN: 1316-3930. Caracas.
- MARÍN, J. (1969). *Dinámica de Estructuras*. Apuntes de las clases del Profesor Doctor Simón Lamar. Cursos para Graduados, Facultad de Ingeniería, UCV. Caracas, 170 p.
- MARÍN, J. (1971). *Comportamiento del concreto armado en flexocompresión*. Folleto de Estructuras N° 6, Dep. de Ing. Estr., Facultad de Ingeniería UCV, Cursos para Graduados, Caracas, 238p. /Basado en clases y referencias dadas por el Dr. Chester Siess, Universidad de Illinois/.
- MARÍN, J. (1975). *Análisis Matricial de Estructuras*. Apuntes de las clases de los Profesores Celso Fortoul P. y Simón Lamar (1969/75). Folleto de Estructuras N° 7, Dep. de Ing. Estr., Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas, 130 p.
- MAZZEO, A. (1969). Informe sobre la reparación estructural de las dependencias del Hotel Macuto Sheraton. *Dirección de Edificios, MOP*, 34 p. + ilustr., Caracas. /Véase también del mismo autor: Reconstrucción del Hotel Macuto Sheraton, en el *Boletín de la Asociación Venezolana de Ingeniería Estructural*, p 3-14, s.f., Caracas./
- MENDOZA, M. (1990). Informe presentado a EDELCA de la visita efectuada a la S/E Morgan Hill, California durante 1989. Caracas, 23 p.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1967a). *Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas*. Caracas, 18 p + mapa. /Sustituye la Norma sísmica del MOP del año 1955, la cual se consideró obsoleta/.

- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1967b). Plano de inmuebles afectados por el sismo del 29-07-1967. Información conjunta: MOP, CIV, Banco Obrero, Ingenierías Municipales, Universidades y otras instituciones públicas. Plano base OMPU 1:5.000, setiembre, Caracas. /Se indica en esta referencia, la cifra de aproximadamente un millar de edificaciones de 10 o más plantas, en el Valle de Caracas para la fecha del sismo/.
- MORÓN, A. y GASCHTEFF, L. (2009). Implementación de amortiguadores viscosos en un edificio residencial. Capítulo XVI de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Ediciones CITECI-CONSULIBRIS, Vol. II, ISBN: 978-980-7081-05-4, Caracas.
- NEWMARK, N. N. (1970). *Introducción a la Ingeniería Sismorresistente*. Charlas del "Curso sobre Diseño Estructural de Edificios Altos", patrocinado por la AVPC, traducidas y adaptadas por el Prof. J. Marín. Folleto de Estructuras N° 10, Dep. de Ing. Estr., Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas, Octubre 1976, 190 p.
- PÉREZ HERNÁNDEZ, R. J., NIETO J. J. y SOLORZANO E. (2001) Criterios de diseño del sistema de disipación sísmica en los viaductos del ferrocarril Caracas-Tuy Medio. *TEKHNE Revista de Ingeniería*, N° 5, UCAB, p 115-116, Caracas.
- ROY, H. (1970). *Introducción a la Estructuración de Edificios Altos*. Charlas del "Curso sobre Diseño Estructural de Edificios Altos", patrocinado por la AVPC, traducidas y adaptadas por el Prof. J. Marín. Folleto de Estructuras N° 13, Dep. de Ing. Estr., Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas, Octubre 1977, 138 p.
- SARRIA, A. (2012). Gentileza del Profesor Alberto Sarria, con motivo del Taller sobre Normas Sísmicas, CAF-Geópolis, celebrado en Caracas.
- SOZEN, M. A. (1970). *Introducción al Comportamiento de Edificios de Concreto Armado*. Charlas del "Curso sobre Diseño Estructural de Edificios Altos", patrocinado por la AVPC, traducidas y adaptadas por el Prof. J. Marín. Folleto de Estructuras N° 14, Dep. de Ing. Estr., Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas, Noviembre 1977, 129 p.
- SVOJSIK DE BEEK, V. M. (1980). Comportamiento sísmico del Macuto Sheraton durante el Terremoto de Caracas de 1967. *Boletín Técnico IMME*, N° 66, pp. 3-48. Caracas.
- UGAS, C. T. (1977). Informe del trabajo de campo en el área afectada por el terremoto de San Juan, Argentina, M = 7.4. Inédito. Caracas, 52 p.
- UGAS, C. T. y GRASES, J. (1980). *Observaciones y Lecciones del Terremoto de Caracas de 1967*. Informe solicitado por FUNVISIS, no publicado. Caracas, ca. 250 p.
- UGAS, C.T., GRASES, J. y VÁSQUEZ, A. (1983). Referencias relativas al terremoto de Caracas del 29-07-1967. *Boletín Técnico IMME*, Vol. 21, N° 72-73, pp. 223-258, Caracas.
- UZCÁTEGUI, R., GRASES, J. y MOLINA, Y. (1977). Cálculo de los esfuerzos debidos a movimientos de fallas geológicas en una tubería submarina. *Boletín Técnico IMME*, Vol. 15. N° 57-58, 103-126, UCV, Caracas.
- VÁSQUEZ, A. y OSUNA, M. (1981). *Bibliografía sobre sismos ocurridos en Venezuela*. Folleto repartido con ocasión del III Congreso Venez. de Sism. e Ing. Sism., Caracas 16-20 de Marzo, 30p. / Contiene 161 entradas + material informativo del Centro de Documentación de FUNVISIS/.
- VIGNERI, L. (1967). *Informe sobre las columnas del Macuto Sheraton*. IMME, Facultad de Ingeniería, UCV, diciembre. Caracas, 22 p.
- WHITMAN, R. V. (1969). Efecto de las condiciones del suelo en el daño producido a las estructuras por el terremoto de Caracas del 29 de Julio de 1967. MIT, Cambrige. /Versión en español del Estudio Realizado para la Comisión Presidencial. Noviembre, Cambridge, Massachusetts, s.n. Edición en español e inglés.



3. POBREZA, VULNERABILIDAD Y RIESGOS: LOS BARRIOS DE CARACAS

Autor: Alfredo Cilento-Sarli

RESUMEN

La Encuesta Nacional de Condiciones de Vida de la Población, ENCOVI³ realizada en los años 2014 y 2015 ha permitido obtener información sobre aspectos de la calidad de vida de los venezolanos en relación a los cuales no se disponía, o al menos no se difundía, información sistemáticamente recogida y confiable, desde finales de los años 90. De la información ofrecida por ENCOVI, en este ensayo se van a utilizar datos relativos a la situación de la pobreza en Venezuela, y de los aspectos relativos a la vulnerabilidad físico-ambiental, social y económica de la población⁴, que permitirán establecer la relación existente entre pobreza, vulnerabilidad y riesgos frente a amenazas de origen natural, que es el objetivo principal de este escrito. En particular se analizará el riesgo de catástrofe, ante la ocurrencia de un sismo, en los barrios autoproducidos del Área Metropolitana de Caracas, cuya vulnerabilidad constituye el mayor problema urbano del país. Y se planteará la urgente necesidad de formular e iniciar la aplicación de un Plan de Contingencia para los barrios caraqueños, que se adelante a la muy probable ocurrencia de una catástrofe mayor.

3.1. POBREZA Y VULNERABILIDAD

Existe un círculo perverso entre vulnerabilidad y pobreza. La pobreza incrementa la vulnerabilidad y una mayor vulnerabilidad significa más pobreza e insostenibilidad. Los terremotos de Haití y Chile de inicios de 2010 ilustran muy bien esta interdependencia. En enero de 2010 Haití sufrió un terremoto de Mg. 7,3 que ocasionó más de 350.000 fallecidos y una epidemia de cólera; un mes después Chile fue estremecido por un sismo de Mg. 8,8 cuya liberación de energía fue considerablemente mayor que la del terremoto de Haití, pero que produjo menos de 500 fallecidos. La diferencia en el grado de afectación entre ambas catástrofes radicó básicamente en la diferencia, entre ambos países, en el nivel de la pobreza y de la vulnerabilidad ciudadana integral asociada, que incluye la vulnerabilidad física de la infraestructura y el equipamiento, así como la vulnerabilidad social y económica de la población.

ENCOVI considera la vulnerabilidad ciudadana frente a eventos de origen natural o antrópicos como:

Condiciones predominantes de fragilidad, indefensión o susceptibilidad de un sistema social (comunidad-hogar-personas), en un momento determinado, frente a los impactos derivados de la materialización de una amenaza natural, influenciadas por factores demográficos, educativos, físicos, económicos, ambientales, culturales y de organización, que favorecen la conversión de un fenómeno natural a categoría de desastre al potenciar la probabilidad de sufrir pérdidas significativas debido a las limitadas capacidades de anticipación, resiliencia y resistencia del sistema ante eventos que exponen a riesgo la vida, los modos de vida, el ambiente, y los bienes. El gran objetivo es la reducción sustancial del riesgo de desastres y de las pérdidas ocasionadas, tanto en vidas, medios de subsistencia y salud como en bienes económicos, físicos, sociales, culturales y ambientales de las personas, las empresas, las comunidades y los países; y en sus cuatro esferas prioritarias:

1. Comprender el riesgo de desastres;
2. Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo;
3. Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia; y
4. Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y para “reconstruir mejor” en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción.

³ La Encuesta Nacional de Condiciones de Vida efectuada en los años 2014 y 2015 estuvo a cargo de un equipo de especialistas de la Universidad Católica Andrés Bello, la Universidad Central de Venezuela y la Universidad Simón Bolívar.

⁴ Las secciones de Pobreza, Vivienda y Servicios, y Vulnerabilidad y Riesgos de ENCOVI 2014 y 2015, estuvieron bajo la coordinación de Luís Pedro España, Alfredo Cilento Sarli y Ángel Rangel Sánchez respectivamente.

3.1.1. La pobreza en Venezuela

Los datos de ENCOVI 2014 y 2015 (**Tabla 3-1**) revelan que la situación de pobreza de ingresos en Venezuela en 2015 empeoró respecto a 2014; y según los resultados preliminares de ENCOVI 2016, la pobreza alcanzó a un 80 % de la población; mientras que la pobreza extrema llegó probablemente a su mayor nivel al ubicarse en un 60 %.

Tabla 3-1: Situación de pobreza en Venezuela en los años 2014 y 2015.
(Fuente: ENCOVI 2014-2015).

	2014	2015
POBRES EXTREMOS	23,6 %	49,9 %
POBRES	24,8 %	23,1 %
NO POBRES	51,6 %	27,0 %

Los efectos de la pobreza implican:

1. Una reducción de la tasa de actividad de la población, representada principalmente por la deserción escolar y el ingreso precario al mercado laboral;
2. Liquidación de patrimonio, es decir que se gasta lo que pudo acumularse (ahorros) y que pudo haberse usado como activo, lo que implica principalmente la imposibilidad de acceso a un alojamiento adecuado y genera un proceso de filtración hacia abajo, es decir que las familias tienen que recurrir a una vivienda o a un lugar de peor calidad que su alojamiento anterior;
3. Reducción del consumo por los efectos de la inflación desbordada⁵, se consume menos y por efectos de la escasez, es más difícil sustituir la compra de un producto por otro; y
4. Crecen la desnutrición y las enfermedades de la pobreza.

La conclusión obvia es que es necesario impedir a toda costa que los hogares venezolanos sigan empobreciéndose.

La cuestión es que no ha habido una política para enfrentar la crisis social; y las “misiones” sociales organizadas por el gobierno no constituyeron una política dirigida a la superación de la pobreza y tampoco han resultado en una política de contención de la crisis de ingresos.

Como se ha señalado, al no esperarse un comportamiento económico distinto al actual los niveles de pobreza de ingreso se incrementarán. Es posible que estemos en el límite superior de la pobreza de ingreso: en 2016 alrededor del 80%; pero, el 27 % que no era pobre seguirá siendo un sector que pierde calidad de vida por el efecto de filtración hacia abajo. En todo caso, lo que seguirá aumentando, si no cambia la política social, es el nivel de la pobreza estructural que alcanza al 30% de los hogares del país. Es sólo cuestión de tiempo para llegar al 45%, tope histórico en los últimos 17 años. El factor básico de la pobreza estructural está representado por las necesidades básicas insatisfechas: vivienda, salud, educación, empleo, recreación... aunadas a la condición de pobre que recibe ingresos insuficientes para sustentar el costo de un estándar mínimo de consumo.

⁵ La inflación subyacente en 2016, es decir la que refleja el índice de precios al consumidor (IPC), es superior al 700 %, la más alta del mundo.

Como se ha señalado, la cuestión fundamental que afecta severamente a la población es el círculo perverso en el que la pobreza genera vulnerabilidad y a más vulnerabilidad mayor pobreza. La vulnerabilidad, igual que la sostenibilidad, es un concepto multidimensional que conjuga factores de vulnerabilidad físico-ambiental, vulnerabilidad social y vulnerabilidad económica.

3.1.2. Vulnerabilidad físico-ambiental

Los factores de vulnerabilidad físico-ambiental analizados a partir de los datos de ENCOVI están relacionados con la calidad de la vivienda y los servicios, es decir de la vivienda y su entorno. La calidad y tenencia de las viviendas y las condiciones del entorno y los servicios públicos son un factor prioritario al considerar la vulnerabilidad ciudadana, como se analiza a continuación.

3.1.2.1 Tipo y tenencia de la vivienda

Para el año 2015 la población de Venezuela, proyectada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), era de 30.812.182 habitantes que, según ENCOVI, constituían 7.590.557 hogares. El 52,3 % de esos hogares ocupan el tipo de vivienda catalogado como casa, lo que incluye las casas existentes en los barrios autoproducidos; mientras que el 9,7 % de los hogares habitan en “ranchos” o viviendas improvisadas. Esto confirma los diversos estudios sobre el tema de la vivienda, que coinciden en señalar que la mayor carencia en los barrios no es la casa o la vivienda en sí misma sino el déficit de servicios públicos y comunales, y la vulnerabilidad física-ambiental, social, sanitaria, como se analizará en los puntos siguientes.

El 80,7 % de las viviendas existentes es propia pagada, pagándose o adjudicada en algún programa del gobierno. El número de viviendas en alquiler es muy bajo a pesar de su necesidad; y la oferta de ese tipo de viviendas prácticamente ha desaparecido como efecto de las políticas gubernamentales de combate al arrendamiento de viviendas. Aun así, el 19,3 % de los hogares no está en posesión de una vivienda. La Ley contra el desalojo y desocupación arbitraria de viviendas populares (06-05-2011), la Ley de costos y precios justos (18-07-2011) y la Ley para la regularización y control de los arrendamientos de vivienda (10-11-2011), terminaron acabando con la oferta de viviendas para alquilar. Esta situación se ha traducido en un incremento desproporcionado del precio de los alquileres y de los precios del mercado secundario de viviendas; así como en la desaparición de la oferta de nuevas viviendas producidas por el sector privado, accesibles a los sectores medios y bajos de la población. Esto ha afectado a un porcentaje apreciable de la población que no puede adquirir una vivienda, ya sea por falta de oferta o por insolvencia económica, pero que demanda viviendas en alquiler, especialmente las parejas jóvenes estudiantes, divorciados, quienes cambian de lugar de trabajo, quienes buscan un mejor o más seguro lugar, etc.

3.1.2.2 Origen de la construcción

Del total de hogares estimados para 2015, 64,3 % ocupan viviendas que han sido construidas, producidas o gestionadas por la propia gente. Este dato confirma también con notable precisión las diversas apreciaciones de quienes hemos sostenido por muchos años que las dos terceras partes de los hogares venezolanos habitan en construcciones autoproducidas, independientemente de la calidad de la construcción, lo que se analizará más adelante. Es un dato que también contribuye a precisar las estimaciones de que más de la mitad de la población venezolana vive en barrios autogestionados.

Otro dato revelador, que ratifica las apreciaciones de los especialistas, corresponde a la producción de viviendas por el sector formal de la construcción. De los hogares venezolanos el 5,3 % habitan en viviendas construidas por el sector privado en los últimos diez años, y el 3,1 % en viviendas construidas por el sector público en ese mismo período. Esto significa que entre 2006 y 2015 ambos sectores construyeron el 8,4 % de las viviendas existentes, es decir unas 640.000 nuevas viviendas, equivalentes a unas 64.000 viviendas por año. Esta cifra es del mismo orden de las nuevas viviendas construidas a finales

de los años 60, cuando la población de Venezuela era de unos 11 millones de habitantes. El resto de las viviendas construidas en ese lapso (1.313.000 alojamientos) fueron producidas por la propia gente, más del doble de las construidas por los sectores público y privado. A esto hay que agregar que el número de nuevos hogares que se forman anualmente es de unos 4 por cada 1.000 habitantes, es decir unos 120.000 en 2018. La diferencia con la construcción de nuevas viviendas es cubierta por el hacinamiento y la construcción informal: por eso crece la población en los barrios autoproducidos.

Lo que ratifican estos números de ENCOVI, es que el Estado y los promotores privados no están en condiciones de superar la capacidad de respuesta de la gente en materia de provisión de su alojamiento. Por ello hemos señalado, desde hace décadas, la necesidad de desarrollar amplios programas de habilitación de tierras urbanas y un programa de asistencia técnica integral a las comunidades, a fin de facilitarles la construcción de viviendas de desarrollo progresivo, según sus propias necesidades y expectativas, como siempre lo han hecho aquí y en todas partes. Esto permitiría adicionalmente mantener permanentemente una reserva de tierras urbanizadas para atender eventuales situaciones de emergencias (Cilento, 2011).

3.1.2.3 Materiales predominantes

El tipo de materiales utilizados en el techo es un factor determinante de la calidad de la vivienda, especialmente en el trópico húmedo. El 38,1 % de las viviendas tienen un techo de láminas, metálicas, de otro tipo, o de materiales de desecho, lo que se considera un “techo blando”. Sin embargo, un techo de lámina metálica o asfáltica no necesariamente tiene que ser símbolo de mala calidad. Si se utiliza la lámina metálica con una buena práctica constructiva: del material y calibre apropiado, sobre una estructura permanente, con plafond, ventilando la cámara de aire resultante, se puede obtener un techo de buen comportamiento técnico. Lamentablemente, en Venezuela, el techo de lámina en las viviendas, especialmente en las autoproducidas de los barrios, se reduce a la simple colocación de láminas metálicas, las más baratas o desechadas, sobre una estructura de soporte elemental, para protegerse precariamente de la inclemencia del tiempo.

En 2015, el 76,3 % de las viviendas presentaban paredes exteriores de bloques frizados y 13,0 % de bloques sin frisar. Esto es compatible con el porcentaje de casas y casas-quinta existentes. Sin embargo, como se verá al analizar la estructura portante de las viviendas, la existencia de paredes de bloques, frizados o no, no es garantía de calidad y durabilidad de la construcción.

En cuanto a los materiales del piso el 57,4 % de los hogares poseen pisos de cemento revestidos (granito, mosaico o similares). El piso de cemento sin revestimiento (37,4 %) constituye una mejora en relación a los hogares con piso de tierra, tablas u otro (5,2%). De todas formas, la calidad del piso depende de la estabilidad del terreno donde está construida la vivienda, es decir de suelos con adecuada capacidad de soporte, y no propiamente de los materiales utilizados. De hecho, en los barrios autoproducidos el mayor problema no es el techo, generalmente liviano, sino el suelo. Por esta razón la mayor parte los programas de “mejoramiento” de la vivienda de los barrios pobres son una forma de “tapar el sol con un dedo”, puesto que en general solo implican maquillaje de la vivienda sin atacar el problema mayor de vulnerabilidad e infraurbanización.

3.1.2.4 Estructura portante de las viviendas

Con respecto a la estructura portante de las viviendas, el 62,0 % del total de hogares de 2015, habitan en viviendas con estructura de concreto o acero, incluyendo los que ocupan viviendas con estructura tipo túnel, de muros y losas de concreto. Se puede asumir que las viviendas con estructura de concreto y acero son aceptables desde el punto de vista estructural. Igualmente las viviendas construidas con encofrado tipo túnel (2,3%), sin embargo un porcentaje de éstas confrontan problemas de rigidez en una de las

direcciones de la estructura, lo que las hace vulnerables frente al sismo y ameritarían reforzamiento estructural.

Pero, el 28,4 % de las viviendas han sido construidas con mampostería de bloques de concreto o arcilla. Aquí el problema es que el uso de la mampostería de bloques no está normado en el país⁶ y, en todo caso estas viviendas no disponen de refuerzos apropiados según la técnicas de mampostería reforzada o confinada, lo que se puede apreciar a simple vista, especialmente en las casas construidas en los barrios. Los defectos fundamentales son la ausencia de vigas de corona, la falta de continuidad en los machones de planta baja y pisos superiores, inexistencia de machones, inadecuación de los refuerzos de acero, fundaciones inapropiadas, terrenos con baja capacidad de soporte y, en general, malas prácticas constructivas. Si a esto se suma un 9,6 % de viviendas sin estructura portante, se tiene un 38,0 % de viviendas en extremo vulnerables o potencialmente muy vulnerables frente al sismo y a fallas del terreno.

3.1.2.5 Condiciones del entorno de la vivienda

A la vulnerabilidad estructural de las viviendas de mampostería de bloques, hay que agregar los factores de vulnerabilidad del entorno. En 2015 las familias encuestadas señalaron un 23,0 % de casos de viviendas con grietas; un 13,4 % están ubicadas en zonas donde existen rellenos inestables; y un 10,5 % que acusan la presencia de deslizamientos en el entorno, todo lo cual extrema la situación de vulnerabilidad del entorno de las viviendas. Más preocupante es la información, de que un 13,5 % de los hogares habita en sectores declarados de alto riesgo, y esto equivale a un poco más de un millón de hogares en peligro inminente. Con todos estos indicadores, evaluados con criterio de experto, estamos en condiciones de ratificar que más de la mitad de las viviendas del país comportan una alta vulnerabilidad, que es acentuada por la falta total de preparación de la población para enfrentar contingencias mayores, como se desprende de los datos sobre vulnerabilidad social de la población, que se presentan más adelante.

3.1.2.6 Situación de los servicios públicos

Aguas negras. El 90,4 % de los hogares reporta la existencia de cloacas y el 9,6 % señala que no dispone de ese servicio, utiliza pozo séptico, letrina o simplemente efectúa sus necesidades en descampado. Aún con una buena parte de la población disponiendo de WC y tubería de cloacas, el problema principal, ambiental y sanitario, es la disposición final de los efluentes de aguas negras y grises, que generan graves problemas de contaminación de suelos y agua, a lo largo de toda la geografía venezolana. Esto desde luego contribuye a incrementar la vulnerabilidad ambiental y sanitaria del país.

Acueducto. El 81,3 % de los hogares existentes en 2015 declaran tener acceso al acueducto, lo que les garantizaría el suministro de agua potable, mientras que el 18,6 % no dispone de dicho servicio. Pero una cosa es tener acceso a la tubería de distribución de agua y otra la continuidad del servicio. En nuestro caso sólo el 61,6 % de los hogares informa tener suministro diario de agua potable, mientras que 38,4 % de los hogares tiene un servicio discontinuo o no lo tiene. Una condición fundamental la calidad de vida y la salud es la de disponer de suministro continuo de agua potable, que es una de las metas de la OMS. La recolección y almacenamiento doméstico inapropiado, en depósitos improvisados, es causa principalísima de las enfermedades de origen hídrico (dengue, chikungunya, hepatitis, disentería, gastroenteritis...), enfermedades de la pobreza que son recurrentes en el país. Esta situación contribuye desde luego a empeorar la vulnerabilidad sanitaria y las condiciones de vida del venezolano.

Electricidad. Venezuela dispone de una capacidad instalada de generación de electricidad que sería suficiente para garantizar el suministro continuo del servicio. Sin embargo, problemas de generación,

⁶ En 2016 el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la UCV puso en consulta un proyecto de Norma Venezolana de Mampostería Estructural.

transmisión y mantenimiento de las plantas y líneas de transmisión, se han acumulado en los últimos años. La gravedad de la situación se refleja en el hecho de que el 86,4 % de los hogares sufre interrupciones frecuentes en el servicio eléctrico, y lo que es más grave, el 12,5 % declara apagones diarios. Y, esta situación ha hecho crisis en los primeros meses de 2016 como consecuencia de la sequía y pérdida de caudal de las represas del Caroní. A esta situación hay que agregar la extrema vulnerabilidad de la red eléctrica en las zonas de barrios autoproducidos como consecuencia de las innumerables acometidas ilegales improvisadas. Según Corpoelec, el consumo clandestino de electricidad o fraude eléctrico, pérdidas negras o "robos de luz", oscila entre el 30% y el 50% de la energía entregada a los usuarios, dependiendo de la región del país, alcanzando un promedio nacional del 30% sin incluir las pérdidas técnicas que se ubican en un 10 %.

Aseo Urbano. El servicio de aseo urbano está disponible sólo para el 78,5 % de los hogares; y las condiciones objetivas de prestación del servicio evidencian, sin lugar a dudas, un severo problema sanitario urbano, por la irregularidad en la recolección de la basura que permanece por días tirada a lo largo de calles y avenidas, en todas las ciudades del país. En general todos los municipios prestan el servicio de aseo urbano, pero con evidentes fallas en la continuidad del servicio y manejo de los vertederos. La deficiente recolección y disposición final de los desechos sólidos también constituye un grave problema ambiental que activa una red epidemiológica severa.

3.1.2.7 Accesibilidad y servicios comunales del entorno

El 73,2 % de los hogares accede a su lugar de alojamiento desde una calle pavimentada, pero el 18,1 % accede desde calle de tierra, lo que es una fuerte restricción cuando llueve. Los problemas de accesibilidad son particularmente severos en los barrios ubicados en terrenos en pendiente, como en el caso de Caracas, lo que genera severas dificultades de movilidad y desplazamiento de equipos y personal en el caso de una contingencia mayor, a ello contribuiría adicionalmente la falta de preparación de la población en materia de reducción de riesgos.

Así como el servicio continuo de agua y el de electricidad son condiciones de vida indispensables para la población, el acceso a los servicios comunales básicos: educativos, médico asistenciales, de abastecimiento, de seguridad y transporte, constituyen también requerimientos básicos. El acceso peatonal a esos servicios, con una cercanía aproximada de 500 m, es fundamental para reducir los viajes vehiculares, particularmente en un país donde el transporte público es tan ineficiente. Se estima que 500 m debería ser la distancia máxima que recorra la madre para llevar al bebé a la guardería, o el niño para ir al jardín de infancia o la escuela básica.

Son importantes los déficits de guarderías, preescolares y ambulatorios o Módulos Barrio Adentro, en el entorno cercano de los hogares, particularmente el déficit de guarderías, del 59,4 %. La ausencia de vigilancia policial en el vecindario del 67,3% de los hogares, refleja los graves problemas de seguridad que afectan a la población venezolana. Un 73,6 % de los encuestados declaran la cercanía de escuelas básicas; en este caso no se consultó sobre transporte escolar, cuya existencia mejora radicalmente la accesibilidad. La inexistencia de canchas o parques en la proximidad del 27,1 % de las zonas residenciales es compatible con los estudios y señalamientos que indican que la ausencia de espacios públicos es otro de los indicadores básicos de pérdida de condiciones de vida de la población.

La existencia de un 77,9 % de locales de abastos en la cercanía no es garantía de existencia de productos y mercancías, a la vista de los problemas causados por la dificultad para el acceso a los alimentos que confronta la población, agravados progresivamente a partir de 2014. De otra parte un 71,7 % señala acceso cercano al transporte público, lo que sería un rasgo positivo, si la calidad del transporte público y los

problemas de tránsito y tiempo de transporte no fueran una de las mayores causas de pérdida de calidad de vida urbana y de maltrato a la población venezolana.

Otra cuestión crítica es la vulnerabilidad de las edificaciones escolares y hospitalarias frente al riesgo sísmico, debido al papel crucial que les corresponde a la hora de atender una emergencia (López, 2008) (López et al., 2014). En el caso de las edificaciones hospitalarias que integran el sistema nacional de salud de Venezuela, la situación es crítica en cuanto al mantenimiento y equipamiento hospitalario y la disponibilidad de medicamentos e insumos médicos (Human Right Wacht, 2015).⁷ La vulnerabilidad y frecuentes derrumbes de edificaciones hospitalarias en el caso de sismos magnifican los efectos de los mismos y dificulta severamente la atención postdesastre (Organización Mundial de la Salud, 2009).⁸ De extrema importancia a la hora de una contingencia mayor es la disponibilidad de los servicios de emergencia hospitalaria y de ambulancias para el traslado de las personas afectadas, y esta es un déficit mayor en los hospitales venezolanos (Sociedad Venezolana de Medicina de Emergencia y Desastres, 2006).⁹

Hay que agregar la vulnerabilidad de las líneas vitales constituidas por las redes de infraestructura imprescindibles para el normal funcionamiento de las ciudades y satisfacción de las necesidades humanas: red que hace posible la movilidad de las mercancías, transporte de personas, grandes líneas de suministro de energía y elementos de saneamiento básico, por ejemplo, agua, electricidad, gas y combustibles líquidos, y las líneas que facilitan la comunicación (Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, 2017).¹⁰

3.1.3. Vulnerabilidad social

Los factores de vulnerabilidad social analizados en ENCOVI fueron los siguientes: sexo y edad de la población, acceso a TIC y teléfono celular en el hogar, organización comunitaria local, información preventiva y formación para la reducción del riesgo de desastres (RRD), sistemas de alerta a nivel local, acceso a servicios de salud a nivel local, nivel educativo, percepción del riesgo de incendios, percepción del riesgo de sismos, percepción del riesgo de lluvias, planes de evacuación de emergencia a nivel local, percepción del riesgo de deslizamiento y percepción del riesgo de inundaciones (**Tabla 3-2**).

La conclusión es obvia, la población no está suficientemente informada para contribuir de manera organizada a la reducción del riesgo de desastres (RRD).

⁷ <https://www.hrw.org/es/news/2015/04/29/la-crisis-del-sistema-de-salud-de-venezuela>.

⁸ <https://www.unisdr.org/2009/campaign/pdf/wdrc-2008-2009-information-kit-spanish.pdf>.

⁹ http://svmed.com.ve/archivos/normativa_de_ambulancia/ambulanciasreglamentonacional.pdf.

¹⁰ <http://www.funvisis.gob.ve/archivos/www/terremoto/Papers/Doc033/doc033.htm>.

Tabla 3-2: Factores de vulnerabilidad social desagregados.

	Población	%
Mujeres	15.480.636	52
Personas menores de 10 y mayores de 60 años	8.181.361	27
Sin acceso a TIC y Celular	5.162.599	17
Con deficiente organización comunitaria para RRD	27.526.941	91
Sin información y/o formación preventiva	28.359.245	94
Sin disponibilidad de sistema de alerta local	26.865.386	89
Sin conocimiento sobre plan de evacuación local	28.241.317	93
Sin acceso a servicios de salud a nivel local	15.266.633	51
Sólo con nivel de educación primaria	9.981.930	61
No percibe riesgo de Incendios	23.197.855	77
No percibe riesgo relacionado a los sismos	26.693.582	88
No percibe riesgo relacionado a las lluvias	13.106.098	43
No percibe riesgo relacionado a inundaciones	21.870.217	72
No percibe riesgo de posible deslizamiento	26.013.526	86

3.1.4. Vulnerabilidad económica

La vulnerabilidad económica tiene que ver con la capacidad de las familias para afrontar una emergencia mayor, como se mide en la **Tabla 3-3**.

Tabla 3-3: Factores de vulnerabilidad económica.

	Población	%
Sin pólizas de seguro para bienes inmuebles	27.021.114	89
Sin posibilidad de acceso a crédito	24.292.657	80
Sin plan de salud o póliza de asistencia médica	15.277.385	51
Clasificado en estrato pobreza	9.087.521	30
Sin vivienda alterna en caso de emergencia	3.062.324	10
Sin capacidad de ahorros	22.012.077	73
No propietario de la vivienda	5.189.806	17
Sin empleo formal permanente	5.392.775	18

Las cifras mostradas en la **Tabla 3-3** son una reiteración de la falta de capacidad de la población para afrontar una emergencia.

3.1.5. Vulnerabilidad institucional

A los anteriores factores de vulnerabilidad hay que agregar la vulnerabilidad institucional del país. En primer lugar la inexistencia en el ejercicio del poder de independencia de los poderes públicos, principio

constitucional fundamental. En reciente evaluación (junio, 2015) del Estado venezolano realizada por el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), incluida en el Tercer Informe para la aplicación del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, el organismo multilateral advierte que en Venezuela “falta la independencia del Poder Judicial; no existe un procedimiento legal para el nombramiento y destitución de jueces, así como la gran cantidad que se encuentran en cargos provisionales, lo que puede afectar su libre desempeño”. Por eso insta a adoptar las medidas necesarias para lograr la autonomía del Poder Judicial. El informe agrega que también falta independencia en los órganos establecidos para luchar contra la corrupción. El comité recomendó que se siguiera con los principios de la Convención de las Naciones Unidas contra la Corrupción, para llevar a cabo investigaciones independientes e imparciales y se sancione a los culpables. Además, el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de la Organización de las Naciones Unidas pidió a la Defensoría del Pueblo adaptar los principios acordados en París en 1991 sobre el estatuto y funcionamiento de las instituciones nacionales de protección y promoción de los derechos humanos (Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales del Alto Comisionado de Naciones Unidas para DDHH, 2015).¹¹ Hay que añadir la manifiesta ineficiencia y factores de corrupción que caracterizan al Poder Nacional, que está estructurado (diciembre 2016) con un presidente de la república, un vicepresidente ejecutivo, 7 vicepresidentes de gobierno, 30 ministerios, 23 misiones, 107 viceministros, y pare Ud. de contar.

Según el Índice de Percepción de la Corrupción de la ONG Transparencia Internacional (TI) el índice global de 2015 mantiene a Dinamarca como el país más transparente de los 168 analizados, mientras que Somalia y Corea del Norte siguen como los estados con los sectores públicos más corruptos. En la región latinoamericana, Uruguay sigue a la cabeza como el país más transparente y ocupa el puesto 21 de la tabla, con 74 puntos del máximo de 100, que denotaría la ausencia total de corrupción. La peor calificación le corresponde a Venezuela, en el puesto 158 de la tabla con sólo 17 puntos, compartiendo puesto con Haití.

El caso de corrupción generalizada de la empresa transnacional brasileña Odebrecht complementa las observaciones de Transparencia Internacional. Un documento publicado por el Departamento de Justicia de Estados Unidos reveló que Odebrecht y sus “cómplices” pagaron aproximadamente 788 millones de dólares en sobornos a 11 países, además de Brasil, a partir de 2001. “Odebrecht está involucrada en un esquema de sobornos integral y sin igual, un fraude que duró más de una década”, señala el texto. De acuerdo con el Departamento de Justicia, los sobornos estaban relacionados con más de 100 proyectos en 12 países. Uno de los pagos más altos se vincula con Venezuela, donde Odebrecht entregó “aproximadamente 98 millones de dólares a funcionarios gubernamentales y los intermediarios con el fin de obtener y mantener los contratos de obras públicas”. Otras naciones involucradas son Angola, Argentina, Brasil, Colombia, República Dominicana, Ecuador, Guatemala, México, Mozambique, Panamá y Perú (Embajada y Consulado de EE.UU. en Ecuador, 2016).¹²

Los niveles de desinstitucionalización y corrupción gubernamental incrementan la vulnerabilidad ciudadana frente a la ocurrencia de desastres.

¹¹ http://www.derechos.org.ve/pw/wp-content/uploads/pidesc_onu.pdf.

¹² <https://ec.usembassy.gov/es/comunicado-de-prensa-del-departamento-de-justicia-sobre-el-caso-odebrecht-y-braskem/>

3.2. NO HAY MÁS TIEMPO PARA LOS BARRIOS DE CARACAS

3.2.1. Contingencia: crisis y oportunidad

Desde la Universidad Central de Venezuela, donde el problema de los barrios ha sido estudiado en profundidad, se ha alertado sobre la vulnerabilidad y riesgos que afectan a los barrios autoproducidos de las ciudades venezolanas. Y hemos planteado por años, que una de las prioridades de nuestras ciudades, particularmente del AMC, es el mejoramiento sustancial de la vialidad y el transporte público urbano e interurbano; y que la integración de los barrios a la ciudad y su rehabilitación física, sólo es sostenible si las acciones se estructuran sobre la construcción de una malla de vialidad y transporte público, como parte de la red metropolitana. Sin acceso vehicular es imposible atender la emergencias cotidianas de los barrios y garantizar un adecuado nivel de equipamiento de infraestructura, seguridad de personas y bienes, y servicios educacionales, médico-asistenciales, culturales y recreacionales; y menos aún, actuar con rapidez y eficacia durante (en las primeras 48 horas) y después de ocurrida una catástrofe de medianas o grandes proporciones. Ningún plan de contingencia será efectivo sin accesibilidad a los lugares afectados, situación que de por sí generaría una emergencia adicional. Pero, la necesidad de preparar planes de contingencia, adecuadamente provistos de recursos, tiene otra implicación que pocas veces se toma en cuenta.

Esto es que toda gran contingencia, si tiene propietario¹³, también ofrece una gran oportunidad, pero hay que conocer la oportunidad y estar dispuestos y organizados para aprovecharla. El ejemplo que se presenta más adelante, la rehabilitación post-desastre de la región de Anhui en China, ilustra lo que significa realmente el concepto de planificar la contingencia aprovechando la oportunidad, en lugar de sólo actuar por razones de emergencia.

3.2.1.1 El caso de los barrios de Caracas

Como es bien sabido, en los barrios de Caracas, “en los cerros”, viven más de dos millones de personas. También está bien documentada la condición de alta vulnerabilidad y riesgos que comporta esa parte tan conspicua de la ciudad. A lo largo de la segunda mitad del siglo XX hubo variadas propuestas e iniciativas para actuar sobre los barrios de Caracas. La más conocida fue la “batalla contra el rancho” que culminó con desalojos de los pobladores y la construcción de superbloques en los cuatro últimos años de la dictadura perezjimenista, entre 1954 y 1957. El resultado fue que los desalojados de los cerros del oeste de Caracas, invadieron los cerros del este en Petare.

Con el acervo de las investigaciones llevadas a cabo en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UCV, entre 1987 y 1990 se estableció el Taller Vivienda, para estudiantes de los últimos dos semestres de la carrera, quienes desarrollaron su trabajo final de grado con propuestas realistas para la rehabilitación física de distintos barrios de Caracas. Estas experiencias llevaron a que, entre 1993 y 1994, se elaborara, mediante contrato del Ministerio del Desarrollo Urbano, el *Plan Sectorial de Incorporación a la Estructura Urbana de las Zonas de Barrios del AMC y la Región Central*, bajo la dirección de Josefina Baldó y Federico Villanueva. Se desarrollaron algunas experiencias piloto y luego, a principios de este siglo, y con los debidos ajustes, se convirtió en un programa a cargo del Consejo Nacional de la Vivienda.

¹³ Claude Gilbert señala que la “propiedad de un riesgo” es una noción que viene de la sociología norteamericana (Joseph Gustfield), es la idea de que un actor o una organización se consideren propietarios de un riesgo porque este es un reto de envergadura y porque tienen no sólo la voluntad sino la capacidad de tomarlo a su cargo. En: Cilento, Alfredo. “Vulnerabilidad y Sustentabilidad de los Asentamientos Humanos”. Seminario 2000: Desastres Sísmicos. IMME UCV-M.C.T-CONICIT-PNUD-OPS. 21 al 25 de febrero de 2000. Proceedings: VII-VII2. También en: Tecnología y Construcción N° 16-I, 2000: 93-102.

El Programa nunca fue considerado prioritario por el gobierno y tuvo una accidentada vida, hasta que en 2005 fue desechado. Desde entonces no se ha realizado ninguna intervención en los barrios de Caracas dirigida a mitigar los riesgos, mejorar la accesibilidad, reducir la infraurbanización y actuar sobre la situación de miles de familias ubicadas en zonas de riesgo inminente. Cuando fue originalmente planteado el Programa de Habitación de los barrios caraqueños, a finales de los 90, se estimaban 15 años para su realización con una inversión de entre 2.000 y 2.500 millones de dólares. Desde entonces han transcurrido casi 20 años, no se ha hecho nada y los riesgos han crecido exponencialmente por la probabilidad de ocurrencia de otro terremoto que seguramente constituiría una gran catástrofe nacional. Cuando ocurrió el terremoto de 1967, en los cerros caraqueños existían unos 90.000 ranchos y 425.000 habitantes, hoy en día existen cerca de 400.000 viviendas y 2.000.000 de habitantes. Los barrios se han densificado y las construcciones han crecido indeteniblemente hacia arriba, mientras los suelos llevan un proceso de saturación de aguas blancas, grises y negras a lo largo de más de 50 años. En estas condiciones los barrios caraqueños son una bomba de tiempo. Lo peor es que la población no está informada ni preparada para afrontar un desastre, como lo indican los datos de las recientes encuestas de ENCOVI 2014 y 2015 que se han presentado en páginas anteriores. .

3.2.1.2 El desastre de Anhui

En 1997 quien esto escribe asistió como parte de la Delegación Oficial de Venezuela a la Conferencia Hábitat II, celebrada en Estambul (en la misma condición había asistido a Hábitat I, celebrada en Vancouver en 1977). Allá se presentó la experiencia de “Reconstrucción y rehabilitación posterior al desastre de las zonas rurales de Anhui (China)” que fuera premiada en el concurso de Buenas Prácticas de Hábitat II. En el libro Cambio de Paradigma del Hábitat, en el capítulo titulado “Del desastre a la oportunidad”, se incluye un texto sobre el desastre de Anhui, con el mismo objetivo de este escrito, que es el de alertar nuevamente sobre los riesgos de un gran desastre en Caracas. El alerta tiene que ver con que en julio de 2017 entrante se cumplen 50 años del último terremoto de Caracas y se acortan los tiempos para la ocurrencia de otro que pudiera ocasionar una gran catástrofe en la ciudad. El problema es que ya no hay más tiempo para pensar en una rehabilitación integral de los barrios caraqueños que atenúe los efectos de un sismo.

Se acabó el tiempo y ahora lo que hay que hacer es prepararse para enfrentar una gran catástrofe. El ejemplo de Anhui es ilustrativo y aleccionador en relación al mayor riesgo urbano que enfrenta el país.

Entre mayo y julio de 1991, una inundación sin precedentes, ocurrida en la provincia de Anhui, en el sudeste de China, causó el colapso de 278.000 viviendas, incluyendo la desaparición total de 165.000. Fueron afectadas 43 millones de personas; 3,26 millones migraron a lugares más altos en búsqueda de alojamientos improvisados, incluyendo 500.000 que quedaron absolutamente sin vivienda. La contingencia se abordó a través de una estrategia de decidida gestión gubernamental de aprovechar la oportunidad que brindó la catástrofe. La participación de la gente (en su mayoría campesinos) se desarrolló a través de una organización unificada del gobierno: los departamentos de construcción, los institutos de planificación y diseño, unidades de ejecución, universidades, comunidades y campesinos, todos participaron activamente en el proyecto de reconstrucción que no se efectuó en el viejo sitio, ni con el viejo estilo, tal como había sido previsto. Centros de reconstrucción distribuidos a escala provincial y municipal, sirvieron para ofrecer asistencia técnica y fomentar la participación de todos los involucrados, incluyendo miles de profesionales, docentes y estudiantes. Se implantaron diversas formas de construcción progresiva, de manera de asegurar a los campesinos albergue para el severo invierno y racionalizar el uso de los materiales de construcción, sin desperdicio de materiales o dinero. La mayor parte de la población afectada por el desastre recuperó sus condiciones de vida habitual mediante préstamos concedidos por el banco de reconstrucción, donaciones procedentes de todos los lugares de China, de organismos internacionales y de la autofinanciación.

En 1995, cinco años después del desastre, el 95% de la población estaba confortablemente reasentada en nuevos hogares técnicamente concebidos. Aprovechando la catástrofe, los asentamientos rurales a lo largo y ancho de la provincia de Anhui fueron urbanísticamente rediseñados, incluyendo la infraestructura vial y de transporte. El esfuerzo de reconstrucción permitió, adicionalmente, la recuperación de 264.000 hectáreas para destinarlas a la producción agrícola, se reconstruyeron 945.700 viviendas, se asentaron en nuevos sitios 330.000 personas, se construyeron 346.000 km² (sic) de vías rurales, 2.261 preescolares, 5.283 abastos rurales, 2.261 centros culturales y otras facilidades. La Reconstrucción y Rehabilitación Post-Desastre de las Áreas Rurales de Anhui, fue presentada y premiada como una de las Doce Mejores Prácticas en la Conferencia Hábitat II, en Estambul, en 1997.¹⁴ Fue una demostración contundente del aserto que señala que toda crisis ofrece una oportunidad.

3.2.2. Anticiparse a la catástrofe

Ya no hay más tiempo para pensar en la posibilidad de que la sola habilitación física de los barrios de Caracas permita mitigar los efectos del próximo terremoto que afectará la región metropolitana. Las acciones de habilitación física de barrios autoproducidos deberán concentrarse fundamentalmente en los aspectos de accesibilidad y movilidad, y de dotación de servicios comunales y campos deportivos que puedan ser utilizados durante la fase de la emergencia por el personal de defensa civil; pero hay que comenzar a reubicar a las familias que están en zonas de alto riesgo (peligro inminente) y no esperar a que ocurra lo inevitable. Es decir que solo queda la posibilidad de medidas de emergencia y de preparación de la población, así como iniciar un gran proyecto que permita reubicar a las miles de familias que verán sus hogares destruidos a causa de un sismo de intensidad media o alta, de probable ocurrencia dentro de los próximos veinte años.

Sólo con fines de orientar la toma de decisiones urgentes y de discusión de propuestas, se presentan dos opciones para la reubicación de las familias en peligro inminente: el desarrollo de una nueva ciudad satélite o la reestructuración urbana de un grupo de poblaciones en el eje vial del centro, entre Caracas y Maracay.

3.2.2.1 Una nueva ciudad satélite sostenible

Si se adoptara la solución de crear una nueva ciudad, apenas hay tiempo para localizar, concentrar esfuerzos e iniciar un gran desarrollo urbanístico (una nueva ciudad satélite) que permita alojar y dar trabajo progresivamente a unas 40.000 familias, es decir aproximadamente al 10 % de la población de los barrios de Caracas, en gran parte ubicada en zonas calificadas de alto riesgo. Este desarrollo constituiría una ciudad de unos 160.000 habitantes, equivalente a la población de la parroquia Caricuao del Área Metropolitana de Caracas. Esta acción demandaría unas 2.000 hectáreas de terreno para satisfacer los requerimientos de alojamiento, empleo, servicios y demás usos urbanos sostenibles del nuevo desarrollo.

La ciudad debería estar ubicada a no más de una hora de Caracas, conectada por un sistema vial y de transporte (movilidad) de máxima eficiencia y última generación. Habría que estudiar su localización en el valle Guarenas-Guatire (antigua Ciudad Fajardo), en los valles del Tuy (antigua Ciudad Losada) o en los valles próximos de Aragua. En los tres casos sería necesario rehabilitar y ampliar las autopistas existentes, culminar las líneas ferrocarrileras y establecer sistemas de transporte rápido tipo BRT de máxima eficiencia.

La objeción fundamental a este planteamiento es la del riesgo de que se conforme un asentamiento exclusivamente integrado por familias de bajos ingresos, sin la diversidad poblacional que caracteriza a un centro poblado consolidado, lo cual toma tiempo, al igual que la creación de fuentes de empleo de calidad.

¹⁴ <http://habitat.aq.upm.es/dubai/96/bp077.html>. Diciembre 2016.

3.2.2.2 Refuerzo a ciudades en el eje vial del centro

Si se acepta la tesis de reforzar varias poblaciones en el eje vial central, habría que seleccionar las ciudades donde pudieran crearse nuevas urbanizaciones de desarrollo progresivo, lo que implica planes de expansión y/o densificación, ampliación de las redes de servicios, mejoramiento de la infraestructura urbana, servicios y espacios públicos; así como la activa promoción de la creación de nuevas actividades productivas y oportunidades de empleo. Y, fundamentalmente, la terminación del ferrocarril del centro, incluyendo el tramo Cúa-La Encrucijada, así como la rehabilitación integral de la Autopista Regional del Centro. Las ciudades en ese eje que pudieran ser consideradas son: Charallave, Cúa, Ocumare, Tejerías, El Consejo, La Victoria, San Mateo, Cagua, Turmero y Maracay.

Lógicamente, en este caso, de las nuevas viviendas construidas un porcentaje sería destinado a reubicar las familias en alto riesgo de la propia ciudad.

3.2.2.3 Sostenibilidad urbana (Cilento, 2010)

En ambas opciones los desarrollos deberán ser planificados, diseñados y construidos bajo las premisas de sostenibilidad urbana:

1. Un urbanismo concebido sobre la base de conjuntos de baja altura con densidades medias y altas. Agrupaciones tipo *cluster* con espacios de uso comunitario (condominios horizontales), donde la prioridad en las calles y espacios vecinales sea para las madres, niños, peatones y bicicletas. Redes de infraestructura optimizadas: acueducto, cloacas, drenajes, circulación y comunicación.
2. Se debe ofrecer espacios para la ubicación de actividades manufactureras y oportunidades para emprendedores, de manera de generar fuentes de trabajo endógenas, que reduzcan los traslados a Caracas por razones de empleo.
3. Condición fundamental de sostenibilidad urbana es la creación de redes de espacios públicos de alta calidad que faciliten la convivencia ciudadana con garantía de disfrute diurno y nocturno de la ciudad. Iluminación, recolección de basuras y óptimas condiciones sanitarias. Reducción de la contaminación ambiental, visual y sónica. Seguridad de bienes y personas y reducción de los riesgos de la calle: ciudades vivibles día y noche.
4. La movilidad sostenible será prioritaria sobre la base de sistemas de transporte público eficiente y de calidad: p.ej. tranvías eléctricos urbanos. El crecimiento de las ciudades se hará integrado a la expansión de la red vial y de transporte. La red de transporte público se complementa con la red de ciclovías y la red peatonal que enlazarán los espacios públicos de la ciudad.
5. Se garantizará la eficiencia energética y se promoverá el uso de energías alternativas.
6. Se garantizará el servicio continuo de agua y se adoptarán mecanismos de ahorro en el consumo. Se desarrollará un programa de captación y almacenamiento de agua de lluvia y de reciclaje de aguas grises para riego. Se establecerá un sistema de tratamiento y recuperación de aguas residuales y de canalización de las aguas no usadas al manto freático.
7. Se otorgará prioridad al saneamiento ambiental y a la eficiencia en el servicio de aseo urbano y domiciliario. Recolección, clasificación, reciclaje, tratamiento y disposición final de los residuos.
8. Serán ciudades verdes, con alta presencia de vegetación en calles, avenidas y en general en todos los espacios públicos y vecinales. Especies autóctonas de bajo consumo de agua y riego con aguas recuperadas.
9. Se respetarán al máximo el patrimonio y los valores históricos y culturales locales.
10. Se garantizarán estos principios a lo largo de todos los procesos de desarrollo progresivo de las ciudades y en todas las etapas de su ejecución.

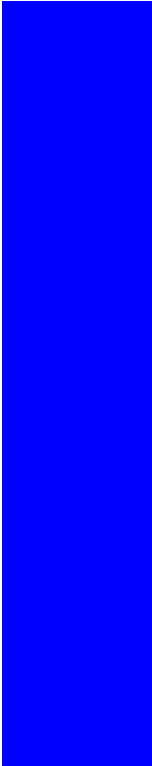
Desde luego, esto demanda concertar y concentrar esfuerzos de las instituciones públicas en sus tres ámbitos nacional, regional y municipal; de las empresas privadas, el sector académico y la población, para consolidar una ciudad sostenible o reestructurar un conjunto de ciudades existentes, con recursos administrados con máxima eficiencia, transparencia y muy alta responsabilidad ética. Un planteamiento serio y bien formulado de esta naturaleza, demandaría el apoyo de instituciones como el BID, el Banco Mundial, la CAF y en general de ayuda internacional.

No hay urbanismo válido si no contribuye a reducir las desigualdades sociales y espaciales y contribuye decisivamente a la sostenibilidad. En consecuencia hay que ubicar las viviendas populares en el tejido urbano más equipado pues son los que más necesitan de los medios de la ciudad. Promover la mixtura social y funcional de cada zona de la ciudad y normar que cada proyecto urbano garantice la mezcla social y de actividades. Formalizar los asentamientos informales conjuntamente con los ocupantes e integrarlos en el tejido ciudadano, es del derecho al lugar. Cada zona de la ciudad debe poseer una centralidad potente, atractiva y reconocida. El crecimiento urbano conviene orientarse hacia la densificación de la ciudad existente o en su continuidad. Las regiones metropolitanas o altamente urbanizadas deben estructurarse como redes de ciudades con un sistema de movilidad colectiva e intersticios no urbanizados. Hay que reconsiderar el desarrollo económico y subordinarlo a la sostenibilidad. Promover en todos los ámbitos las formas colaborativas tanto en la gestión de los servicios y equipamientos, en el consumo, en la producción y en las iniciativas culturales y políticas (Borja et al., 2016, dic.).¹⁵

¹⁵ http://citiscope.org/sites/default/files/h3/HABITAT_ALTERNATIVO.pdf

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borja, Jordi y Carrión, Fernando (2016, dic.). Reflexiones en torno al Manifiesto por un Habitat 3 Alternativo, Citiscope.
http://citiscope.org/sites/default/files/h3/HABITAT_ALTERNATIVO.pdf
- Cilento, Alfredo (2000, feb.). Vulnerabilidad y Sustentabilidad de los Asentamientos Humanos, Seminario 2000: Desastres Sísmicos. IMME UCV-M.C.T-CONICIT-PNUD-OPS, Proceedings: VII-VII2, Caracas.
- Cilento, Alfredo (2000.). Vulnerabilidad y Sustentabilidad de los Asentamientos Humanos Tecnología y Construcción, N° 16-I, 2000: 93-102, IDEC/FAU/UCV, Caracas.
- Cilento, Alfredo (2010). Sostenibilidad Urbana. El caso de las ciudades venezolanas. Portafolio. Vol. 1 N° 21, 28-37, Facultad de Arquitectura y Diseño de LUZ, Maracaibo.
- Cilento, Alfredo (coord.) (2011, oct.). Informe de la Comisión de Desarrollo Urbano y Vivienda, Unidad Democrática, Caracas.
- Cilento, Alfredo(1999). Cambio de paradigma del Hábitat, Colección Estudios, IDEC-CDCH/UCV, Caracas
- Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales del Alto Comisionado de Naciones Unidas para DDHH (2015, jun.). Tercer informe periódico de Venezuela sobre la aplicación del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, Ginebra, (Informe PROVEA).
http://www.derechos.org.ve/pw/wp-content/uploads/pidesc_onu.pdf.
- Embajada y Consulado de EE.UU. en Ecuador (2016, dic.). Comunicado de Prensa del Departamento de Justicia sobre el caso Odebrecht y Braskem.
<https://ec.usembassy.gov/es/comunicado-de-prensa-del-departamento-de-justicia-sobre-el-caso-odebrecht-y-braskem/>
- ENCOVI (2014 y 2015). *Pobreza, Vivienda y Servicios*, y *Vulnerabilidad y Riesgos*, Coord. Luís Pedro España, Alfredo Cilento Sarli y Ángel Rangel Sánchez, Caracas.
- Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) (2017). Vulnerabilidad sísmica de líneas vitales e instalaciones críticas.
<http://www.funvisis.gob.ve/archivos/www/terremoto/Papers/Doc033/doc033.htm>.
- Human Right Wacht (2015, abr.). La crisis del sistema de salud de Venezuela.
<https://www.hrw.org/es/news/2015/04/29/la-crisis-del-sistema-de-salud-de-venezuela>.
- López, Oscar Andrés (2008). Protección de Escuelas contra los Terremotos. Trabajo de Incorporación a la Academia Nacional de Ingeniería y del Hábitat, Caracas.
- López, Oscar Andrés, Coronel D., Gustavo y Rojas, Romme (2014, dic.). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes. Revista Facultad de Ingeniería UCV, vol. 29 no. 4, Caracas
- Organización Mundial de la Salud (2009). Hospitales seguros frente a desastres.
<https://www.unisdr.org/2009/campaign/pdf/wdrc-2008-2009-information-kit-spanish.pdf>.
- Sociedad Venezolana de Medicina de Emergencia y Desastres (2017, ene.). Normativa de Ambulancias.
http://svmed.com.ve/archivos/normativa_de_ambulancia/ambulanciasreglamentonacional.pdf.



4. LA CRECIENTE VULNERABILIDAD DE LA VIVIENDA EN VENEZUELA Y HÁBITAT III

Autores: **Marianela Lafuente**
Carlos Genatios

RESUMEN

En América Latina, los sectores informales de las grandes ciudades albergan hasta el 60% del total de viviendas. Son viviendas autoconstruidas en espacios sin planificación urbana, sin especificaciones técnicas, con estructuras incapaces de resistir adecuadamente eventuales solicitaciones sísmicas. En su mayoría, son muy vulnerables ante amenazas naturales severas. El problema se agrava con el aumento anual de la construcción informal, con lo que la vulnerabilidad de las ciudades continúa creciendo.

En Venezuela, las viviendas informales superan el 60% del total urbano. Las conclusiones de estudios realizados con los materiales comúnmente utilizados en el país, demuestran que no es aconsejable el uso de estructuras de mampostería confinada de más de uno o dos pisos en zonas de alta amenaza sísmica. En Caracas, estas viviendas alcanzan hasta 7 u 8 pisos. Además, las condiciones generales de los barrios, con altas deficiencias de infraestructura y servicios, precarias condiciones sanitarias y grandes dificultades de acceso, hacen que estas zonas sean alarmantemente vulnerables en caso de sismos. De ocurrir hoy en día un sismo comparable al de 1967, la tragedia podría ser de grandes proporciones.

Por otro lado, las políticas y programas públicos de vivienda se formulan con base en indicadores que incluyen generalmente el llamado “déficit habitacional”. En éste déficit se toman en cuenta, tanto las estimaciones de viviendas nuevas que demanda anualmente la creciente población, como también el número de viviendas que deben ser sustituidas por considerarse inseguras o inadecuadas. Lamentablemente, raramente se utilizan (en los censos o en las estadísticas de los organismos oficiales), criterios rigurosos que incluyan requerimientos mínimos de seguridad ante sismos. La situación, entonces, es que el déficit real de viviendas es mucho mayor que el manejado por la mayoría de los gobiernos y organismos internacionales, ya que si se incluyen criterios de seguridad ante sismos y otras amenazas, buena parte del 60% de la población que habita en barrios informales de alta vulnerabilidad, podría requerir cambiar de emplazamiento, readecuar su vivienda o sustituirla.

La demanda de los más pobres en América Latina se estima en unos dos millones de nuevas viviendas cada año. Ésta no puede ser atendida en su totalidad ni por los gobiernos ni por el sector privado, por lo que los más pobres seguirán construyendo sus propias viviendas. La Nueva Agenda de Hábitat III, se aproxima a este problema con una nueva visión.

En este trabajo, primero se presenta una discusión de la problemática urbana, a la luz de las conclusiones de Hábitat III. A continuación se discuten los criterios para estimar el déficit de viviendas en los países latinoamericanos. Después se presentan algunos resultados de estudios efectuados en Venezuela para evaluar la vulnerabilidad sísmica de la vivienda informal. Se discuten, en particular, los criterios a incorporar en una propuesta de norma nacional, para estimar la ductilidad de estructuras de muros portantes de mampostería, con fines de diseño sísmico. Por último se avanzan algunas reflexiones y conclusiones sobre el problema de la vulnerabilidad sísmica y el déficit de viviendas en Venezuela.

4.1. HÁBITAT III: LA NUEVA AGENDA URBANA (NAU)

En Octubre de 2016, tuvo lugar en Quito, Ecuador, la convención mundial Hábitat III. En ella se presentó la “Nueva Agenda Urbana” (NAU, 2016), en la cual se reconoce la gravedad que presenta la problemática urbana en su proyección para las próximas décadas: *“La población urbana mundial se*

duplicará para 2050”...”ello acarrea enormes problemas de sostenibilidad en materia de vivienda, infraestructura, servicios básicos, seguridad alimentaria, salud, educación, empleos decentes, seguridad, ambiente, entre otros”

Ya en 2006 el déficit habitacional en América Latina y el Caribe se cuantificó en 18.7 millones de hogares urbanos. Para 2011, la CEPAL lo cuantificó en 22.7 millones. Al duplicarse la población urbana, el déficit crecerá significativamente (**Figura 4-1**).



Figura 4-1: Barriada de Lima.
(Fuente: Gobbi, 2009)¹⁶

Se estima que se requieren más de 310.000 millones de US\$ para cubrir el déficit acumulado, y 70.000 millones de US\$ cada año para la demanda anual de 2 millones de viviendas en sectores de bajos recursos (BID 2012). Estas cifras plantean un enorme reto para los gobiernos de nuestra región, que difícilmente pueden atender esta demanda. Al duplicarse la población, la demanda anual se duplicará, con lo que el déficit acumulado seguirá creciendo.

Si se incorpora la variable de vulnerabilidad ante amenazas naturales, como terremotos, huracanes, inundaciones, sequías, fenómenos hidrometeorológicos extremos y cambio climático, se desnuda una realidad todavía peor: las cifras del déficit de viviendas se incrementan significativamente. Esto es debido a que dos terceras partes de las viviendas de América Latina, han sido “autoconstruidas” por sus pobladores, sin ningún apoyo técnico, en asentamientos informales, con precarias condiciones de infraestructura y servicios, y difíciles vías de acceso. Estas viviendas, en general, son muy vulnerables ante las amenazas naturales. El verdadero déficit habitacional, al tomar en cuenta esta situación, es mucho mayor que el evaluado oficialmente y se acerca a los dos tercios del total de las viviendas de la región.

Como los gobiernos carecen de los suficientes recursos financieros y de capacidades institucionales para atender esta creciente demanda, los pobres de América Latina solucionan su problema de la

¹⁶ <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BarriadaLima.jpg?uselang=es>

manera en que pueden hacerlo: ellos generan sus propias soluciones habitacionales y construyen de forma espontánea e incontrolada, gran parte del hábitat de las ciudades. Y este problema continuará creciendo. Esta es la cruda realidad. Para evitar este deterioro creciente, es necesario que se logre un profundo y eficiente vuelco en las políticas de desarrollo urbano, y en las visiones de gobierno. Hacia la atención de este grueso problema se dirige la Nueva Agenda Urbana.

4.1.1. ¿Qué propone la Nueva Agenda Urbana de Hábitat III?

Es necesario reconocer las limitaciones presupuestarias e institucionales de los gobiernos, así como el accionar indetenible de los pobladores, para cambiar la visión con que tradicionalmente se ha tratado el problema del desarrollo urbano. En efecto, las acciones de los gobiernos deberían orientarse, no a tratar a los habitantes de la ciudad como sujetos pasivos, que esperan ser dotados de viviendas y de un hábitat adecuado (lo cual ha sido el principal eje de las políticas de desarrollo urbano y vivienda), sino, por el contrario, a reconocerlos como sujetos activos, a apoyar su desarrollo y a proporcionarles las herramientas necesarias que les permitan afianzarse como ciudadanos que participan en la construcción de su hábitat y en el desarrollo adecuado de la ciudad.

Se trata de reconocer que el centro del problema y de la solución, son las personas, los sujetos. Se trata entonces, de impulsar el desarrollo humano sostenible, apoyándolo en una amplia concertación de políticas públicas, incluyendo las de desarrollo urbano. La Nueva Agenda urbana (NAU) lo define: “Apoyar políticas de vivienda que promuevan enfoques integrados locales abordando los firmes vínculos entre educación, empleo, vivienda y salud, para prevenir la exclusión y la segregación.”

El desarrollo urbano debe convertirse en un motor de desarrollo económico, social, humano, que resguarde el ambiente y genere bienestar, justicia y equidad. Estos son retos de muy difícil alcance, que requieren el esfuerzo y la participación de todos.

La Nueva Agenda Urbana define una visión integradora, centrada en las personas y en el Desarrollo Humano sostenible. Es una síntesis de amplias consultas a múltiples organismos y a reconocidas personalidades. El resultado es una larga lista de principios, propuestas, tareas y responsabilidades, en la que pueden identificarse tres objetivos principales a alcanzar (Genatios, C. 2017):

- i) Buena calidad de vida para los ciudadanos,
- ii) Economía incluyente y competitiva y
- iii) Desarrollo urbano resiliente y sostenible.

La Agenda incluye una definición de los principales retos a enfrentar, los cuales se presentan para este trabajo sintetizados en los siguientes siete lineamientos de acción:

- Atención a necesidades, servicios y calidad de vida (para el desarrollo de las personas)
- Conocimiento, capacitación, emprendimiento y desarrollo productivo (para combatir la exclusión)
- Desarrollo de redes y capacidades asociativas (incentivo a la participación y la asociatividad)
- Desarrollo del emprendimiento y la productividad, para el crecimiento económico de la gente.
- Fortalecimiento institucional y gobernanza (normativas, descentralización, participación...)
- Vivienda, infraestructura, planificación urbana (planificación y ejecución de proyectos)
- Ambiente y reducción de riesgos de desastres.

Se discuten en este trabajo, principalmente aspectos relacionados con la vulnerabilidad de las ciudades y de los asentamientos informales. A fin de contemplar adecuadamente este problema en los planes de acción pública, es necesario incluir el problema de la vulnerabilidad ante amenazas naturales en la cuantificación del déficit habitacional.

4.1.2. La vulnerabilidad de la vivienda y el hábitat en América Latina

Como ya se ha comentado, en América Latina un 60% de la población vive en asentamientos informales en grandes ciudades. Las mayorías han construido su hábitat de manera espontánea, invadiendo terrenos sin infraestructura ni servicios, y construyendo viviendas inadecuadas e insalubres, incapaces de soportar terremotos; En muchas ocasiones se asientan en terrenos inestables, en pendientes pronunciadas, cuyas condiciones empeoran, dada la frecuente ausencia de drenajes y cloacas. No es extraño que ocupen espacios sumamente vulnerables, en el cauce o muy cerca de ríos y la desembocadura de quebradas (**Figura 4-2** y **Figura 4-3**). A esto se le agrega la ausencia de un entorno de calidad, con difíciles condiciones de acceso y precaria vialidad (condiciones problemáticas para atender desastres naturales y situaciones de emergencia), así como insuficiencia de servicios asistenciales, guarderías y escuelas, e instalaciones deportivas y sociales. Esta es la realidad del hábitat vulnerable de la mayoría de las ciudades de América Latina y el Caribe, y muy especialmente de Caracas y sus zonas aledañas.



Figura 4-2: Barriada popular (favela) en São Paulo.
(Fuente: Flyover shacks - favela in Sao Paulo, 2006. Autor: Mulligan, Peter)¹⁷

¹⁷ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Favela_under_highway.jpg?uselang=es



Figura 4-3: Viviendas autoconstruidas en cercanías a río y mar.¹⁸
(Autor: Dörrbecker, 2006).

De esta manera espontánea y sin apoyo técnico, se ha conformado el hábitat en las zonas marginales de las mayorías, y lo que es peor, el problema no deja de crecer: “dos millones de las tres millones de familias que se forman cada año en las ciudades latinoamericanas se ven obligadas a instalarse en viviendas informales, como en las zonas marginales, a causa de una oferta insuficiente de viviendas adecuadas y asequibles” (BID, 2012). A pesar de ello, en los programas de políticas públicas y en los programas de los organismos multilaterales y de desarrollo, sólo se reconoce, en general, que una de cada tres familias, o menos, vive en viviendas inadecuadas, ya sea por la mala calidad de los materiales y la debilidad de su estructura, o por la insuficiencia de servicios básicos.

El riesgo aumenta para buena parte de la población de América Latina ubicada en las cercanías de la cordillera de los Andes, en Centro América y en el Caribe, en zonas expuestas a una fuerte amenaza sísmica. En particular, en el caso de Venezuela, se estima que el 80 % de su población está localizada en el eje norte costero y andino del país, zona de la mayor amenaza sísmica, y dos tercios de la población habita en viviendas informales autoconstruidas.

El problema no cesa de complicarse, ya que la insuficiencia de terrenos adecuados y con infraestructura en las ciudades, impulsa a la invasión de lotes con acceso cada vez más difícil, con pendientes inestables, y cada vez más alejados de la infraestructura de la ciudad, de centros de trabajo y de atención social, con lo cual los sectores excluidos y marginales, siguen creciendo, en población y en espacio. Esta situación de vulnerabilidad no se presenta sólo ante la amenaza sísmica, sino también ante otras amenazas naturales, como lluvias de gran intensidad, huracanes e inundaciones. Un análisis de este problema, común a muchos países de la región latinoamericana, es expuesto por Crisafulli et al. (2016). Allí se discuten diversos sistemas de construcción que pueden ser utilizados para construir viviendas seguras de 1 y 2 pisos,

Las consecuencias de los terremotos en ciudades muy vulnerables, son importantes; la recuperación es muchas veces, un proceso lento, difícil y costoso. La **Figura 4-4** y la **Figura 4-5** muestran daños

¹⁸ <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SalvadorDaBahiaFavelaBonfim.jpg?uselang=es#file>

ocurridos con el terremoto de Haití de 2010, el cual dejó un saldo de unas 300.000 víctimas (estimados del gobierno haitiano).



Figura 4-4: Daños en Haití por el terremoto de 2010.
(Autor: Casal Jr., 2010)¹⁹



Figura 4-5: Daños en Haití, por el terremoto de 2010.
(Autor: Casal Jr., 2010)²⁰

Asimismo, estas zonas urbanas construidas sin planificación, carecen de infraestructura básica y de un tejido social y económico organizado que les permita retomar un proceso de reconstrucción ante la

¹⁹ <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EscombrosBelAir6.jpg?uselang=es>

²⁰ <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EscombrosBelAir3.jpg?uselang=es>

ocurrencia de una catástrofe. En Haití la destrucción del insuficiente sistema de alcantarillados de Port-au-Prince, trajo como consecuencia la aparición de epidemias que cobraron aun más víctimas. Adicionalmente, los desastres de gran magnitud causan desasosiego y desesperación en la población, lo que puede generar violencia social y posibles crisis de gobernabilidad, sobre todo si no hay suficientes fortalezas institucionales ni capacidades adecuadas para controlar la situación.

Después de grandes desastres, algunos países con pobres capacidades, pueden caer en lo que se conoce como “Trampas de resiliencia”, en particular si ocurren eventos catastróficos repetidos que acumulan sus efectos e impiden que los países puedan recuperar sus condiciones de vida y su productividad económica.

En Latinoamérica, cinco países pueden ser considerados como posiblemente inmersos en trampas de resiliencia: Bolivia, Honduras, Haití, Nicaragua y El Salvador. “en estos países, las amenazas de origen natural imponen severos riesgos de causar estagnación económica o desviaciones significativas de sus esfuerzos por lograr un desarrollo sostenible, con altos riesgos de perpetuar el subdesarrollo y la pobreza, y, en los peores casos, pueden llegar a ocurrir trampas de resiliencia” (Corrales et al., 2015). La protección del hábitat urbano y la incorporación de criterios de seguridad estructural de las construcciones, son fundamentales para disminuir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia. Son relevantes los aportes que ha hecho la ingeniería sísmica para el diseño, construcción y rehabilitación de estructuras más seguras ante sismos en el último siglo. Sin embargo, es necesario profundizar los esfuerzos para atender el problema de las construcciones y asentamientos informales, las cuales no han sido tan estudiadas como las del sector formal.

Es necesario comprender que la destrucción de zonas informales de grandes ciudades, causada por terremotos u otras amenazas, puede generar consecuencias muy negativas para toda la sociedad. Incluso si los eventos son de moderada intensidad, los efectos causados en ciudades y países poco resilientes pueden derivar en catástrofes de gran magnitud. Existen muchos casos documentados de incendios o de epidemias posteriores a terremotos, que son ilustrativos de estas situaciones (como el de Haití mencionado anteriormente).

Caracas ya ha pasado por varios terremotos severos. Pueden citarse los de: 1641, 1766, 1812, 1900 y 1967 (Grases et al., 1999). El terremoto de 1967, afectó sobre todo edificios altos, con el colapso de cuatro: el Neverí y Palace Corvin en Altamira y Mijagual y San José en Los Palos Grandes. En el litoral central, la Mansión Charaima perdió los últimos pisos y el hotel Macuto Sheraton resultó severamente dañado. Se reportaron también daños en viviendas antiguas de paredes de mampostería, en el centro y norte de Caracas y deslizamientos de laderas que afectaron algunas casas. El terremoto de 1967 encontró un país en pleno crecimiento, en una Caracas que celebraba sus cuatrocientos años. Los asentamientos informales eran escasos, si se comparan con los que observamos hoy en día, cincuenta años después. En ese entonces, los ranchos no pasaban de tener uno o dos pisos de altura. Hoy, los ranchos pueden alcanzar hasta siete pisos de altura. El escenario de un terremoto que afecte los barrios de Caracas y zonas cercanas podría ser catastrófico. Es una situación que requiere atención urgente.

4.2. LA VULNERABILIDAD DE LAS VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS EN VENEZUELA: LOS “RANCHOS”

La vivienda autoconstruida en las urbes venezolanas presenta grandes deficiencias desde el punto de vista sismorresistente. Es una vivienda de paredes portantes de mampostería, hecha, en general, de bloques huecos de arcilla, aunque también se utilizan bloques huecos de concreto. En muchas

ocasiones, las paredes no cuentan con ningún tipo de confinamiento o refuerzo; en el mejor de los casos cuentan con elementos de concreto armado (comúnmente llamados vigas de corona y machones), los cuales aportan rigidez a la estructura y confinamiento a las paredes (**Figura 4-6**).

En los años 80 y 90 del siglo XX, se adelantaron en el país numerosos estudios analíticos y experimentales destinados a conocer el comportamiento de este tipo de estructuras, racionalizar el uso de los materiales y métodos constructivos comúnmente utilizados por los pobladores, y obtener viviendas más seguras ante sismos. Algunas referencias importantes se incluyen en la bibliografía.



Figura 4-6: Viviendas informales de siete pisos en Caracas (Barrio de Santa Cruz).
(Autor: Lafuente, 2015)

4.2.1. Comportamiento estructural de la vivienda autoconstruida sometida a sismos

Los mecanismos de falla de las paredes de mampostería confinada son complejos y variados. Pueden incluir: efectos de corte en la pared, formación de rótulas plásticas en los machones, fallas de corte en los machones, volcamiento de las paredes en dirección perpendicular a su plano, fallas por compresión y trituración de las piezas, entre otros (Lafuente, Genatios, 1998)

A continuación se resume el estudio de una pared de mampostería confinada, representativa del conjunto estructural. Se trató de representar el comportamiento de una pared típica de un rancho en Caracas. Para ello se utilizaron materiales comúnmente empleados en los barrios y se contrataron constructores populares, a fin de reproducir la pared en el laboratorio.

La pared tenía dimensiones externas de: largo 320cm, espesor 15cm y alto 229cm. Estaba compuesta por bloques huecos de arcilla de nueve celdas, de dimensiones: largo: 30cm, espesor: 15cm, alto:

20cm. Se utilizaron 90 bloques de arcilla en diez hileras con nueve bloques cada una. El mortero (en proporción de volumen de arena, cemento y cal de 4:1:1) fue colocado en todas las juntas entre piezas, tanto horizontales como verticales, tratando de mantener un espesor uniforme que resultó de entre 1 y 2 cm en las juntas horizontales. Debido a los métodos constructivos utilizados y a la geometría de los bloques, particularmente en las juntas verticales es difícil asegurar la uniformidad en la disposición del mortero, resultando juntas verticales llenas, parcialmente llenas o vacías, que condicionan la orientación de las grietas cuando el muro es sometido a solicitaciones laterales en su plano. Los machones tenían dimensiones de 15cm x 15 cm, con un armado de $4\phi \frac{1}{2}$ " y acero transversal de $\phi \frac{1}{4}$ ". El acero fue de tipo A42 ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$), con lo que la capacidad a tracción de cada machón pudo estimarse en 21270 kg y el concreto utilizado en los machones fue de una resistencia a compresión de 210 Kg/cm^2 . La viga de corona tenía un espesor de 15 cm y alto de 20cm, con el mismo refuerzo que los machones. Las características mecánicas de la mampostería fueron establecidas mediante ensayos de pilas a compresión y muretes a corte, siguiendo procedimientos normalizados. La resistencia a compresión promedio del relleno de mampostería resultó ser aproximadamente de $f'm = 70 \text{ kg/cm}^2$ y la resistencia a corte (τ) en función del esfuerzo de compresión aplicado (σ), dada por la siguiente expresión:

$$\tau = 0,23 \cdot \sigma + 1,06 \quad (4-1)$$

Es conveniente resaltar que los bloques utilizados en esta pared no califican como bloques de uso estructural en paredes portantes, según muchas normas vigentes en países de América Latina. Incluso en la propuesta de norma venezolana actualmente en discusión, se recomiendan valores mínimos de resistencia a compresión para los que estos materiales no califican, aunque son bloques de amplia utilización en los barrios venezolanos. En la **Figura 4-7** se muestran distintos tipos de bloques, resaltando el bloque hueco de arcilla de 15x20x30 y peso 5kg, con el cual fue elaborado el muro de referencia.

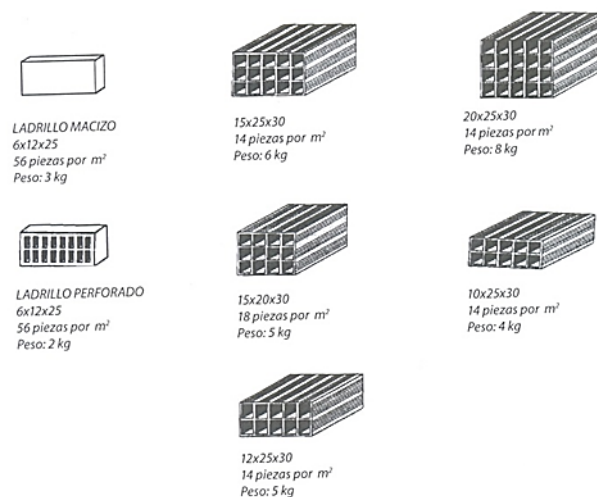


Figura 4-7: Esquema de piezas de mampostería comúnmente utilizadas en Venezuela.
(Fuente: Lafuente et al., 2008).

El ensayo del muro se realizó bajo carga lateral monotónicamente creciente en el tope del muro, hasta alcanzar la ruina. Entre 0 y 4000 kg, se observó un comportamiento prácticamente lineal

(desplazamiento en el tope de aproximadamente 0.1 cm). Una grieta diagonal escalonada fue observada para un nivel de carga de 5000 kg. A medida que la carga fue aumentando, aparecieron numerosas grietas que seguían la dirección de las juntas de mortero. Cerca del colapso, se observó explosión en compresión de algunos bloques. La ruina se produjo por la falla a corte de uno de los machones. La resistencia lateral final obtenida fue de 8200 kg. Se observó evidencia de fluencia del acero en tracción de los machones. Con la utilización de un programa de elementos finitos (INCRE) se realizó el análisis no lineal del muro [Lafuente, 1991]. El programa permitió estudiar el patrón de agrietamientos y reproducir la curva carga-desplazamiento en el tope (ver **Figura 4-8**).

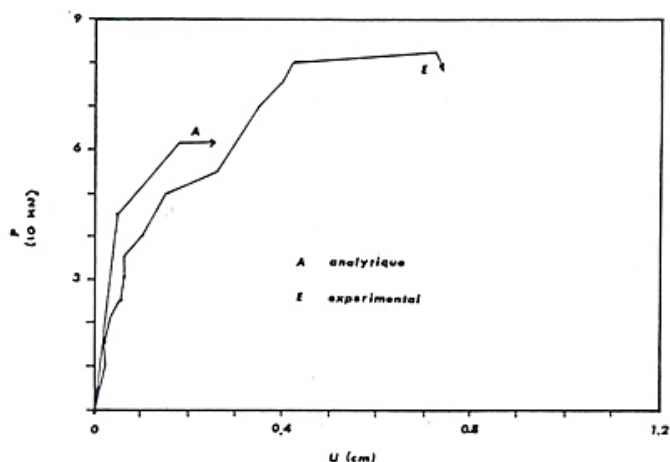


Figura 4-8: Curva carga-desplazamiento de la pared ensayada en laboratorio.
(Fuente: Lafuente, 1991).

Si el diseño sísmico se orienta por niveles de desempeño, se puede fijar en el muro estudiado un límite de nivel de daños reparables para un cortante en la base de $R = 5000$ kg y un desplazamiento lateral de 0.18 cm. Más allá de los 5000 kg, se considera que la estructura no tiene reparación. Es recomendable exigir este nivel de desempeño mínimo para el sismo con probabilidad de excedencia 10%, para una vida útil de 50 años definido en la norma venezolana. A partir de este nivel, el muro se fisura extensivamente, comienzan a trabajar los machones y la falla puede ocurrir por distintos mecanismos, de tipo frágil en la mayoría de los casos, y difíciles de controlar. El nivel de colapso de la pared estuvo definido en el caso del muro ensayado para un cortante de 8200 kg.

Estos resultados son coherentes con los estudios recogidos en las referencias [Castilla et al, 1996; Lafuente et al., 1998], donde se establecen, para muros confinados de mampostería de bloques de arcilla huecos, a fin de asegurar un nivel de daños reparables, valores límites de deriva relativas de:

$$\Delta/H \leq (H/L)/700 \quad (4-2)$$

donde Δ es la deriva lateral, H la altura de muro y L el largo.

La **Figura 4-9** muestra distintos mecanismos de falla que se producen en este tipo de paredes. La **Figura 4-10** muestra el esquema de agrietamiento de la mampostería resultante en el muro ensayado.

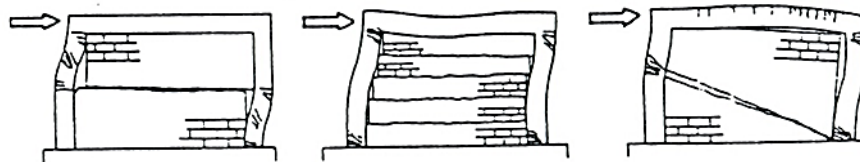


Figura 4-9: Modos de falla de un muro de mampostería confinada.
(Fuente: Lafuente, 1991).

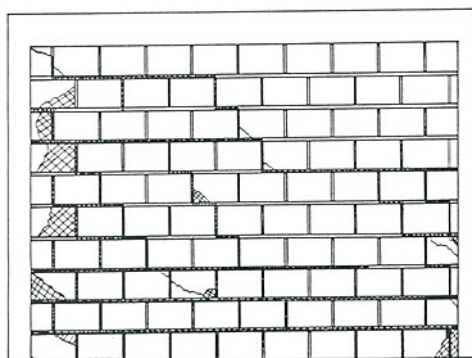


Figura 4-10: Esquema de falla del muro ensayado. (Grietas diagonales escalonadas siguiendo la dirección de las juntas de mortero).
(Fuente: Lafuente, 1991).

En ensayos de laboratorio bajo carga cíclica realizados sobre muros similares, se demostró la baja capacidad de disipación de energía de este tipo de paredes (**Figura 4-11** y **Figura 4-12**). No se recomienda utilizar la poca capacidad de comportamiento inelástico de este tipo de paredes confinadas para el diseño sismorresistente de viviendas. Los niveles de ductilidad encontrados en laboratorio en ningún caso excedieron niveles de 1,5 [Castilla et al, 1996, Lafuente, 1991]; siendo la razón fundamental de estos bajos niveles de ductilidad, los diversos mecanismos de falla frágil que se generan.

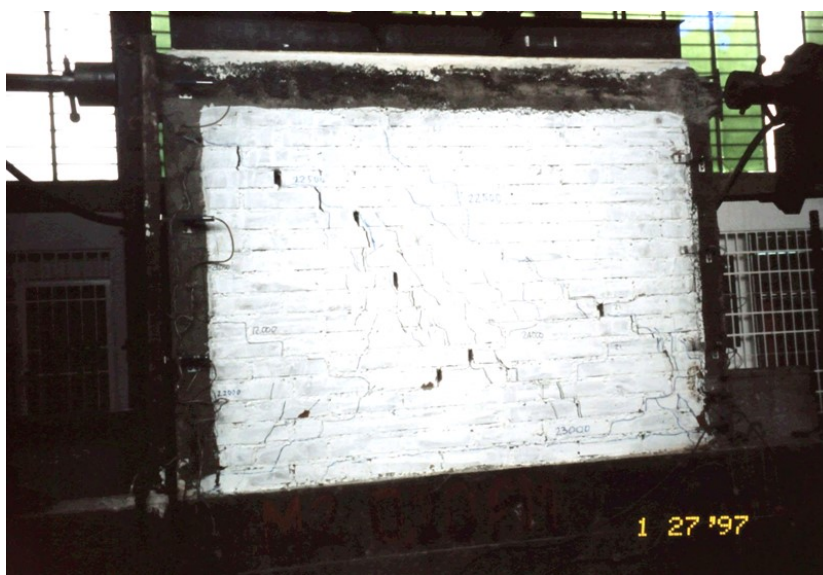


Figura 4-11: Ensayo en laboratorio sobre muro de mampostería confinada.
(Autor: Lafuente, 1997).

El uso de este tipo de paredes portantes de bloques huecos de arcilla, en viviendas de más de un piso, no es aconsejable, por lo que es conveniente revisar la propuesta de norma venezolana actualmente en discusión (Covenin Funvisis 2016) en la que se permite un uso de ductilidad igual a 2 para realizar el diseño de las estructuras de muros de mampostería confinada.



Figura 4-12: Ensayo de muro de mampostería bajo cargas alternantes.
(Autor: Lafuente, 1997).

Bajo cargas sísmicas, los daños se concentran en el primer piso. Como muestra la **Figura 4-13** [Pauley, T. and Priestley, M.J.N., 1992], si se aceptan demandas de ductilidad 2 con fines de reducir cargas para el diseño sísmico de la estructura, en el primer piso las demandas de ductilidad resultarían excesivas y no podrían ser aseguradas por muros confinados de bloques huecos de arcilla como los que se usan en Venezuela. En efecto, para una estructura de tres pisos, si se considera la resultante de las fuerzas sísmicas ubicada en el piso 2, y la ductilidad en ese nivel se estima en $\mu=2$, resultaría en el primer piso (con desplazamiento cedente igual a $\Delta y/2$), una ductilidad de $\mu_1=3$, lo que excede con creces la capacidad de respuesta de este tipo de paredes portantes.

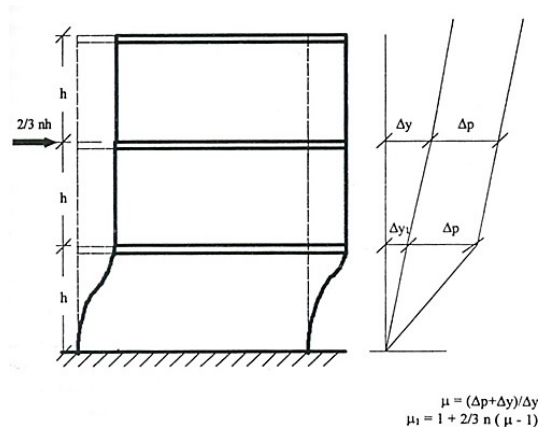


Figura 4-13: Demanda de ductilidad en los distintos niveles de la estructura.
(Fuente: Pauley y Priestley, 1992).

En la **Figura 4-14** se muestra la curva de resistencia de un muro confinado de mampostería, en función del corte lateral y la carga vertical. Se observa que las zonas A y B corresponden a un patrón de agrietamiento horizontal y diagonal del relleno de mampostería. En esas zonas la resistencia lateral del muro aumenta por el efecto de la carga vertical. Las zonas C y D corresponden a fallas por compresión, con agrietamiento vertical.

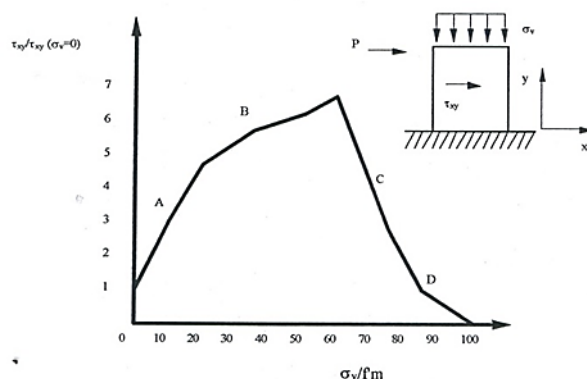


Figura 4-14: Curva de resistencia de un muro de mampostería.
(Fuente: Lafuente, 1991).

Para niveles de carga vertical baja (como el que suponen viviendas de uno a tres pisos, con esfuerzos de compresión significativamente inferiores a $0.60 f'm$), el mecanismo de falla dominante es el agrietamiento horizontal y diagonal escalonado de la mampostería, con la falla final en corte de los machones, y se puede utilizar la expresión recomendada en [Lafuente, M. 1991] para estimar la resistencia del muro en el límite de agrietamiento reparable.

$$R = \frac{(A_j \cdot (a/L)) \cdot (u + f \cdot Sc)}{(1 - f \cdot \tan(\alpha))} \quad (4-3)$$

Los valores para los materiales utilizados y la geometría del muro considerado son: $A_j = 4275$; $u = 1.06$; $f = 0.23$; $\tan(\alpha) = 0.73$; $a/L = 0.85$ y Sc es el esfuerzo de compresión producido por la carga vertical sobre la viga de corona. Resulta:

$$R = (3852 + 836 \cdot Sc)/0.83 = 4641 + 1007 \cdot Sc \quad (4-4)$$

(R en kg, Sc en kg/cm²)

4.2.2. Cargas máximas toleradas por viviendas de uno y más pisos

A continuación se presenta un análisis simple de capacidad y demanda de estructuras de uno, dos y tres pisos, según las exigencias de la normativa sísmica vigente actualmente en Venezuela. Se supone el ejemplo de una estructura conformada por cuatro paredes del tipo descrito en el apartado anterior, con un techo liviano de cerramiento. Se evalúa el caso de la estructura de varios pisos, suponiendo que los daños que determinan la falla, y las máximas demandas de ductilidad, se concentran en el primer piso. Se procede a evaluar el corte máximo que puede resistir la pared, tomando en cuenta el confinamiento que genera la carga vertical, utilizando la expresión [4]. Se evaluará también la capacidad de la pared de soportar un momento generado por el cortante producido por la carga sísmica aplicado en la losa del primer piso, momento que es compensado por una pareja de fuerzas: la fuerza de tracción soportada por el acero de uno de los machones y la de compresión resistida principalmente

por una parte de la mampostería y el otro machón. Dados los bajos niveles de ductilidad característicos de estas paredes, se decidió no tomar en cuenta en este análisis la capacidad de deformación inelástica ni permitir la reducción de las cargas de diseño.

Para una estructura de un piso, se tiene un período natural de vibración aproximado de 0.06s. El corte asociado, utilizando el espectro de la norma vigente, es de aproximadamente 1.69 ton, nivel de carga inferior al recomendado como límite de desempeño en el muro en estudio, de 5207 kg, por lo que la pared puede resistir la acción del sismo.

Para una vivienda de 2 pisos, se añade en nuestro ejemplo, la carga de una losa de entrepiso y un piso adicional. En este caso, la demanda del sismo de diseño impone un cortante en la base de 6.12 ton. La resistencia a ese corte, dada la presencia del confinamiento por carga vertical, es de 6.21ton. La fuerza aplicada es inferior a la resistencia, por una pequeña diferencia (del 1.4%). Estos resultados indican que es recomendable no construir viviendas de más de una planta, con este tipo de muros.

Como se observa en la **Tabla 4-1**, para una vivienda de 3 pisos, el sismo de diseño normativo impone un cortante de 10 ton, carga muy superior a la máxima resistida por la pared, la cual es de 7.2ton. Esta situación empeora en la medida en que se incrementa el número de pisos: para 4 pisos, la carga es de 13.95 ton, mientras que la resistencia es de 8.2ton. Para un número mayor de pisos, el colapso de las edificaciones es evidente. Con este tipo de piezas de mampostería lo recomendable es limitar la altura de las edificaciones, y no permitir más de una planta.

Tabla 4-1: Análisis de capacidad y demanda sísmica de viviendas de muros de mampostería confinada.

Número de pisos	Carga vertical sobre el primer piso	Resistencia limite reparable	Período	Cortante en el primer piso	Carga de tracción en el machón
1	2700kg	5207kg	0.06s	1690kg	1555kg
2	7500kg	6214kg	0.10s	6120kg	5630Kg
3	12300kg	7221kg	0.13s	10037kg	9234Kg
4	17100kg	8228kg	0.16s	13954kg	12837Kg

La **Tabla 4-1** muestra que el esfuerzo de tracción en los machones en el ejemplo analizado de viviendas de 1 a 4 plantas, es inferior a su capacidad en cedencia. En laboratorio, los bajos niveles de ductilidad observados (inferiores a 1.5) corresponden a la formación de mecanismos de disipación de energía inestables y poco controlables que conducen, en la mayoría de los casos, a la falla por corte de un machón. Para obtener comportamientos dúctiles adecuados, en este tipo de estructuras pueden estudiarse mecanismos alternos que permitan aprovechar la capacidad de deformación inelástica del acero. Se han realizado exploraciones para estudiar el aprovechamiento de la deformación en tensión del acero en los machones o la formación de rótulas plásticas controladas en las bases del muro, como mecanismos alternativos de disipación de energía en caso de sismos. Pero estos estudios requieren ser profundizados (Lafuente et al., 1998).

En las figuras que siguen a continuación (**Figura 4-15**, **Figura 4-16** y **Figura 4-17**), se muestran construcciones de mampostería confinada empleadas en ciudades de América Latina. En estas fotos puede observarse el número de pisos (con frecuencia superior a dos y que alcanzan incluso seis y siete pisos), así como deficiencias en la continuidad y amarre de los elementos de confinamiento de la mampostería.



Figura 4-15: Viviendas de mampostería en Argentina.
(Autor: Aleposta, 2008).²¹



Figura 4-16: Viviendas de mampostería en Caracas.
(Autor: The Photographer, 2013).²²

²¹ <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Villamiseria3.JPG?uselang=es>

²² https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Petare_Slums_in_Caracas.jpg



Figura 4-17: Vivienda autoconstruida de mampostería en Rio de Janeiro.
(Autor : gite_le_paradis, 2008).²³

4.2.3. Limitaciones en la altura de viviendas autoconstruidas

Múltiples ensayos de laboratorio y simulaciones numéricas para representar el comportamiento de viviendas autoconstruidas, permitieron determinar que debía limitarse la altura de estas viviendas para resistir el sismo de diseño pautado por las normas vigentes en Caracas (Lafuente, Genatios, 2000 y 1998).

Se comprobó que las estructuras de mampostería confinada con bloques huecos de arcilla son suficientemente seguras ante los sismos esperados, si la altura se limita a un piso; esto, siempre que se garantice una adecuada configuración estructural y un cuidadoso detallado del refuerzo y de las conexiones, a fin de asegurar la adecuada distribución de las cargas a las paredes resistentes. Necesario es también realizar un estricto control de la calidad del proceso constructivo. Viviendas de más de un piso con estos materiales no son recomendables. El uso de estrictos controles técnicos y bloques huecos de más resistencia y calidad, podría permitir la construcción de viviendas de mampostería confinada de mayor altura, asunto éste que debería ser comprobado con rigurosos estudios, a fin de garantizar la seguridad de la población en zonas sísmicas.

Desafortunadamente, estas características de calidad de los materiales y el estricto control de calidad no están presentes en las construcciones realizadas en las viviendas informales de Venezuela. Más aún, en la mayoría de estas viviendas, ni siquiera se cumple con condiciones elementales de confinamiento, tales como la existencia de machones en todas las paredes y la continuidad de un nivel a otro de las líneas de machones. Esto es preocupante, porque, como se dijo anteriormente, las viviendas informales en Caracas llegan a tener hasta siete pisos, con lo que son muy vulnerables. Visto lo anterior, en los barrios y según la normativa vigente, el escenario del sismo esperado puede causar una catástrofe de grandes dimensiones, con la falla y colapso de gran cantidad de viviendas (**Figura 4-18**).

²³ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Favela_-_panoramio.jpg?uselang=es

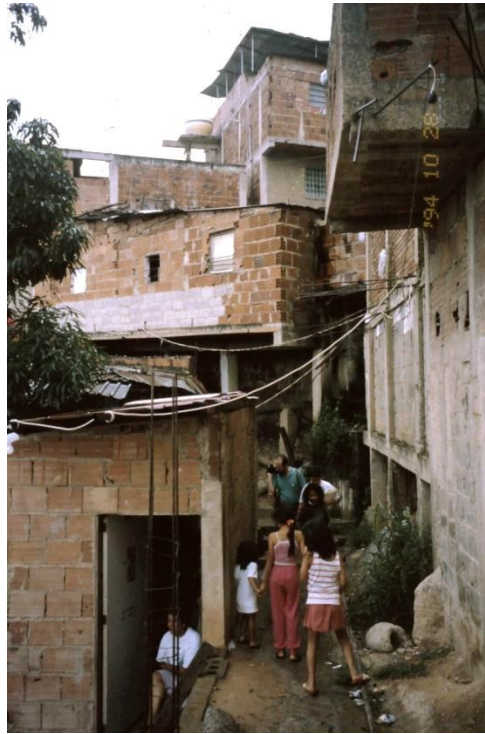


Figura 4-18: Calidad de la construcción informal en un barrio de Caracas.
(Autor: Lafuente, 2013).

4.3. EL DÉFICIT DE VIVIENDAS EN VENEZUELA

Una metodología para evaluar el déficit habitacional es descrita en detalle en (Rojas et al, 2011). En ese estudio se define el déficit habitacional con dos componentes:

- a) Déficit Cuantitativo: considera la ausencia de vivienda a partir de dos condiciones; la primera es que el número de familias que comparten el mismo techo y cocina, sea superior a una. La segunda se refiere a viviendas que deben ser sustituidas dada la baja calidad de los materiales constructivos.
- b) Déficit Cualitativo: no incluye las viviendas que ya han sido consideradas en el déficit cuantitativo. Este déficit se define a partir de tres condiciones:
 - Condiciones deficientes de la vivienda. Se incluyen en esta categoría viviendas con alguna de estas limitaciones: techo hecho de materiales no permanentes; paredes y estructura hechas de materiales no permanentes; suelos de tierra; hacinamiento (más de tres personas por cuarto)
 - Condiciones deficientes del vecindario. Se refiere a la insuficiencia de infraestructura o servicios que incluyen los siguientes casos: ausencia de agua potable con acceso por tuberías; ausencia de cloacas o sistemas de disposición de aguas servidas; ausencia de electricidad
 - Limitaciones en la tenencia de la tierra: la familia no tiene la propiedad de la casa o de la parcela.

Para 2012, la situación en América Latina se resume de la siguiente manera en términos del total de hogares existentes en la región²⁴ (BID, 2012):

- a) Déficit Cuantitativo: 6%
- b) Déficit Cualitativo:
 - Condiciones deficientes de la vivienda: 12% (incluidos: Techo deficiente: 3%; Piso de tierra: 6%; Paredes deficientes: 2%)
 - Carentes de infraestructura: 21% (incluidos: Carentes de electricidad: 4%; Carentes de saneamiento: 15%; Carentes de agua potable corriente: 9%) idem
 - Carentes de tenencia adecuada de la tierra: 11%
 - Hacinamiento: 6%

Dentro del estudio citado, los resultados correspondientes a Venezuela son:

- a) Déficit cuantitativo: 8%
- b) Déficit cualitativo: 20%
 - Deficiencia por materiales: 13%
 - Deficiencias por hacinamiento: 6%
 - Deficiencias por infraestructura: 8%
 - Deficiencias por tenencia de la tierra: 6%

De acuerdo a estas cifras, obtenidas del análisis de los censos nacionales, sólo el 13% de las viviendas en Venezuela, presentan deficiencias por “calidad de los materiales”, y el déficit cualitativo es de un total del 20%. Son preocupantes estas cifras, ya que no toman en cuenta la seguridad sismorresistente. Uno de los aspectos del déficit cualitativo en Venezuela, expresado en términos de las “paredes deficientes”, se cuantifica en un 2% del total. Es decir, según el estudio mencionado, sólo un 2% del total de hogares venezolanos se aloja en viviendas con paredes deficientes. Sin embargo, ya se ha mencionado que más del 60% de las viviendas en Venezuela son viviendas autoconstruidas, en asentamientos informales y en zonas de peligro sísmico. En su mayoría, se trata de ranchos hechos con paredes portantes de mampostería, cuya precaria seguridad ante sismos fue demostrada en secciones anteriores de este trabajo. El déficit de viviendas en el país debe ser considerado cercano al 60%, y en todo caso muy superior al que contemplan las cifras oficiales. Estas cifras son derivadas de los censos nacionales, los cuales incluyen datos sobre la calidad de la vivienda, pero no incluyen suficiente información técnica para definir con precisión las capacidades estructurales, la vulnerabilidad de las viviendas y de los asentamientos frente a sismos y otros eventos naturales.

4.4. LA AUTOCONSTRUCCIÓN Y LA EVOLUCIÓN DEL HÁBITAT VULNERABLE EN VENEZUELA Y AMÉRICA LATINA

El crecimiento de la demanda de viviendas en la región latinoamericana, y la ausencia de condiciones económicas y sociales necesarias para la inclusión de las grandes poblaciones pobres en los sectores formales, hacen que la autoconstrucción en los sectores informales, seguirá siendo, lamentablemente, la principal fuerza constructora de viviendas en la región.

“Las necesidades futuras de la región son estimadas en 3 millones de unidades por año para las próximas dos décadas. Dada la ausencia de capacidad del sector formal para proveer estas viviendas, los habitantes se verán impulsados a

²⁴ Las cifras y porcentajes en cada categoría no equivalen a la sumatoria de sus componentes. Por ejemplo, algunos hogares que carecen de saneamiento también pueden carecer de agua potable por tubería.

soluciones informales que contribuyen a las grandes deficiencias cualitativas que todavía afectan la región” (Rojas y Medellín, 2011).

El análisis de este problema ha incentivado a profesionales e investigadores a proponer e implementar experiencias de autoconstrucción con asistencia técnica y planificación previa de los urbanismos, a fin de paliar las carencias de viviendas y fomentar la organización social. En algunos casos se aplican técnicas constructivas tradicionales; también se han introducido técnicas innovadoras, usando materiales reciclados o productos ecológicos, entre otros.



Figura 4-19: Hábitat autoconstruido y vulnerable.
(Autor: Hmaglione10, 2012).²⁵

Si bien algunas de estas experiencias de autoconstrucción planificada han sido positivas, la realidad indica que la autoconstrucción, si no cuenta con asesoramiento técnico y apoyo en la construcción de servicios, es uno de los problemas más serios, relacionados con la vivienda social, que enfrenta América Latina. La Figura 4-19 ilustra esta situación.

Diversos organismos han desarrollado y promovido el uso de guías constructivas y manuales para autoconstrucción. Estas guías usualmente se refieren a viviendas de mampostería confinada o adobe, y en algunos pocos casos a estructuras de concreto reforzado. Algunas incorporan criterios rigurosos de seguridad, basados en estudios de alto nivel realizados en laboratorios, pero, lamentablemente muchas de estas guías no contemplan criterios mínimos de seguridad estructural, por lo que el resultado de su utilización no conduce a una vivienda segura (Figura 4-20).



Figura 4-20: Vivienda en los páramos venezolanos, construida de manera repetitiva, siguiendo guías inadecuadas
(Autor: Genatios, 2010).

²⁵ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Favela_santa_marta.jpg?uselang=es

Se han seguido dos ejes diferentes para la definición de estrategias en la búsqueda de soluciones para el problema de la vivienda: (i) prohibir la autoconstrucción o (ii) fomentar la capacitación y el asesoramiento para mejorar la autoconstrucción, lo cual debe incluir la preparación de servicios y la dotación de urbanismos.

La primera estrategia es de difícil aplicación en países o regiones con recursos escasos, dado que se requiere la integración de la población a la económica formal, y la disposición de fondos suficientes para la construcción de viviendas mediante programas sociales que lleguen a los que lo necesiten. Se requiere también de instituciones y mecanismos de control eficientes que aseguren el cumplimiento de la prohibición. Asimismo, el éxito de estos programas va asociado a la capacidad que tenga una sociedad de integrar en la dinámica económica y social a las poblaciones excluidas, a fin de que conozcan los riesgos, dispongan de trabajos estables y suficientemente remunerados y accedan a programas de adquisición de vivienda generada desde el mercado formal o desde el Estado.

Se llega entonces a la segunda alternativa: fomentar la capacitación y asesoramiento para la ejecución de programas de autoconstrucción que aseguren la calidad de la vivienda y del hábitat. Esto hace necesario un plan integral que contemple diseños que se ajusten a la reglamentación vigente, así como la capacitación de los constructores, la provisión de materiales, el seguimiento de la construcción y la preparación y planificación previa de los urbanismos. El crecimiento de la demanda de vivienda desde los sectores populares, constituye una fuerte presión para los gobiernos y las economías, y dado que la respuesta mayoritaria es la autoconstrucción, resulta difícil que los gobiernos puedan prohibir esta práctica.

El crecimiento demográfico y los movimientos migratorios de la región, indican que los gobiernos y el sector privado de las grandes urbes de la región no podrán contar con recursos y programas de desarrollo de viviendas suficientes para satisfacer la demanda, a menos que incluyan dentro de sus lineamientos de trabajo la incorporación directa de los pobladores. Ahora bien, esta situación se ve agravada por el bajo nivel de conocimiento y de acceso a la tecnología y los recursos por buena parte de la población, lo cual origina un hábitat precario y muy vulnerable ante la posible ocurrencia de terremotos. El pasado terremoto de Haití, de 2010 es un doloroso ejemplo de ello. La Nueva Agenda Urbana (NAU) reconoce esta situación y plantea la urgente necesidad de transformar el enfoque y las acciones del desarrollo urbano.

4.5. CONCLUSIONES

La Nueva Agenda Urbana, presentada en el evento Hábitat III (Quito, Ecuador, Octubre 2016) reconoce la gravedad de la situación de la vivienda y el desarrollo urbano en el mundo, y establece complejos lineamientos de acción centrados en las personas, como sujetos activos y actores fundamentales del desarrollo y del hábitat. El problema de la vivienda es un reto fenomenal, que centra al habitante-constructor y su organización social en el centro del problema y, también, en el centro de la solución. Es un problema vinculado con todos los problemas sociales de una población: educación y conocimiento, organización social, capacidades institucionales y salud, entre otros.

En este trabajo se ha presentado una síntesis de resultados de estudios sobre una pared de mampostería confinada, hecha con los materiales y tecnologías constructivas típicamente utilizadas en Venezuela. Se determinaron los mecanismos de falla posibles ante cargas de tipo sísmico y las características resistentes de la pared. Se concluyó que una vivienda de un piso, con este tipo de paredes, puede resistir satisfactoriamente la acción de un sismo de diseño como el especificado en la norma venezolana Covenin vigente, cuando se respetan procedimientos constructivos adecuados. Con

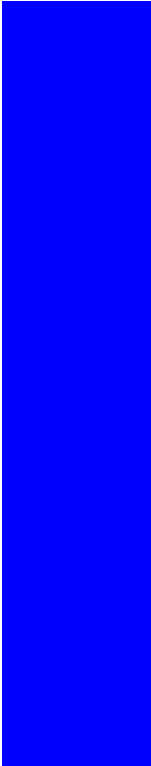
procedimientos de control cuidadosos y detalles constructivos apropiados, podrían construirse viviendas de hasta dos pisos usando bloques huecos de arcilla de este tipo, pero en los barrios estos requerimientos son de difícil cumplimiento. Las viviendas de tres niveles o más, según los estudios realizados, no muestran un desempeño adecuado ante la acción de sismos como los especificados en las normas venezolanas para la región capital. Desafortunadamente, son muchas las viviendas de este tipo, con tres o más pisos, que se observan actualmente en Caracas.

Con la finalidad de definir parámetros que permitan atender la problemática de la vivienda, los países buscan cuantificar el déficit habitacional. En este trabajo se recomienda que, para definir este déficit, deberían incorporarse criterios que permitan determinar si una vivienda existente es adecuada o no desde el punto de vista de su seguridad ante sismos y otros eventos naturales. Los análisis del déficit habitacional se centran en la información arrojada por los censos, que no es suficiente para este propósito. Las cifras de déficit obtenidas, que luego son utilizadas por organismos financieros internacionales y por planificadores, en la toma de decisiones y en la formulación de programas de vivienda, se revelan muy conservadoras. En realidad, gran parte de la población en asentamientos informales y en viviendas autoconstruidas, está en riesgo. Se trata de aproximadamente, un 60% de la población venezolana en situación vulnerable, y que requiere de viviendas más seguras. Los procedimientos de análisis del déficit, por ignorar esta realidad, contribuyen a incrementar la vulnerabilidad urbana en los sectores informales.

La demanda de vivienda por parte de los sectores económicamente menos favorecidos, en Latinoamérica, es de más de dos millones de viviendas al año. Como los gobiernos no pueden satisfacer esta demanda, los pobladores recurren a la autoconstrucción para solucionar su problema. La calidad de las viviendas y del hábitat, no podrá mejorarse a menos que se hagan grandes esfuerzos para que la autoconstrucción cumpla con mínimos criterios técnicos de seguridad y cuidado ambiental. Este es un gran reto para preservar el futuro de las ciudades e impulsar el desarrollo sostenible. Los programas gubernamentales de atención al problema de la vivienda deben incorporar la reducción de riesgos de desastres y la planificación y preparación anticipada a las invasiones de terrenos, como una prioridad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BID, (2012) (Banco Interamericano de Desarrollo) Un espacio para el desarrollo. Los mercados de vivienda en América Latina y el Caribe. Bouillon, C. editor. ISBN 978-1-59782-154-4.
- CAF, (2013) <http://www.caf.com/es/paises/república-dominicana/nuestra-accion/>
- Castilla, E., Lafuente, M., Genatios, C. (1996), “Sobre el comportamiento sismorresistente de estructuras de muros de mampostería” Sismodinámica, 1996.
- CEPAL, (2011). Panorama Social de América Latina. <http://www.cepal.org/es/publicaciones/1236-panorama-social-de-america-latina-2010>
- Cilento, A. (2012) “Mejora integral del hábitat. ¿Déficit de vivienda o déficit de condiciones?” Encuentro de organizaciones sociales 2012, Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela. <http://gumilla.org/eos2012>
- Cilento, A. (2013) “De hogares y refugios” Acuerdo Social, Diario Últimas Noticias, 18 Agosto 2013, Caracas, Venezuela.
- Crisafulli, F. Genatios, C. Lafuente, M. (2016) “Vivienda de interés social en América Latina. Una guía para sistemas constructivos sismorresistentes” ISBN: 978-980-422-057-9, CAF 2016.
- Corrales, W. Miquilena, T. (2015) “Addressing poverty Traps related to Vulnerability and Competitiveness in three Central American Countries” Geópolis, April 2015.
- COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) (2001). Edificaciones Sismorresistentes: Norma COVENIN 1756, Fondonorma. Caracas, Articulado 71p + Comentario 123p + referencias + índice analítico.
- Duncan, J. (2003) “Causas de la vivienda inadecuada en América Latina y el Caribe”. Habitat. http://www.habitants.org/news/library/causas_de_la_vivienda_inadecuada_en_america_latina_y_el_Caribe.
- Genatios, C. (2017) “La Nueva Agenda urbana como motor de Desarrollo Humano” BID, Blog ICES <http://blogs.iadb.org/ciudadessostenibles/2017/02/07/nueva-agenda-urbana/>
- Klingner R, Rubiano N.R., Bashandy T, Sweeney (1966), Evaluation and analytical verification of infilled frame test data, VII North American Masonry conference.
- Grases, José, “Hacia la reconstrucción de la historia de los terremotos del Caribe”, Revista geofísica, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, N0 24, enero-junio, 1986.
- Lafuente, M. (1991) “Contribution à l’étude analytique du comportement de murs en maçonnerie non-armée sous sollicitation plane”, tesis doctoral, INSA de Toulouse, Francia, 1991.
- Lafuente M., Genatios, C. (1998) “Consideraciones sobre el comportamiento sismorresistente de estructuras de paredes de mampostería con marcos de concreto armado”, Boletín Técnico del IMME., vol. 36, N° 2, 1998.
- Lafuente M, Castilla E, Genatios C., (1998) “Experimental and analytical evaluation of the seismic-resistant behavior of masonry walls”, Journal of the British Masonry Society, London, UK, Vol. 11, N° 3, 65-101. 1998.
- Lafuente M., Genatios C., (2000) “Experiencias sobre el comportamiento sísmico de estructuras de muros de mampostería”, pp 41-72, en el libro “Desastres Sísmicos”, CISIS-UCV. ISBN 980-00-1637-6. Caracas, 2000, compiladores: Lafuente, Genatios et al.
- Lafuente, M. Genatios, C. (2007) “Autoconstrucción sismorresistente” Ediciones Citeci, ISBN 978-980-708102-3, Caracas, NAU, 2016. Nueva Agenda Urbana, ONU <http://habitat3.org/wp-content/uploads/N1639671-Spanish.pdf>
- Pauley, T. y Priestley, M.J.N. (1992) Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. John Wiley & Sons, USA.
- PNUD (2008). Manual para el Desarrollo de Viviendas Sismorresistentes, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Lima, Perú.
- Rojas, E. y Medellín, N. (2011) “Housing Policy Matters for the Poor. Housing conditions for Latin America and the Caribbean, 1995-2006” IDB- Inter-American Development Bank working paper series: 289. Washington D.C. 2011,



5. ATENCIÓN Y PREVENCIÓN DE EVENTOS SÍSMICOS: REFLEXIONES DERIVADAS DE LA EXPERIENCIA

Autor: Roberto R. Centeno Werner

RESUMEN

Cualquier evento sísmico que sacuda una ciudad con una magnitud Richter igual o superior a 5.0, que esté localizada en un país en vías de desarrollo, probablemente genere una crisis económica y social importante que deba obligar al país afectado a solicitar ayuda experta internacional para poder solucionarla en el menor tiempo posible. La ayuda solicitada incluye el suministro de fondos económicos, y donación de alimentos, agua potable, sangre clasificada para transfusiones, medicamentos, equipo quirúrgico de emergencia, carpas para dormitorio provisional y para suplir puestos de emergencia que complementen y suplementen los hospitales y clínicas convencionales de la ciudad que, por el volumen de damnificados, pueden ser insuficientes para dar una ayuda efectiva a las víctimas.

La atención y organización de instituciones y población en relación con la ocurrencia de eventos sísmicos, requiere considerar tres etapas importantes:

- 1) **Antes del sismo:** estimación de la amenaza sísmica, en términos de aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo; determinación y análisis de la vulnerabilidad de todas las edificaciones residenciales e instalaciones urbanas destinadas a la procura de los servicios públicos; determinación de condiciones que incrementan la vulnerabilidad, preparación para la prevención, planificación, normativas, desarrollo institucional, investigación, docencia y campañas de preparación de la población, planes para el fortalecimiento de la resiliencia, entre otras.
- 2) **Durante el sismo:** atención inmediata de operaciones de búsqueda, rescate y salvamento de víctimas, atención en hospitales y centros de salud de emergencia, de identificación legal y disposición de cadáveres, del desalojo y protección policial de edificaciones afectadas, incluyendo corte de electricidad y de gas doméstico e industrial ...
- 3) **Después de ocurrido el evento:** actividades de Demolición de edificaciones colapsadas y de proyecto de reparación de las edificaciones residenciales y de las industriales que se la autoridad autorice legalmente, planificación urbana para la reconstrucción, planes de vivienda...

El presente trabajo presenta un conjunto de reflexiones y conclusiones derivadas de una amplia experiencia de atención a emergencias por eventos sísmicos en distintos países, así como de la realización de proyectos ingenieriles orientados a garantizar la seguridad de las personas e infraestructuras ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud. El objetivo de estas notas es el de transmitir la preocupación y aspectos de la experiencia personal, a profesionales y técnicos que tengan como parte de su trabajo, la tarea de participar en proyectos de estructuras, organización institucional o atención de emergencias.

5.1. CONSIDERACIÓN PRELIMINAR

Hasta el 29 de Julio de 2007, cuando habían transcurrido cuarenta años de haberse producido el Terremoto Cuatricentenario de Caracas en Julio de 1967, los temas relacionados con el manejo competente y bien organizado de esa emergencia sísmica y estudios de sus efectos, habían sido ampliamente atendidos por expertos nacionales e internacionales, entre ellos: Alonso, José Luis et al.; Audemard, M. Franck; Beltrán, Carlos et al.; Carrillo Pimentel, Pedro; Castellanos, Silvestre; Centeno Grau, Melchor; Centeno Werner, R. R.; Echezuría, Heriberto; Grases Galofre, José; Harding B.O et al.; Idriss, I, M et al.; Lafuente, Marianela et al.; López Oscar, A.; Malavé; Alfonso; Ohsaki, Y; Pérez Guerra, Gustavo; Pérez Guerra, José B.; Rodríguez, José Antonio; Sardi Socorro, Víctor; Seed. H B.; Singer, André; Tapia Galván, Manuel; Torres B. Rafael A; Urbina Luigi, Luis; Uzcátegui, Iría et al.; Whitman, Robert V.

En esta ocasión, la Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat nos ha solicitado gentilmente nuestra colaboración para contribuir con este capítulo, que complementa el trabajo realizado sobre el mencionado sismo, para el período entre julio de 2007 y febrero de 2017,

5.2. ATENCIÓN INMEDIATA ANTE LA OCURRENCIA DE UN TERREMOTO

Dependiendo de la intensidad local del terremoto en diferentes sitios de la ciudad, y de la evaluación primaria de los daños, realizada por las autoridades competentes, será necesario gerenciar eficientemente varios equipos humanos con el fin de complementar a los técnicos de protección civil en actividades de búsqueda, rescate, triaje, traslado y salvamento de los afectados. Las actividades de búsqueda, rescate y salvamento de víctimas o desaparecidos incluyen realizar tareas complicadas en la que el tiempo de respuesta es vital, por cuanto todo retardo no justificado puede significar con mucha probabilidad la pérdida de la vida de una víctima localizada. Toda víctima localizada en espacios confinados debe ser rescatada y trasladada a sus sitios de triaje en el menor tiempo posible, por cuanto la mayoría de las víctimas seguramente han pasado más de tres horas sin ingerir líquido desde el momento en que quedaron atrapadas por los escombros, y como consecuencia sufren de calor y de posible deshidratación.

Una vez que el paciente ha pasado por el triaje, allí se le diagnostica y se le refiere al especialista tratante quien se ocupará de atender el caso, o de referirlo a un centro médico bien dotado de equipo y de personal especializado.

Las labores de emergencia incluyen la localización de la víctima en el espacio confinado, su rescate y traslado hasta el centro de triaje y su posterior traslado a la unidad local de emergencia que se ocupará de proporcionar la atención médica local, en caso de intervenciones no complicadas. Las heridas que requieran sutura se realizan en clínicas sencillas muy cercanas al sitio de rescate en unidades de urgencia de campo montadas en tiendas de campaña. Los casos más complicados que sean diagnosticados en las unidades de Triage y que presentan fracturas graves de cráneo, de columna vertebral, de miembros motores, y por pérdida de miembros motores y fallas cardíacas deben ser referidas a hospitales públicos o privados bien dotados

5.3. ¿QUÉ SE ENTIENDE POR MANEJO COMPETENTE Y ORGANIZADO DE UNA EMERGENCIA SÍSMICA?

“ Se entiende por manejo competente y organizado de una emergencia sísmica, la puesta en práctica, durante e inmediatamente después de ocurrir un terremoto, de todas aquellas actividades gerenciales, profesionales, técnicas y policiales que persigan el objetivo fundamental de restaurar, en el tiempo más corto posible, la operatividad sostenible de los servicios públicos y de los sistemas de transporte de personas de bienes; y que al mismo tiempo logre garantizar a mediano plazo que las edificaciones afectadas por el evento sísmico sean debidamente examinadas y reparadas, previa inspección severa de las mismas, para que resulte segura su ocupación por quienes son sus propietarios, arrendatarios o pisatarios.” (Centeno Werner, R. R. 2017).

La experiencia adquirida por el autor de este artículo, al actuar personalmente en calidad de experto en búsqueda y rescate de víctimas en diferentes eventos sísmicos nacionales y foráneos, nos ha demostrado sin duda razonable que, de no haber trabajado en forma conjunta con organizaciones competentes como lo han sido las Direcciones de Protección Civil Nacionales, Estatales y Municipales, venezolanas y foráneas, no habría sido posible lograr los objetivos más arriba citados, con lo cual el riesgo de agravamiento de la crisis producida por el sismo habría sido mayor y mucho menos manejable.

5.4. LA HISTORIA DEL MANEJO DE LAS CRISIS GENERADAS POR EVENTOS SÍSMICOS EN VENEZUELA

Este artículo tiene como finalidad concentrar en un solo sitio, en forma actualizada, la historia del manejo de la crisis producida en Venezuela por el Terremoto de Caracas del 29 de Julio de 1967, incluyendo los aportes a la ciencia que se han producido hasta el año 2017, cuando se cumplen 50 años de haberse producido el evento.

No hay duda de que al analizar cuidadosamente el esfuerzo hecho hasta el presente por los ingenieros venezolanos y los asesores extranjeros que han atendido el caso del Terremoto de Caracas, en los cinco decenios transcurridos desde que se produjo el evento hasta Julio del año 2017, la evolución de los equipos destinados a este tipo de investigación y estudio, ha resultado extremadamente importante. La sola comparación de los equipos destinados al procesamiento de datos en la última década de los años sesenta, con el advenimiento del computador personal (PC) en la década final de los años setenta, resulta abrumadora; pudiendo decirse que hoy día es posible procesar en sitio mucha de la data que para la segunda década de los años setenta sólo era posible procesar en oficinas muy bien equipadas y espaciosas, con tiempos de espera de varias horas y hasta de días.

Con el desarrollo de las telecomunicaciones al nivel actual, hoy es posible reportar detalles de eventos sísmicos en un tiempo muy corto, “casi real”; por cuanto las redes sociales se han convertido en medios extraordinarios e imparciales de comunicación pública, lo cual hace cada vez más difícil ocultar hechos punibles relacionados con desastres atribuibles a errores humanos originados durante la ocurrencia de terremotos.

5.4.1. Moderno empleo de la esferometría por radar de apertura sintética (INSAR) y de documentos (LYDAR)

A finales del primer decenio de siglo XXI ya es perfectamente posible el uso práctico de la técnica conocida como **INTERFEROMETRIC SYNTHETIC APERTURE RADAR (INSAR)** para lograr el levantamiento de daños producidos por temblores y terremotos en sectores geográficos bien referenciados. Esta técnica es de vital importancia, por cuanto con ella es posible preparar mapas especiales de daños bien especificados, en forma rápida y sumamente precisa, por tratarse de imágenes muy bien georreferenciadas por especialistas en la materia, quienes utilizan los sistemas de georreferenciación aprobados hace apenas ocho años en las leyes venezolanas vigentes como sucede en el caso del sistema REGVEN.

Un geógrafo experto en geomorfología de emergencia puede preparar hoy día un mapa geomorfológico de un sitio que haya sido afectado por un sismo; sin embargo, este mapa debe ser revisado y corregido por un especialista en georreferenciación para lograr disponer de un documento que represente fielmente cualquier mínimo cambio producido por el evento sísmico que en ellos se reporte.

Esta georreferenciación cobra especial importancia cuando el evento sísmico produce cambios en la superficie de la tierra que alteran la topografía que existió antes de ocurrir dicho evento. Un ejemplo de ello son los cambios de alineamiento de caminos y de trazados de conductos que transporten agua, combustible líquido, gas u otro producto.

Para nadie es un misterio que un cambio de alineamiento de un conducto de combustible, causado por un terremoto, puede generar esfuerzos importantes en el cuerpo de la tubería, los cuales, con el paso del tiempo, pueden a su vez derivar en fugas violentas y peligrosas de combustible que lleguen a causar explosiones e incendios, considerados como grandes desastres.

5.4.2. El uso de la geomática para el análisis del riesgo sísmico en zonas vulnerables

La geomática es una ciencia moderna, creada en la universidad Mac Gill, en Canadá, por el profesor emérito Michel Paradis, dedicado a la neurolingüística. Aprovecha las imágenes obtenidas con sensores remotos, como los drones y los radares para obtener por teledetección información sobre objetos y fenómenos de la superficie terrestre, los cuales procesa con el empleo de ordenadores con fines de planificación territorial y urbanística, incluyendo estudios de impacto ambiental, con el monitoreo de fenómenos.

Cualquier evento que pueda ser captado con sensores remotos y en especial por el **radar interferométrico de apertura sintética, (INSAR)** fácilmente puede ser explicado con gráficos que presentan la evolución del evento en forma muy sencilla y práctica, representando con puntos a color los que son indicativos de la velocidad de movimiento de la superficie, como es el caso de la evolución de los deslizamientos de taludes en topografías urbanas en terrenos en pendiente.

Esta técnica aprovecha positivamente las imágenes remotas posteriormente ampliadas para utilizar el pixelado en recuadros que se produce en dichas imágenes para superponerlo al terreno ocupando una superficie física que fácilmente puede ser referenciada en el sitio por coordenadas, para ir midiendo la evolución de las deformaciones en esa unidad de terreno en forma secuencial.

La evolución del fenómeno que se quiere estudiar se representa con colores que van desde el violeta hasta el azul, pasando por el rojo vino tinto, el rojo vivo, el anaranjado, el amarillo, el verde y el azul para sintetizar la evolución que se desea representar en función del tiempo. Los colores cálidos se utilizan para representar movimientos veloces y los fríos para representar los movimientos lentos.

El pixel que representa a la superficie del terreno es seleccionado en la imagen remota obtenida del sitio con un sensor adecuado, muestra un área pequeña del terreno real, de manera que cuando se dibuje a escala mayor en un plano, aparezca como un solo punto, cuyo color dependerá de la velocidad con la cual se mueva la superficie en el momento cuando se haya hecho la mediación del desplazamiento del terreno.

Si se analizan en un momento dado todos los puntos incluidos en el plano, separándolos por sus respectivos colores, se pueden inferir y aislar las zonas del terreno donde los movimientos ocurren en ese momento, lo cual sirve para estimar con bastante precisión la amenaza de falla en dicha zona.

Como se podrá entender, cuando la evaluación se hace en una superficie determinada de terreno en pendiente, donde están fabricadas viviendas o instalaciones de servicio, es lógico concluir que, si en el plano se observa la presencia de una nube de puntos rojos, ello quiere expresar que se trata de una zona de alta amenaza de falla gravitacional del talud.

Cuando se produce un terremoto en el espacio de un talud como el citado, es muy probable que la velocidad de estos asentamientos gravitacionales, v , se incremente notablemente por la acción dinámica que el terremoto genera en la masa de suelo y se logren apreciar agrietamientos y fallas reales de la edificación o instalación que se encuentra fundada en dicha masa. Por este motivo la geomática constituye un sistema muy útil para evaluar la vulnerabilidad sísmica de construcciones e instalaciones fundadas en terrenos en pendiente.

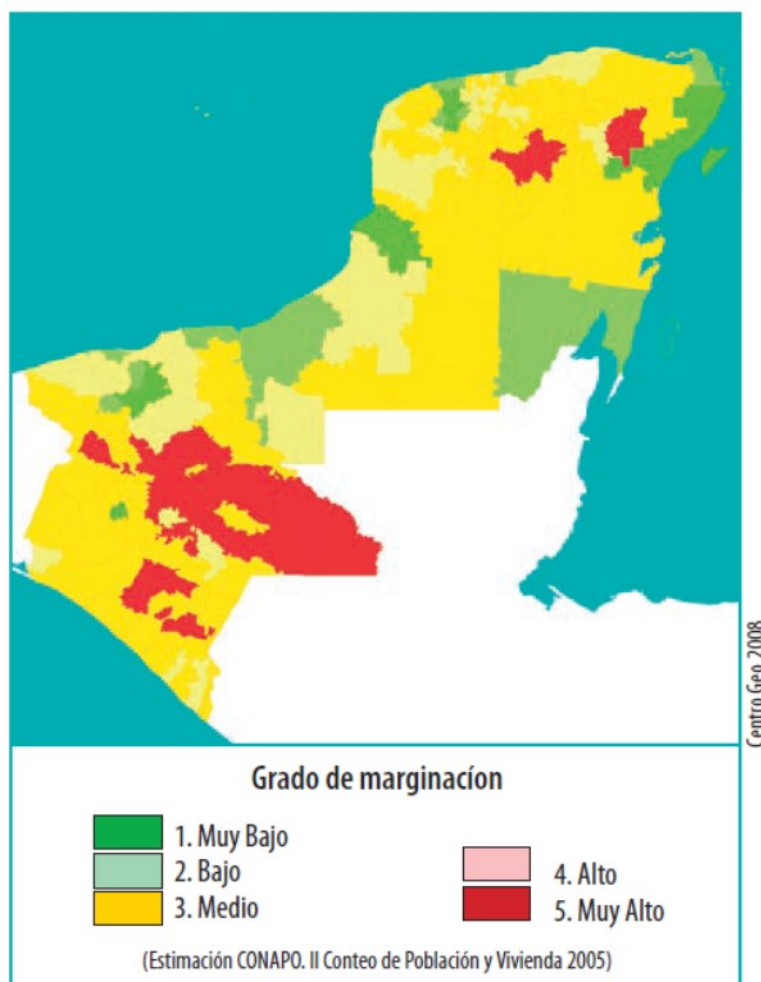


Figura 5-1: Aplicaciones de la Geomática en la elaboración de mapas.
(Fuente: Longoria, 2012)²⁶

Es de hacer notar que cualquier evento que evolucione en función del tiempo, como es el caso de la humedad cambiante que se produce en un talud a diferentes horas del día y de la noche, se puede representar con facilidad en el documento geomática.

En el caso de los mapas de amenaza sísmica en las zonas semi planas urbanas, se pueden registrar los períodos resonantes del suelo en diferentes zonas de un mismo desarrollo urbano en función de la magnitud del temblor y de la profundidad y constitución de la columna litológica, de manera de disponer de un documento que indique la posible interacción entre el suelo y cada una de las estructuras fundadas en él; de manera que si se combina este mapa con el de vulnerabilidad de las estructuras por causa de

²⁶ http://www.inegi.org.mx/RDE/RDE_05/doctos/rde_05_art5.pdf

corrosión, o por defectos estructurales y/o de fundaciones podamos disponer de un mapa de riesgos que nos sirva de guía para planificar las medidas de mitigación de desastres de origen sísmico en el referido urbanismo.

Los documentos obtenidos con la aplicación de la ciencia geomática moderna también permiten apreciar, a golpe de vista, las zonas urbanas donde será necesario programar probables operaciones de desalojo prudencial de personas cuando las autoridades competentes, y solamente ellas, comiencen a apreciar en sus instrumentos movimientos sísmicos que puedan ser considerados como premonitores de un evento sísmico excepcional que a corto plazo llegue a producirse en el área.

5.4.3. Proceso LYDAR

El proceso LYDAR permite obtener mapas confiables, rápidos y precisos para levantamientos a ser empleados en proyectos de urbanismos, proyectos de transporte, proyectos de aeropuertos, programa de mantenimiento de obras y seguimiento de daños causados por sismos.

El acrónimo LYDAR significa *light detection and ranging*, o *laser imaging detection and ranging* y corresponde a un dispositivo que permite determinar la distancia desde un emisor de rayos láser a un sensor.

El LYDAR aéreo transportado permite obtener mapas muy precisos de una localidad, utilizando para tal fin un avión en cuyo interior se transporta el equipo emisor de luz láser y un espejo que desvía el haz en dirección perpendicular a la trayectoria del avión, generando una serie de pulsos de luz que al chocar contra el terreno reflejan al sensor parte de la energía del pulso emitido, convirtiéndola en una imagen tridimensional en forma de mapa.

En la imagen se puede sectorizar mediante el empleo de la geomática la amenaza sísmica representada por una serie de puntos cuyo color se define según el tamaño de la amenaza expresada en unidades de aceleración del terreno.

5.5. EDIFICACIONES SISMO RESISTENTES

¿Hasta qué punto puede un proyectista asegurar a su cliente que una edificación podrá resistir un terremoto?

Si bien en la Norma Vigente en Venezuela para el Diseño de Estructuras Sismorresistentes, se establece el Alcance y las Limitaciones de dicha norma, es preciso aclarar muy bien la pregunta que nos hacemos en este apartado.

Popularmente se habla de edificaciones “antisísmicas”. Pero el término no es correcto. De acuerdo con la lógica popular, una edificación antisísmica sería la que jamás es atacada, ni será atacada por un sismo, y ello es algo imposible que ocurra. Toda edificación ubicada en zona de amenaza sísmica, será atacada por un terremoto en alguna oportunidad y presentará daños o no, según su mayor o menor vulnerabilidad.

Lo que se persigue con el apelativo sismorresistente es dejar claro que la estructura del inmueble resistirá el sismo sin colapsar, cuando esté bien construida y no muestre vicios de construcción. Sin embargo, la norma Sismorresistente venezolana en vigencia, se basa en criterios de diseño según los cuales se puede esperar que las edificaciones presenten daños ligeros, moderados o incluso severos, por causa de sismos de ocurrencia probable durante la vida útil de la estructura. La norma actual busca asegurar un nivel de

desempeño sísmico donde se procura evitar el colapso global de las estructuras a fin de preservar la vida de los ocupantes. En normas y códigos más modernos, se contemplan en el diseño sísmico de estructuras, varios objetivos de desempeño para distintos niveles de sismos. Pero ese no es el caso de la norma venezolana vigente hoy en día (Edificaciones Sismorresistentes: Norma COVENIN 1756 del año 2001)

Para efectos legales de responsabilidad del proyectista y del constructor, la limitación que se hace en la Ordenanza venezolana sobre la interpretación del tipo de falla, es de vital importancia, por cuanto las fallas de tipo funcional, y/o estéticas, o incluso fallas estructurales que se deriven del sismo, no deben ser consideradas por sí solas, como elementos de juicio para fundamentar en las mismas, demandas legales contra las personas antes citadas.

5.5.1. La ley orgánica de ordenación urbanística vigente en Venezuela

Esta Ley establece entre otros la responsabilidad por daños causados por terremotos en estructuras clasificadas como sismorresistentes.

La Ley Orgánica de Ordenamiento Urbanístico vigente en Venezuela fue aprobada el 2 de diciembre de 1987 y ratificado su texto en la Gaceta Oficial N° 33.868 de fecha 16 de diciembre de 1987. En el artículo 127 del texto de dicha Ley, se establece un lapso de 90 días siguientes a su entrada en vigencia para que el Presidente de la República en Consejo de Ministros dicte las medidas necesarias para reorganizar el Ministerio de Desarrollo Urbano a los fines de dar cumplimiento a lo establecido en su texto.

Se ha considerado conveniente incluir en este artículo técnico que será publicado con motivo de la conmemoración del quincuagésimo aniversario del Terremoto de Caracas del año 1967 el texto completo de los artículos 99, 100 y 101 del capítulo V de la Ley Orgánica de Desarrollo Urbano, por tratarse en dicho capítulo lo relativo a las responsabilidades.

Artículo 99. La responsabilidad del ingeniero, del arquitecto, del urbanista y del empresario constructor frente al contratante de una obra, prevista en el artículo 1637 del Código Civil y demás disposiciones sobre la materia, se mantiene de pleno derecho frente a los adquirentes del inmueble construido.

Artículo 100 Responden en los términos del artículo 1637 del Código Civil y del artículo anterior:

- 1.- Los profesionales según la actuación que hayan tenido como proyectistas o directores de la obra o certificadores de su calidad.
2. El promotor y toda persona que venda, después de terminada una obra que haya construido o hecho construir.
3. Los bancos, los demás institutos de crédito y las Entidades de Ahorro y Préstamo que financien cualquier obra de desarrollo urbanístico y de vivienda de acuerdo a los términos del respectivo contrato.
4. Toda persona vinculada por relación de servicias o mandato al comité de la obra, que haya actuado en forma económica o técnicamente asimilable a un contratista de obra

Artículo 101. No es válida la cláusula que tenga por objeto excluir o limitar la responsabilidad salvo a lo dispuesto en el numeral 3 del artículo anterior. Sin embargo, la duración de la garantía será menor frente al dueño de la obra cuando se haya indicado que se trata de una construcción provisional o de corta duración. La convención solo será oponible terceros adquirentes cuando conste en el documento de adquisición.

Nunca hemos estado de acuerdo con lo expresado en esta cláusula de exclusión de responsabilidad que se establece en la Ley Orgánica de Ordenación Urbanística venezolana, por cuanto la evaluación que hacen los institutos de crédito para analizar el riesgo que implica el otorgamiento de avales o de fianzas a los constructores para obtener préstamos, debe incluir la revisión de documentos técnicos realizada por profesionales de la ingeniería que forman parte de la plantilla de los bancos o son sus asesores privados. De lo contrario la responsabilidad del banco que otorga el préstamo sólo se fundamentaría en la solvencia económica del constructor de la obra y ello no es lo que se expresa textualmente en dicha cláusula de exclusión de responsabilidad.

Si se analiza el contenido de la cláusula de la Ley Orgánica de Ordenación Urbanística no sería posible aceptar las limitaciones de responsabilidad contenidas en el Código Sismorresistente Venezolano a menos que conste claramente en el documento de adquisición del inmueble.

Con seguridad se presentarán reclamos a los profesionales en caso de fallas por colapso de edificaciones que puedan ser afectadas por terremotos excepcionales, cuyos espectros de respuesta indiquen aceleraciones, velocidades y/o deformaciones espectrales que superen los valores probabilísticos establecidos en dicho código para una fecha determinada.

Si bien se establece en la Norma Sismorresistente que la falla funcional o falla menor que no implique colapso no se considera como error u omisión de los profesionales, se han presentado reclamaciones por parte de propietarios de viviendas a quienes se les ha hecho difícil obtener seguros contra terremotos y pretenden actuar en contra de los ingenieros. Conviene recordar que las Cláusulas de las Leyes de Carácter Orgánico prevalecen sobre cualquier cláusula de un código que colide con ellas. En todo caso, conviene aclarar esta situación antes de comprometer la responsabilidad profesional de un ingeniero proyectista, en una obra sismo resistente. Especialmente se debe revisar el contenido de lo escrito en letra pequeña en los contratos que se celebren con las empresas aseguradoras y que se consulte cualquier duda al respecto con profesionales reconocidos en la materia.

5.6. PLANIFICACIÓN DE OBRAS PERMANENTES SISMORRESISTENTES EN ÁREAS DE ALTA AMENAZA SÍSMICA

Lo primero que es necesario entender cuando se está planificando una obra de ingeniería en el caso del desarrollo de una ciudad, es lo que se relaciona con la permanencia y la provisionalidad de la obra que se esté considerando. En cualquier ciudad se planifican obras de tipo permanente y obras provisionales.

La estabilización de taludes de corte ejecutados para dar paso a la vialidad de un urbanismo controlado, normalmente se realiza empleando para tal fin una pantalla anclada. Este tipo de obra debe tener carácter permanente; razón por la cual los anclajes deben mantenerse en sitio, sin presentar señales de falla, durante 70 años o más. Esta condición exige que el material de acero de alta resistencia con el que están fabricados los anclajes no solamente cumpla con requisito de funcionar en el sitio sin sobrepasar su límite de fluencia, sino que también se debe cumplir con el requisito de que el bulbo del anclaje no presente arrastre mayor de 1 mm al ser ensayado como se establece en la norma alemana DIN 4125, la cual no es de uso oficial obligatorio en Venezuela.

Es de hacer notar que, en Venezuela, se permite que las obras de retención de tierra diseñadas con elementos de anclaje de carácter permanente, sean sometidas a solicitaciones generadas por sismos que resultan algo mayores que las causadas por solicitaciones generadas por condiciones estáticas. Tal permisibilidad proviene de la duración de las fuerzas que produce un terremoto, la cual es de tendencia

corta y, en consecuencia, no produce fatiga acumulada por el esfuerzo repetitivo. Existen experiencias documentadas donde se han instrumentado obras de retención de tierras. Para ello se instalan acelerómetros que permiten evaluar el comportamiento y comprobar, bajo excitaciones sísmicas, si el esfuerzo dinámico sobre las guayas de anclaje sobrepasa o no el límite de fluencia.

Es conveniente dejar claramente expresado en el contrato de consultoría para el proyecto de una obra civil lo relacionado con las obras de carácter temporal, como es el caso de los refuerzos de pantallas y muros de sótanos que en forma definitiva formarán parte de la estructura y serán reemplazados por las placas de la estructura.

Cuando se producen accidentes en obras de carácter provisional en las que, por falta de financiamiento, estas obras (Anclajes Provisionales) deban extender su vida de servicio, es muy importante exigir por escrito el refuerzo de las mismas para proteger la responsabilidad del proyectista, del constructor y del inspector de la obra. La diferencia de costos de construcción en ambos casos llega a ser relevante y en consecuencia, es de suma importancia advertirlo por escrito

5.7. PROYECTO ARQUITECTÓNICO DE EDIFICACIONES URBANAS SISMORRESISTENTES EN ÁREAS URBANAS DE ALTA AMENAZA SÍSMICA

El desarrollo del urbanismo ha cobrado una especial importancia en Venezuela, especialmente en lo que se refiere al confort y a la estética de las edificaciones modernas con énfasis en los grandes espacios que implican grandes luces estructurales e imponentes tipos de fachadas de vidrio. Sin embargo, la historia del comportamiento de este tipo de arquitectura ante la ocurrencia de sismos severos es muy limitada, pues los eventos de mayor intensidad local en Caracas están por ocurrir.

Se han logrado trasplantar a nuestra ciudad capital las formas y volúmenes de edificios que han causado admiración en las grandes ciudades de los Estados Unidos de Norteamérica, de Bogotá, de Brasil y hasta de la pequeña ciudad de Panamá.

Estamos seguros que con el avance logrado en el desarrollo de programas de cálculo estructural se puede simular cualquier situación de sollicitación que se pueda imaginar que actuará sobre estas estructuras, ya sea de tipo estático como de tipo dinámico.

Los programas que emplean elementos finitos en 3D, e incluso elementos de contorno muy complicados para casos dinámicos, comienzan a ser vendidos por internet a precios que sólo son fracciones menores de los precios de venta de los apartamentos de lujo que se ofrecen a los compradores. Se conocen programas de cálculo estructural muy sofisticados cuyo costo en el mercado está en el orden de los cuarenta mil dólares y que permiten calcular varios edificios en los que uno sólo de sus apartamentos tiene un valor comercial de un millón de dólares.

Sabemos que los ensayos dinámicos de estructuras de este tipo son realizados por importantes laboratorios de fama mundial que trabajan en modelos a escala, o en partes detalladas de dichas estructuras; pero no sabemos si el ensayo de estos modelos o de las partes detalladas de los edificios, simulan con precisión y seguridad lo que ocurrirá en el prototipo de una estructura sometida a la acción real de un terremoto. El costo de ensayos dinámicos en prototipos de estructuras de gran envergadura llega a resultar muy elevado y no resulta atractivo para los inversionistas en el área.

Es seguro que muchos proyectistas modernos, acostumbrados al rápido avance del cálculo electrónico de estructuras complicadas, no estarán de acuerdo con lo expresado por el autor en el párrafo superior precedente y dirán que se trata de algo proveniente de una mentalidad anticuada y pesimista. Solo falta esperar los resultados de un cada vez más cercano evento sísmico que se llegue a producir en Caracas, u otra capital importante de América que presente condiciones del subsuelo muy similares a las de Caracas, para llegar a conclusiones con alto grado de certeza.

5.7.1. Caso especial de estructuras adosadas, de diferente altura, ubicadas en localidades de alta amenaza sísmica

Las estructuras adosadas fundadas en terrenos de alta amenaza sísmica constituyen un problema especial, el cual no estaba claramente determinado antes de que se produjera el Terremoto de México el 19 de septiembre de 1985 y que, en consecuencia, no fueron tomadas en consideración en Julio de 1967 para la planificación urbana de Caracas. Nadie puso objeciones a este tipo de adosamiento de estructuras en las normas sismo resistentes de Venezuela.

5.7.2. Estructuras adosadas ubicadas en las avenidas insurgentes y paseo de la reforma en ciudad de México

Como se observa claramente en la **Figura 5-2** y la **Figura 5-3** las edificaciones adosadas de diferente altura de la Ciudad de México, ubicadas en las avenidas Paseo de La Reforma e Insurgentes, mostraron fallas muy importantes, incluyendo el colapso de los pisos superiores de la edificación de diez plantas correspondiente el Hotel Continental (**Figura 5-2**). Milagrosamente en este edificio no hubo víctimas mortales por cuanto en las plantas colapsadas se alojaban bailarinas del *Crazy Horse* de la Ciudad de París, Francia, y ninguna de ellas estaba en sus habitaciones a la hora de ocurrir el terremoto (7:05 A.M.), pues estaban fuera del hotel, asistiendo a una cena festiva que les habían ofrecido los organizadores del espectáculo en un conocido restaurante de las afueras de Ciudad de México.

La edificación mostrada en la **Figura 5-3** corresponde a un edificio de oficinas de siete plantas, adosado otro de tres plantas. El edificio de siete plantas golpeó al de tres plantas y causó deformación importante de la fachada de este último, con desplazamiento hacia la izquierda de la foto de los parales verticales de las ventanas y caída de varias ventanas basculantes.



Figura 5-2: Colapso pisos superiores del Hotel Continental en Ciudad de México.
Terremoto del 19 de septiembre de 1985.
(Autor: Centeno Werner, 21 de septiembre de 1985).



Figura 5-3: Deformación Fachadas de edificio de oficinas en la Ciudad de México 1985.
(Autor: Centeno Werner, 21 de septiembre de 1985).

5.7.3. Estructuras adosadas construidas el municipio Chacao de la ciudad de caracas sin tomar en cuenta la experiencia del terremoto de México

En la **Figura 5-4 a) y b)** se pueden observar edificaciones adosadas construidas después del Terremoto de Caracas en la avenida Francisco de Miranda en el Municipio Chacao de la ciudad de Caracas, Venezuela. Al comparar estas edificaciones con las construidas en Ciudad de México, antes de evento de 1985, es correcto esperar que con un terremoto de magnitud Richter mayor a la registrada en Caracas en 1967 y cercana a la que produjo el Terremoto de la Ciudad de México en 1986 pueda causar golpeteo de las estructuras mostradas y daños en las estructuras altas similares a los ocurridos en Ciudad de México en las avenidas Insurgentes y Paseo de la Reforma.

El golpeteo de fachadas recubiertas de vidrio como las de la Avenida Francisco de Miranda en Caracas, traería consecuencias muy severas pues los denominados “*Courtin Walls*” (Fachadas de Vidrio) tienden a estallar durante el golpeteo y a que los vidrios se precipiten hacia el vacío, pudiendo causar la muerte de personas que circulen por la vecindad e la fachada durante la ocurrencia del evento sísmico. El valor de la reparación de este tipo de fachada, en el caso de que el golpeteo la dañe, resulta superior a tres mil dólares el metro cuadrado y el riesgo sigue presente en el caso de mantener el mismo tipo de fachada. Este es un pasivo remanente del Terremoto de Caracas y es preciso que las autoridades municipales actúen para evitar que una amenaza se convierta en un desastre



Figura 5-4: Estructuras adosadas en Caracas

a): Estructuras adosadas en el Municipio Chacao de Caracas. Ver fachada de vidrio en estructura de mayor altura en avenida Miranda.

b): Estructuras adosadas en Avenida Miranda del Municipio Chacao fachadas de bloques y balcones con barandas tubulares

(Autor: Centeno Werner, 2016).

5.8. USO DE LA GEOMÁTICA EN EL ESTUDIO DE PENDIENTES NATURALES Y TALUDES ARTIFICIALES

Los terremotos no sólo traen como consecuencia el colapso o la falla funcional de las estructuras de edificaciones destinadas a los usos de la vivienda, del desarrollo industrial, de la salud, de la educación y de la seguridad; sino que, al afectar a la estructura vial, causan problemas indirectos, aunque proporcionales, a la gerencia urbana y suburbana

Muchos desarrollos se ven afectados por la inestabilidad de parcelas logradas por movimientos de tierra realizados en áreas urbanas de comportamiento gravitacional indeseable, con el agravante que, en el caso de zonas de alta amenaza sísmica, la inestabilidad gravitacional es incrementada por las fuerzas de aceleración vertical y horizontal que producen los terremotos en el suelo.

Cuando las edificaciones se encuentran localizadas al pie de terrazas generadas por el ejercicio descuidado de la ingeniería, se llegan a producir empujes de tierra sobre las mismas que pueden destruirlas. Cuando las edificaciones se encuentran ubicadas en el tope de tales terrazas, muy cerca del borde de las mismas, llegan a desplomarse hacia el vacío hasta resultar inhabitables. Esta situación de tipo gravitacional se llega a empeorar cuando se producen terremotos, y se incrementan las fuerzas horizontales y verticales en estos cuerpos de tierra o de roca meteorizada. Dicho incremento de la amenaza de inestabilidad causada por la acción de los terremotos crece aún más cuando las obras de terrazo están sometidas a variaciones de humedad causadas por precipitaciones pluviales excepcionales, o por el mal funcionamiento de los drenajes.

El uso de los sensores remotos aéreos, y del radar superficial, permiten generar mapas de vulnerabilidad y de riesgo por causa de deslizamientos y de derrumbes, esto es indispensable para planificar obras de

estabilización en aquellas pendientes, en las que estén construidas edificaciones y líneas de vida de cualquier tipo.

5.8.1. Actualización de mapas de riesgo con caducidad de menos de tres años

Los mapas preparados con el empleo de imágenes pixeladas (Geomática) permiten ser actualizados con mucha facilidad, y en tiempo bastante corto. Al ir transcurriendo el tiempo, en ellos se puede ir representando el crecimiento de nuevas estructuras en el área geográfica considerada, incluyendo, a partir de una base de datos dinámica, toda la información detallada que está relacionada con el comportamiento de dichas estructuras al ir transcurriendo los años, tales como su área de ubicación, su altura, el número total de plantas, el tipo de estructura proyectada, el número de plantas libres o blandas y el tipo de fundación utilizada.

Es importante hacer notar que en la base de datos debe aparecer el número de apartamentos de vivienda y de uso comercial, para estimar en base a ello el número total de personas que utilizan la edificación, en un momento dado. El número de personas que utilizan cada edificio, reportada en la base de datos, es una cifra de vital importancia para estimar el riesgo que se correría en caso de ocurrir un evento sísmico de una magnitud superior a la estimada en el proyecto.

Los referidos mapas deberían tener una caducidad de tres (3) años, de forma tal de poder ir actualizando la data especificada en el párrafo anterior, por cuanto la ciudad de Caracas tiene la particularidad de crecer al arbitrio de las autoridades municipales y de ir modificando el área de planta y el área de construcción de las unidades de vivienda, sin obtener previamente el permiso de las autoridades competentes.

Las investigaciones realizadas por el autor de este artículo, hasta la fecha de publicación del mismo, permiten concluir en que muy pocas edificaciones de Caracas se cuenta con un PERMISO DE HABITABILIDAD otorgado por la autoridad competente, y que, aún en caso de disponer de dicho permiso, el mismo no está vigente, por cuanto son numerosos los casos en los que el propietario de la unidad de vivienda, o el constructor realiza modificaciones o cambios de uso que no permiten hacer una evaluación confiable del riesgo probable de colapso en caso de ocurrir fallas ocasionadas por un terremoto.

5.8.2. Ventajas de la Geomática en la visualización de la vulnerabilidad sísmica

Utilizando la técnica *Field Map*, se logra representar en un mapa la vulnerabilidad de edificaciones ubicadas en un área identificada con coordenadas medidas con un GPS. En la base de datos que se emplee para describir la edificación se pueden colocar todos los datos deseados para tal fin.

Cuando en la información que ordenadamente se aporta en la base de datos se indica la existencia de asentamientos de fundaciones medidos en cada sitio de columna, agrietamiento a 45 grados de tabiques, manchas de corrosión del refuerzo metálico en la superficie de elementos estructurales, filtraciones de agua de tuberías embutidas en las placas, agrietamiento y/o fisuramiento horizontal en columnas de concreto armado coincidentes con la posición de las ligaduras, el mapa de campo (*Field Map*) contendrá numerosos puntos rojos indicativos de vulnerabilidad a los terremotos, por cuanto una edificación mal conservada es proclive a ser destruida por un evento sísmico.

Ajustándose a la forma descrita en el párrafo precedente es posible señalar todas las edificaciones potencialmente vulnerables, con la finalidad de estimar si tiene sentido ejecutar un plan para la reparación de los edificios vulnerables y así lograr mitigar a la acción de un terremoto. Ello tendría sentido práctico si se procede a tiempo para disponer del mapa, y solamente si la relación entre este costo de reparación,

aumentado por el lucro cesante, supera el 70 % del valor actualizado de la edificación para el momento de decidir su adecuación sismo resistente.

Como bien se puede comprender la geomática permite tomar decisiones acertadas en el momento de someter la decisión de adecuar un grupo de edificaciones con el objeto de mitigar los efectos de un terremoto; especialmente cuando el costo de la mitigación debe ser financiado con préstamos solicitados a la banca por los propietarios afectados, o por el gobierno nacional.

5.9. EVALUACIÓN DE COSTOS DE DAÑOS GENERADOS POR EVENTOS NATURALES EN DESARROLLOS URBANOS

Hasta la fecha de entrega del presente trabajo técnico se han desarrollado varios programas de computación que contienen abundante información sobre causas y efectos de los daños generados por eventos naturales. Incluyendo: terremotos, maremotos o tsunamis, incendios forestales de extensas áreas (Costa Oeste Norteamericana. Australia y Chile, entre otros).

Estos programas, como todos los que requieren de información detallada de la magnitud de los daños producidos por eventos naturales para poder hacer la estimación precisa de costos de recuperación de la obra dañada, requieren ser alimentados con datos oficiales confiables y actualizados sobre costos de numerosas partidas presupuestarias relacionadas con el tema.

Por lo general los datos confiables y actualizados de los costos de recuperación de obras localizadas en zonas afectadas por eventos naturales como los mencionados en el párrafo uno del presente apartado son incompletos, por cuanto dichos programas han sido preparados por científicos que no tienen experiencia política.

Los costos totales de recuperación de activos que han sido afectados por ruina total o parcial causada por eventos naturales nunca han sido confiables en los países en vías de desarrollo, pues los gobiernos de estos países aprovechan la oportunidad del evento para cargar el costo de muchas pérdidas ajenas al evento mismo.

Incluso el manejo de las donaciones hechas por la ayuda internacional deja mucho que desear en materia de manejo pulcro, tal y como fue la opinión de los directivos de la Cruz Ámbar de Ciudad de México en el año 1985, y ha sido sugerido por los representantes de los países quienes colaboraron para auxiliar a los gobiernos de Nicaragua, Guatemala y de Haití en 1973, 1976 y 2005, respectivamente.

5.9.1. Empleo del software CRISIS

Este software fue diseñado por Capra para estimaciones cuantitativas de los costos de daños causados por ocurrencia de eventos naturales y para gerenciar crisis.

En el caso de Venezuela, la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas maneja el software CRISIS 2007 producido por CAPRA en Italia. Se trata de un programa de cálculo de la Amenaza Sísmica aplicable en cualquier zona geográfica del mundo cuando se conocen las coordenadas geográficas del sitio y se dispone de la información básica exigida por dicho software.

Se conocen reportes de trabajos realizados en Venezuela para la evaluación de la amenaza sísmica en grandes proyectos de obras civiles lideradas por empresas petroleras venezolanas y en proyectos del Sistema Rápido de Transporte Urbano (METRO DE CARACAS) liderado por CAMETRO. Directivos de

la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) han informado al autor de este artículo que el software CRISIS 2007 les ha aportado excelente información en la evaluación de la Amenaza Sísmica en la ciudad de Barquisimeto en el estado Lara, en la Región Centro Occidental de Venezuela. Para conocer más sobre la última versión del software CRISIS, se recomienda consultar la página web: https://sites.google.com/site/codecrisis2015/crisis_capra

5.10. URBANISMO NO CONTROLADO. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Se denomina Urbanismo No Controlado, el que corresponde a un sector de la ciudad que ha nacido en forma espontánea y desordenada, es decir, sin planificación de ninguna especie y que ha crecido sin control alguno de parte de la autoridad competente.

Utilizando un correcto lenguaje no se debería emplear el término Urbanismo No Controlado, sino más bien Zonas de Crecimiento Desordenado de la Ciudad, pues ninguna persona con conocimiento competente en materia de desarrollo urbano ha participado en su ubicación y en su crecimiento.

En el capítulo IV de la Ley Orgánica Vigente de Desarrollo Urbanístico en Venezuela se trata sobre los Desarrollos Urbanísticos Progresivos. Conviene leer con sumo cuidado lo que se expresa en el texto de los artículos 70 a 76 para entender que se trata de una manera elegante de expresar la impotencia de quienes deben, pero no pueden contribuir al desarrollo armónico de la ciudad.

Debido especialmente al alto costo de los terrenos en la ciudad capital y a la escasez de áreas planas disponibles para construir viviendas, los espacios nacidos en forma espontánea tienden a ubicarse en los terrenos en pendiente que conforman las faldas de las colinas que rodean la topografía plana de la ciudad. Estas faldas caraqueñas están constituidas mayormente por suelos residuales y paleo cauces combinados con horizontes expuestos de rocas blandas meteorizadas de tipo metamórfico, en los que existen cicatrices de deslizamientos naturales o de origen antrópico.

La mayor parte de las viviendas que se ubican en estas zonas de crecimiento desordenado son autoconstruidas, dándose algunos casos de edificaciones de varios pisos ejecutadas con materiales aptos, pero sin proyecto profesional alguno que avale su seguridad. Nunca es posible obtener un plano de la vivienda como construida y mucho menos de la disposición de sus aguas servidas. Por lo general y dependiendo de su ubicación, y de los caminos de acceso al sitio donde han sido fabricadas, se trata de viviendas de muy baja calidad que tienden a colapsar cuando ocurren lluvias excepcionales.

Si se detallan las imágenes aéreas secuenciales de la ciudad, tomadas desde el año 1936 hasta el año 2000, por iniciativa de la Cartografía Nacional en del antiguo Ministerio de Obras Públicas de Venezuela, hoy denominado Instituto Cartográfico Simón Bolívar de Venezuela, se podrá determinar que el descontrol de las autoridades competentes ha involucrado a todos los gobiernos, con la excepción del gobierno del presidente Marcos Pérez Jiménez, cuando se atacó fuertemente este flagelo y se construyeron edificaciones de mejor calidad para la clase obrera venezolana.

A pesar del esfuerzo hecho entre los años 1948 y 1958 por evitar la proliferación de ranchos en las laderas, quedaron en pie algunas zonas donde por falta de terrenos para la reubicación de familias enteras no fue posible evacuar los ranchos que todavía se encuentran contruidos en las citadas pendientes.

En las imágenes aéreas que se incluyen en este apartado se pueden reconocer diferentes áreas de la ciudad de Caracas y su crecimiento en los últimos 80 años. Estas áreas incluyen los sectores de El Valle, Coche,

El Cementerio del Sur, San Agustín del Sur, Puente de Hierro, Roca Tarpeya, La Planicie, La Pastora, San José, La Urbina, Petare, Baruta y El Hatillo.

Resultaría sumamente interesante realizar un trabajo secuencial con el programa *Field Map*, diseñado con el empleo de la Geomática, para disponer de mapas actualizados de crecimiento de los sectores no organizados de la ciudad. Esta intención ha sido propuesta por el autor de este trabajo en varias ocasiones, en los últimos 25 años, sin lograr la atención de los despachos ministeriales competentes sobre el tema. Da la impresión de que ningún grupo político venezolano de los que ha actuado en los últimos 58 años desea quedar perfectamente retratado en este tipo de mapa, como ocurrió cuando el autor de este artículo produjo los mapas secuenciales en los que mostraba claramente la fecha de otorgamiento de permisos de construcción en todas las zonas afectadas por el denominado “Deslave de Terrenos del Litoral Central” en fechas anteriores a diciembre de 1999.

5.11. SECTORIZACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA EN URBANISMOS NO CONTROLADOS

La dificultad de acceso a estas zonas y el temor de los vecinos ante la sospecha de ser desalojados por estar ubicados en un área peligrosa desde muchos puntos de vista, no ha permitido sectorizar los terrenos, pese a que se cuenta con modernos métodos para lograr dicha sectorización en tiempo record, con la finalidad de auxiliar a quienes allí viven ante la certeza de que un evento sísmico ciertamente amenaza su integridad física.

Actualmente se cuenta con la ayuda de los DRONES, equipados con cámaras para obtención rápida de fotografías especiales que permiten obtener imágenes de radar que detectan zonas inestables, así como cámaras para obtener imágenes térmicas en ectachrome infrarrojo en las que los tonos color magenta permiten sectorizar zonas de diferentes concentración anormal de humedades que no podrían ser detectadas al analizar los diferentes tonos de verde que se muestran en las fotos obtenidas con las fotos ectachrome convencionales.

Hasta el presente ha resultado sumamente difícil convencer a las autoridades para autorizar vuelos no tripulados sobre las zonas de intervención desordenada de terrenos, aun cuando se les ha expuesto la necesidad de sectorizar la amenaza pendiente sobre los mismos. Algunos profesionales que laboran en los despachos públicos, cuya identificación no se nos ha permitido divulgar, opinan que el costo político de tal autorización es muy elevado en el momento, cuando se habla de convocar próximos procesos electorales.

En muchas oportunidades se utilizan los vuelos realizados para fines de catastro urbano empleando helicópteros en lugar de “drones”; pero el uso de helicópteros no permite utilizar técnicas que si puedan utilizar los “drones” a muy bajo costo. Por ejemplo, los drones pueden ser equipados con cámaras térmicas pequeñas y livianas que se adaptan a su fuselaje y toman centenares o miles de imágenes térmicas que permiten determinar áreas en las que se acumulan las humedades en el suelo.

También permite tomar imágenes térmicas secuenciales (a diferentes horas del día y de la noche) de techos de viviendas y de superficies pavimentadas en concreto asfáltico con el objetivo de separar superficie que presentan alta temperatura de que presenta baja temperatura. Esta técnica nos permitió recientemente caracterizar zonas de pistas de despegue de aeronaves internacionales, de gran tamaño, en las que el calentamiento de las turbinas materialmente quema el cemento asfáltico superficial



Figura 5-5: Vista aérea de un sector ubicado al Este de la urbanización La Urbina en la ciudad de Caracas. Zona aledaña a Petare.²⁷

5.12. INSTRUCCIÓN PRESÍSMICA

Es urgente proporcionar instrucción a los habitantes de viviendas autoconstruidas a fin de prepararlos para la eventual ocurrencia de un terremoto. De acuerdo con lo que se ha podido aprender con el paso de los años, los habitantes de las zonas de bajos recursos económicos son muy reacios a recibir instrucciones de las autoridades competentes para protegerse contra las amenazas de los fenómenos naturales y más bien tienden a prestar mayor atención a lo que les transmiten los actores de la radio y televisión quienes trabajan en novelas de corte popular.

Por ejemplo, en Caracas prestaban más atención a los actores y actrices quienes trabajaban en Radio Caracas Televisión en las novelas que se desarrollaban en los barrios de la capital para el momento cuando se produjeron eventos como el Terremoto de Cuatricentenario de Caracas de 1967. Los escritores de los libretos de estas novelas aprovechaban la oportunidad para poner en boca de los actores más apreciados del colectivo caraqueño popular, las instrucciones maquilladas en lenguaje popular de lo que convenía hacer para protegerse en caso de ocurrir un sismo. Estas instrucciones eran recibidas con mayor atención por los interesados, por el simple hecho de venir de personas apreciadas por ellos quienes hablaban su misma jerga.

La experiencia vivida en Caracas en el año 1967 fue comprobada más tarde en el año 1985 en la ciudad de México, cuando actores de la calidad de Mario Moreno (Cantinflas) y de Pedro Infante, intervinieron en los programas de radio y televisión, previamente preparados por el gobierno, para orientar en forma eficiente a la colectividad con motivo de la ocurrencia del Evento Sísmico como el de 1985. Uno se pregunta ¿Habría algún mexicano quien no tuviera conocimiento de quienes eran estos personajes y dejarían de prestarle su atención cuando se dirigían al público para realizar una tarea tan importante? Lo que sí se puede asegurar es que una gran mayoría de los mexicanos de “a pie” no tenía la menor idea de quién era el representante de la autoridad, en materia de terremotos, que utilizaba los medios de comunicación para orientarles cuando ocurría algún evento de la naturaleza de su competencia.

²⁷ <http://www.diariolavoz.net/2013/02/17/petare-392-anos-de-historia/>

En tales oportunidades conviene reforzar las intervenciones de los expertos en la materia con las intervenciones de locutores y animadores de la confianza del espectador, oyente o lector de los medios de comunicación, a quien se le dirigen instrucciones sobre temas tan especializados como el de los sismos u otros eventos de tipo meteorológico. Se trata de un hecho meramente psicológico, cuya efectividad ha sido comprobada en muchos países del mundo.

5.13. RECOMENDACIONES ANTE LA OCURRENCIA DE UN TERREMOTO

Pese a lo que oportunamente se repite cada vez que se ha producido un terremoto en Caracas o en otra ciudad importante de mundo, existe una tendencia a que los seres humanos actúen en forma contraria a lo recomendado por la experiencia cuando se trata de auto proteger la vida.

El ser humano tiene la tendencia a salir rápidamente al espacio descubierto para evitar ser aplastado por la edificación en donde habita, trabaja o a la que eventualmente visita cuando ocurre un terremoto u otro evento que le pueda comprometer su integridad física.

En la mayoría de las oportunidades cuando el ser humano actúa de esta manera, se percata de que puede resultar más peligroso y riesgoso el salir a cielo abierto porque puede ser golpeado mortalmente por un objeto que caiga de una fachada o atropellado por alguien quien corra por la acera o por la calle vecina a la edificación.

5.13.1. Protección en el interior de una edificación

Como ya ha sido advertido en la [Sección 5.10](#), en forma general, al referirnos a las medidas recomendadas para protegerse durante la ocurrencia de un terremoto en un área urbana, resulta riesgoso salir a cielo abierto desde el interior de una edificación con el objetivo de protegerse contra el posible colapso de la estructura o parte de la misma.

La experiencia ha demostrado que dentro del inmueble existe mayor probabilidad de quedar con vida, o sin consecuencias de heridas, al ubicarse en espacios confinados como los que se generan debajo o a los lados de una mesa, escritorio, cama o cuna de metal resistente.

Se ha dado el caso de alumnos que salvaron su vida en la Escuela Raimundo Martínez Centeno al quedar su cuerpo protegido por pupitres metálicos ([Figura 5-6](#)). Puede notarse que la placa y las vigas del techo cayeron durante el terremoto sobre los pupitres sin destruirlos, quedando un espacio libre en el cual se hubieran podido esconder los estudiantes y habrían salido ilesos del evento sísmico.

Este sistema de protección civil había sido recomendado por el autor de este artículo técnico que había recibido una invitación del Colegio de Ingenieros de Cumana en 1976, para tratar con la colectividad cumanesa sobre los métodos aprendidos de otros terremotos ocurridos en otros países. Nuestra recomendación no fue recibida favorablemente por los cumaneses y fuimos declarados “persona non grata” por actuar irresponsablemente causando pánico entre los asistentes. Se nos considera profetas del desastre. Han tenido que pasar 26 años para que los cumaneses se hayan convencido de que no jugamos el papel del profeta del desastre 26 años antes.



Figura 5-6: Espacio dejado por los pupitres al sostener la losa de techo y las vigas de la estructura.
Terremoto del Pilar, Cumaná 1997.
(Autor: Centeno Werner, 1997).

No ha resultado eficiente el conocido consejo de colocarse siempre debajo del marco de una puerta de una habitación, o dentro del sitio donde existe un baño de un apartamento; pues modernamente los marcos de las puertas no están dotados de dinteles resistentes y las tuberías de agua de casi todos los baños son ahora de material plástico débil.

El tratar de bajar hacia los pisos inferiores de un edificio sometido a la acción de un terremoto utilizando las escaleras o los ascensores es sumamente peligroso, pues se ha podido comprobar que son sitios donde han ocurrido numerosas muertes durante y después del evento sísmico.

Lo relacionado con la eficiencia del denominado triángulo de la vida parece ser cierto, pero la persona queda expuesta a ser gravemente herida en la cabeza por la caída de pedazos de friso provenientes del techo de la habitación y no bajo una mesa de materiales resistentes. Hoy día se discute mucho la eficiencia del triángulo de la vida, aunque no se niega en forma absoluta.

Una medida de protección mandataria es el corte de la electricidad y del gas doméstico en el interior de las viviendas, lo cual es una labor de primera necesidad al ocurrir un temblor fuerte en el inmueble. Tal medida evita que se pueda producir un incendio cuyos resultados lleguen ser peores que los ocurridos por el sismo.

El empleo de camas, cunas y mesas escritorios y pupitres escolares, contruidos con patas de metal fuerte, ha resultado muy eficiente para soportar el peso y el impacto que causa una losa de concreto armado al desplomarse sobre ellos, tal y como ha sido comprobado fehacientemente en el caso de las edificaciones del Hospital Benito Juárez de Ciudad de México, en 1985, y en la Escuela Raimundo Martínez Centeno en Cariaco, Venezuela, en 1997. Los bebés rescatados en cunas metálicas en el Hospital Benito Juárez de Ciudad de México, cuya estructura colapsó como se indica en la **Figura 5-7**, salieron ilesos del evento sísmico, lo cual fue considerado un hecho milagroso por los mexicanos de la época, sin saber que es la manera más eficiente de proteger pacientes de esta naturaleza en caso de terremotos. Los bebés no son seres aprensivos al quedar confinados bajo escombros acostados en cunas de acero, pues están acostumbrados a la oscuridad en el vientre de sus madres, y nunca antes han sentido ser víctimas de un terremoto, como si lo han sentido personas adultas, a quienes les ha tocado quedar atrapadas en espacios confinados en estas condiciones. El adulto siente el temor que produce el quedar atrapado sin poder salir; el bebé nunca ha sentido este tipo de temor y por ello tiende a resistir más que el adulto.



Figura 5-7: Colapso de la estructura del Hospital Benito Juárez en Ciudad de México en 1985. Fueron rescatados infantes en áreas confinadas en sus cunas metálicas resistentes a impactos. (Autor: Centeno Werner, 21 de septiembre de 1985).

Como se puede apreciar en la **Figura 5-7** el rescate de infantes vivos fue una labor muy difícil, pero realmente satisfactoria. Todavía recordamos la gratitud de sus padres y otros familiares, quienes nos abrazaban de felicidad al entregarles sus niños acompañados por los oficiales del ejército y de Protección Civil. La entrega constituyó un acto muy bien controlado por las autoridades, por cuanto la misma debe ser realizada dejando constancia de que la unidad de rescate observó todo el cuidado exigido por las autoridades judiciales para no agravar la situación de la persona rescatada. Esta es una condición muy riesgosa del rescate realizado para el especialista quien lo dirige, pues debe tener testigos confiables de su correcta actuación como experto en el material. Por lo no es fácil presentarse en un evento internacional como experto en labores de rescate.



Figura 5-8: Especialistas en rescate.

Protección personal de los especialistas en rescate para tener acceso a los sitios de edificaciones colapsadas. El carnet de identificación debe ser aprobado por la autoridad competente para poder tener acceso a edificaciones colapsadas. (Autor: Lescarboursa, 21 de septiembre de 1985).²⁸

²⁸ Julio Lescarboursa. Miembro de la Brigada Internacional de Rescate de Venezuela.



Figura 5-9: Disposición de tiendas de campaña.

Fueron dispuestas para atender a familiares de los damnificados e identificar plenamente a los desaparecidos en la edificación colapsada. (Autor: Lescarboursa, 21 de septiembre de 1985).

5.14. RESCATE DE EN CASO DEL URBANISMO NO CONTROLADO

Es muy probable que por la forma desordenada con la que se ubican las viviendas en estas zonas, resulte imposible utilizar la vialidad interna para trasladar heridos rescatados de las viviendas colapsadas, pues la misma es inexistente y las viviendas se ubican adosadas a otras vecinas.

En tal sentido, el traslado de heridos se debe realizar a pie y en camillas rústicas, hasta llegar a un sitio donde se pueda contar con un sistema de transporte rápido y seguro. Por otra parte, no se puede asegurar que la vialidad perimetral funcione adecuadamente, pues bien puede quedar interrumpida por derrumbes y deslizamientos de tierra cuando se produce el terremoto.

Lo más conveniente es escoger anticipadamente un lugar estable y seguro para instalar un helipuerto local en el tope de la zona perfectamente demarcado, señalado e instrumentado como lo exigen las normas de la aviación civil. Este sitio deberá ser protegido contra invasiones y debidamente iluminado para poder operar en horas nocturnas. Se debe llegar a un acuerdo con la junta vecinal para que sus directivos se ocupen del mantenimiento de helipuerto y garanticen como sociedad su condición de **ÁREA NO INVADIBLE** por ranchos.

La municipalidad debe realizar los trámites necesarios y suficientes para obtener del Instituto Nacional de Aviación Civil la documentación requerida para el diseño, proyecto, construcción y operación de helipuerto de emergencia en el que puedan operar hasta dos (2) unidades sugeridas por la Aviación Militar que opera en el Aeropuerto La Carlota de Caracas. El helipuerto no debe operar como instalación de emergencia hasta disponer del permiso correspondiente del INAC, este permiso debe ser tramitado con la urgencia del caso, para que la instalación logre ser construida a la mayor brevedad posible, por cuanto el sismo no espera y puede ocurrir en cualquier momento.

5.15. ¿ES POSIBLE PRONOSTICAR TEMPRANAMENTE LA OCURRENCIA DE UN TERREMOTO?

Pronosticar la ocurrencia de un terremoto en una determinada ciudad del globo terráqueo implica dar una información precisa y certera de su Magnitud en la Escala de Richter, su duración y la fecha y hora de su ocurrencia. Esta predicción, así definida, no se ha logrado hasta el presente. En los casos en que se han realizado predicciones acertadas, los cuales son escasos, ello ha sido catalogado por los científicos como “un pegón”, que no es otra cosa que un acto de suerte que nada tiene que ver con la ciencia de la predicción.

En algunos textos se mencionan pronósticos tempranos acertados de terremotos hechos por medio de mediciones realizadas de los cambios del magnetismo en la superficie de la tierra, bien conocidos en la ciencia como anomalías magnéticas de la superficie terrestre.

También se ha recurrido, a la medición de la concentración del gas RADÓN en la boca de los pozos profundos, utilizados para el suministro de agua potable en zonas urbanas, con el propósito de hacer pronósticos tempranos de terremotos,

En el año 1968 solíamos recibir invitaciones de nuestro apreciado amigo y colega el Dr. Luis Urbina Luigi presidente del recién creado Instituto Venezolano de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), con el fin de participar en conversatorios relacionados con los métodos que eran empleados en esa época para la predicción temprana de terremotos. Fue en esa oportunidad cuando nos enteramos de que los rusos venían empleando la correlación entre el aumento de la concentración del gas Radón en los pozos de agua subterránea y la ocurrencia casi inmediata de terremotos. Ello sin duda alguna habría constituido una técnica de mucha importancia para la prevención de desastres de origen sísmico.

El permanente enfrentamiento entre los investigadores científicos norte americanos y rusos de la época de la guerra fría, no conllevó a obtener resultados positivos sobre tal correlación. Aún en el año 2017 se considera que no están dadas las condiciones para aseverar que el aumento de la concentración de Gas Radón en los pozos de agua subterránea tenga que ver con la ocurrencia casi inmediata de un terremoto.

Sin embargo, como ha sucedido en otras investigaciones científicas, no siempre lo que se persigue en una investigación original, ha resultado en una pérdida del valor de tal investigación, y se dispone del caso del trabajo científico del Dr. Alexander Fleming cuando en 1928 fue descubierto el hongo *penicilum notatum* como el antibiótico más importante del mundo para curar infecciones causadas por el *staphylococcus aureo* y por la gangrena en los heridos de la primera Guerra mundial. El Dr. Fleming y sus asociados recibieron el premio Nobel de Medicina en 1945 en reconocimiento a tal descubrimiento, que ha servido para salvar hasta hoy varios millones de vidas.

Con los aumentos de la concentración del Gas Radón en los sótanos de las viviendas ha sucedido algo similar, pues se ha logrado demostrar fehacientemente que cuando dicha concentración excede 150 mili bequerel/mes la probabilidad de que se produzca cáncer de pulmón es extremadamente alta. En los Estados Unidos de Norteamérica es mandatorio hoy día realizar mediciones de dicha concentración en los sótanos de las viviendas para garantizar que no se exceda el valor recomendado por los médicos cancerólogos. Para conocer más sobre este interesante tema se recomienda consultar la página web: <http://www.vivesinradon.org/> relacionada con la Nota Descriptiva de la Organización Mundial de la Salud N° 291 de septiembre de 2009.

En dicha hoja se describe todo lo investigado hasta esa fecha sobre el material con el fin de proteger la salud.

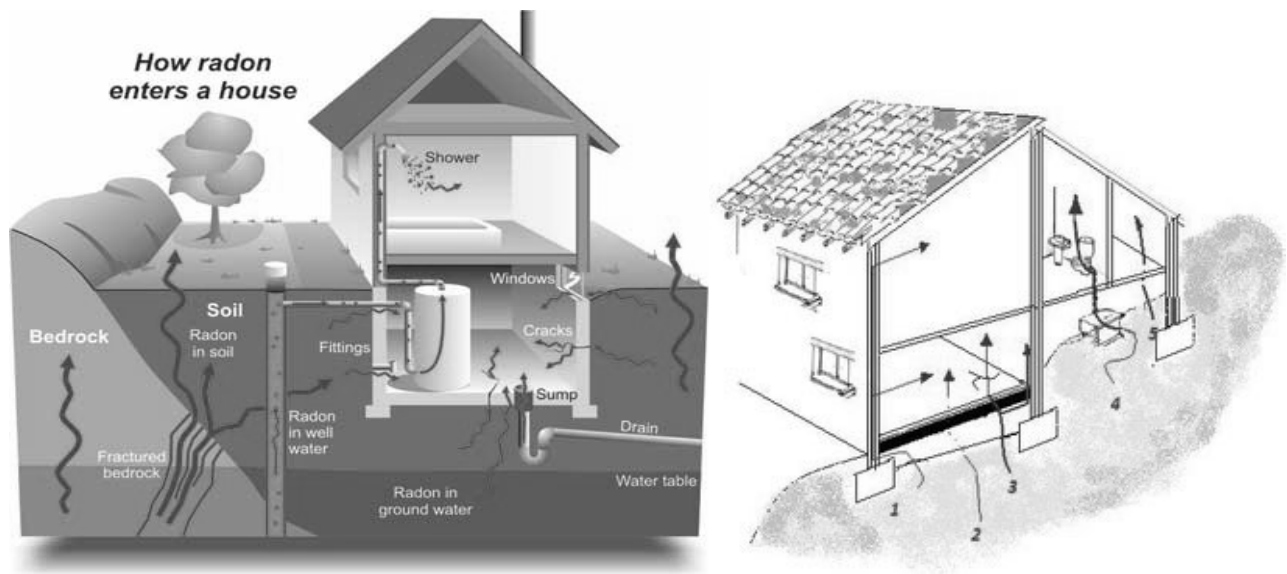


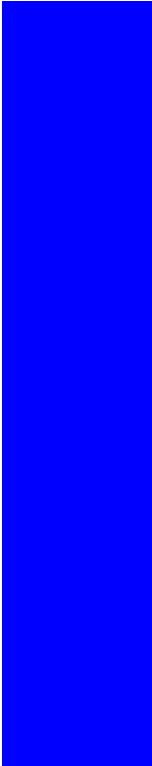
Figura 5-10: Gas Radón en inmuebles.²⁹

²⁹ <https://www.renovablesverdes.com/gas-radon/>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales. “Diseño Sismo resistente. Especificaciones Y Criterios Empleados en Venezuela”. Coordinador José Grases Galofré Edición Conmemorativa de los Treinta Años del Terremoto de Caracas del 29 de Julio de 1967. Julio de 1997.
- Álvarez Pedro Icaza Longoria, “Aplicaciones de la geomática para la toma de decisiones”. Revista Internacional de Estadística y Geografía, Vol. 3 Núm. 1 enero-abril 2012, México.
- Arnal Mayerston Eduardo. (3) Universidad Católica Andrés Bello. Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica “Renovar las Enseñanzas del Terremoto de Caracas de 1967”. P 92. Julio 21 y 22, 1997.
- Audemard. M Franck y Singer Andre. (2) Universidad Católica Andrés Bello. Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica. “La Ingeniería de Fallas Activas en Venezuela. Historia y Estado del Arte” pp 11, julio 21 y 22, 1997.
- Balao, Jesús. Segundas Jornadas de Ingeniería Sísmica SOCVIS; UNIMET; A.V.P.C SIDETUR. “El Seguro Contra Terremotos” Caracas 1-2 de junio de 1990.-
- Carrillo Pimentel, Pedro.(5). Universidad Católica Andrés Bello. Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica. “Estado de la Ingeniería de Suelos para Julio de 1967.” pp 38, Julio 21 y 22, 1997.
- Castilla. C , Enrique. Segundas Jornadas de Ingeniería Sísmica SOCVIS; UNIMET; A.V.P.C, SIDETUR. “Experiencias Recientes en Mampostería Confinada Sismo Resistente” Caracas 1-2 de junio de 1990
- Centeno Grau. Dr. Melchor. Academia Nacional de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales “Estudios Sismológicos” Catálogo de Sismos Ocurredos en Venezuela desde el Siglo XVI hasta el año de su fallecimiento en 1949. Reedición en 1969 por Cartografía Nacional de la Publicación original realizada por Litografía del Comercio en 1940.
- Centeno Pulido. Francisco Antonio. “Inspección de la Integridad de Fustes y Fondos de Pilotes Vaciados en Sitio en las Líneas I. II y III del Metro de Caracas y en la línea I del Metro de Panamá Ciudad de Panamá. Método de Cross Hole. Panamá City. 2016.-
- Centeno Rodríguez y Asociados. Ingenieros Consultores. Reportes Varios de Instrumentación de Túneles y Estructuras Civiles de la Línea II del Metro de Los Teques. Caracas 2009-2015.
- Centeno Werner, Roberto Rafael. “Riesgo Geotécnico Inducido por Sismo en la Zona de Lecherías Estado Anzoátegui Memorias IV Congreso de Sismología e Ingeniería Sísmica. Volumen 2. Barquisimeto 1984.
- Centeno Werner, Roberto Rafael. Expositor Principal en el Seminario de Ingeniería de Emergencia. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 1987.
- Centeno Werner, Roberto Rafael. Expositor Principal en la Dirección de Protección Civil del Municipio Chacao sobre el caso de la visita efectuada a la Ciudad de México con motivo del Terremoto de septiembre de 1985. Conferencia para el Cuerpo de Bomberos del Estado Miranda.
- Denis Rodríguez y José Bolívar. (21). Universidad Católica Andrés Bello. Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica. “Adecuación Sismo Resistentes de Edificios Estudio de un Caso.” p 104, Julio 21 y 22, 1997.
- Echezuría, Heriberto. (9) Universidad Católica Andrés Bello. Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica. ” Modificaciones de la Aceleración y el Período Fundamental con Suelos Blandos bajo Carga Sísmica” p 63. Julio 21 y 22, 1997.
- Englekirk. E. Robert y Hart, Gary. Concrete Association of California and Nevada. “Earthquake Design of Concrete Masonty Buildings, Volume 1. Response Spectra Analysis. Prentis Hall.inc Englewood Clifts. New Jersey 07632.USA.1982
- Grases Galofré José. El al. Historia de la Ingeniería Estructural en Venezuela”. Volumen 1. Diversos autores de artículos y libros de ingeniería sismo resistente y otros temas. Impresos Minipres C.A. Caracas mayo de 2016.
- Grases Galofré, José (10). Segundas Jornadas de Ingeniería Sísmica SOCVIS; UNIMET; A.V.P.C, SIDETUR. “Peligro Sísmico con fines de Ingeniería”. Caracas 1-2 de junio de 1990.
- Grases Galofré, José. (10) Universidad Católica Andrés Bello. Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica.” Apuntes sobre la ingeniería sísmica antes del terremoto de Caracas de 1967”. Julio 21 y 22, 1997.
- Grases Galofré, José. “Ingeniería Sismo Resistente en Venezuela. Cronología de una Nueva Disciplina. Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Décimo Aniversario. Entre Siglo y Siglo. Fondo Editorial de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Caracas 2009
- Guevara Pérez, Luisa Teresa Arquitecto. PhD. Segundas Jornadas de Ingeniería Sísmica SOCVIS; UNIMET; A.V.P.C, SIDETUR.” Consideraciones Arquitectónicas en el Comportamiento Sismo Resistente de Viviendas de Altura Media” Caracas 1-2 de junio de 1990.
- Iglesias, Jesús. Segundas Jornadas de Ingeniería Sísmica SOCVIS; UNIMET; A.V.P.C SIDETUR.” Reconstrucción de la Ciudad de México después de los Sismos de 1985”. Caracas 1-2 de junio de 1990.
- López, Oscar Andrés. Segundas Jornadas de Ingeniería Sísmica SOCVIS; UNIMET; A.V.P.C, SIDETUR. “Caracterización de Acciones Sísmicas en Obras Especiales”. Caracas 1-2 de junio de 1990.
- Malaver, Alfonso. Segundas Jornadas de Ingeniería Sísmica SOCVIS ; UNIMET; A.V.P.C SIDETUR. “El Sismo de Boca de Tocuyo del 30 de abril de 1989” Caracas 1-2 de junio de 1990.-

- Parra, Ender. (17) Universidad Católica Andrés Bello. Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica. Influencia del Estado Dilatante de los Suelos en la Respuesta Dinámica de los Perfiles Geotécnicos; p 51. Julio 21 y 22, 1997.
- Pestana, Juan Manuel. (20) Universidad Católica Andrés Bello. Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica. “Modelaje Numérico de Interacción Suelo Estructura para fundaciones de pilotes bajo Carga Sísmica.”. p 77. Julio 21 y 22, 1997.
- Saragoni H. G. Rodolfo Influencia del Mecanismo El Paso y El Suelo en el Daño Potencial de Grandes Terremotos en Ciudades Latinoamericanas. Ingeniero Jefe de la División Dirección de Estructura Construcción. Universidad de Chile. AS-90 Seminario 2000 Desastres Sísmicos. Editores Lafuente Marianela. et al. “Desastres Sísmicos Desarrollo”. Publicado por Centro de Ingeniería Sísmica. (CESIS) Instituto de Materiales y Modelos Estructurales. Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela“. Febrero de 2000.
- Tapia Galvan, Manuel (26). Segundas Jornadas de Ingeniería Sísmica SOCVIS; UNIMET; A.V.P.C, SIDETUR. “Interacción Suelo Cimentación Estructura Bajo Fuerzas Sísmicas” Caracas 1-2 junio de 1990.
- Whitman, Robert V. (30). Consultor del Massachusetts Institute of Technology de la Comisión Presidencial para EL Estudio del Terremoto de Caracas de 1967 “Efecto de las condiciones del suelo en el daño producido a las estructuras por el terremoto de Caracas del 29 de Julio de 1967”. Noviembre de 1969.



6. SOBRE VULNERABILIDAD, RESILIENCIA Y EL USO DE DISPOSITIVOS MECÁNICOS PARA LA PROTECCIÓN SÍSMICA DE ESTRUCTURAS ³⁰

**Autores: Carlos Genatios
 Marianela Lafuente**

³⁰ Este artículo incluye aspectos desarrollados más extensamente en un libro publicado por la CAF: Genatios, C. Lafuente, M. (2016) “Introducción al uso de aisladores y disipadores en Estructuras”. CAF, Caracas, Nov. 2016

RESUMEN

La alta vulnerabilidad de ciudades como Caracas impone la necesidad de establecer un programa de rehabilitación y refuerzo de edificaciones, así como de toda la infraestructura en general. Dada la magnitud del esfuerzo, y el alto costo de esta tarea, deben ser establecidas prioridades como parte del proceso de planificación. Es necesario que este proceso se centre en criterios orientados al fortalecimiento de la resiliencia, con los objetivos principales de disminuir significativamente los riesgos de ocurrencia de desastres y establecer mecanismos de rápida recuperación de la operatividad y seguridad de la ciudad.

Las normativas vigentes para diseño el sismorresistente de edificaciones, están principalmente orientadas a evitar las víctimas fatales ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud; dentro de esa filosofía, se permite que se produzcan daños en elementos estructurales y no estructurales, lo que trae como consecuencia que estructuras importantes, como hospitales y centros públicos de atención a emergencias, puedan sufrir daños que impidan su inmediata funcionalidad luego de la ocurrencia de un terremoto, justo cuando son más necesarias.

Acciones importantes para contribuir a fortalecer la resiliencia de las ciudades son las relacionadas con la rehabilitación y reforzamiento de estructuras existentes, a fin de disminuir su vulnerabilidad sísmica. Los dispositivos de protección sísmica como aisladores y disipadores de energía han probado ser efectivos en estas tareas. Este trabajo presenta algunos lineamientos para entender su comportamiento y aplicación. Al final del artículo, a manera de conclusión, se incluyen consideraciones económicas sobre su uso.

6.1. INTRODUCCIÓN: SOBRE LOS REQUERIMIENTOS DE REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS.

El terremoto de Caracas de Julio de 1967, afectó muchos edificios que hoy están operativos. Se requiere su evaluación para definir procesos de rehabilitación y readecuación sísmica, ya que se trata de edificaciones antiguas, con diseños estructurales deficientes en términos de dimensionamiento y detallado, no adaptados a los requerimientos de seguridad sísmica hoy vigentes; además, estas edificaciones fueron sometidas a un sismo importante, por lo que pueden ser vulnerables ante la acción de un terremoto. Como éstas, numerosas edificaciones en Caracas han sido diseñadas con códigos y criterios sísmicos que eran vigentes para el momento de su construcción, pero que hoy que ya no son considerados suficientes para garantizar su seguridad según las nuevas normativas.

En un estudio realizado en 2013 y 2014, se analizaron las normativas de análisis y diseño sísmico de edificaciones, en 9 países de la región: Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Perú, República Dominicana, USA y Venezuela. El estudio puso en evidencia que la norma venezolana COVENIN-MINDUR 1756-2001 requería de revisiones, y que el país presenta un importante retraso en el desarrollo y actualización de otras normas necesarias para garantizar la seguridad sísmica de viviendas, edificios, instalaciones e infraestructuras (Lafuente et al, 2014).

Un factor importante asociado a la vulnerabilidad de las edificaciones de Caracas, es el relativo a la cuestionada calidad de edificaciones de vivienda construidas por el gobierno nacional en los últimos 8 años, en el operativo llamado Gran Misión Vivienda Venezuela. En efecto, se tienen dudas importantes en relación con la calidad de los diseños, el cumplimiento de los requerimientos normativos, los estudios de sitios requeridos y los materiales utilizados. La vulnerabilidad de estas edificaciones ya ha sido demostrada por algunas fallas que han aparecido en numerosos desarrollos, como por ejemplo en Ciudad

Caribia, por lo que una evaluación detallada de estas estructuras es recomendable a fin de establecer los programas de rehabilitación que sean necesarios para garantizar la seguridad de sus habitantes.

No puede dejar de mencionarse que, al igual que en casi todas las ciudades latinoamericanas, en Caracas, una gran parte de la población, cerca de un 60%, habita en viviendas informales, construidas por los propios habitantes, sin el menor criterio ingenieril y en particular, sismorresistente, con lo que son altamente vulnerables ante un eventual terremoto. El Gobierno ha realizado inversiones en algunas mejoras de los asentamientos informales, pero no han incluido acciones tales como el refuerzo estructural de las viviendas, adecuación de fundaciones ni demoliciones de las estructuras más peligrosas. No puede olvidarse que muchas de las viviendas que hoy tienen hasta 7 u 8 pisos, fueron débiles ranchos inicialmente, y sus fundaciones no tienen una mínima capacidad de soporte para las masas considerables que han sido colocadas sobre ellas. Adicionalmente, muchos de los suelos han sufrido meteorizaciones por la ausencia de drenajes y cloacas. En fin, la vulnerabilidad de los sectores marginales de Caracas es alarmante.

Este panorama vulnerable de Caracas, muestra que la ciudad presenta mucho más riesgo de ocurrencia de un desastre de origen sísmico, que la Caracas de 1967. Todo esto señala que la rehabilitación o reforzamiento de estructuras existentes, es una tarea urgente que requiere de la definición e implementación de estrategias y de la planificación de mecanismos de desarrollo de la resiliencia. El uso de aisladores sísmicos y de disipadores de energía, son metodologías de vital importancia que deben ser consideradas en los procesos de reforzamiento estructural de la ciudad. Es por esta razón, que este artículo presenta los aspectos fundamentales relativos a estas metodologías mencionadas.

6.2. DEL PASO DE EVITAR EL COLAPSO DE ESTRUCTURAS A HACER RESILIENTES LAS CIUDADES.

Los desastres producidos por terremotos generan grandes pérdidas tanto de vidas como económicas. De los 10 desastres naturales que generaron mayor cantidad de pérdidas económicas en el mundo en los últimos 25 años, 6 fueron terremotos (algunos con tsunamis), que causaron pérdidas por 497.000 millones de US\$, 62% del total de 771.000 millones de US\$, producidos por los 10 peores desastres (Munich Re, 2016).

El terremoto de San Francisco del de abril de 1906 (**Figura 6-1**) ocurrió casi 30 años antes del establecimiento de la escala Richter. Se acepta que su magnitud estimada es de $7.9M_w$, aunque en algunas referencias se estima en un rango de 7.9 a $8.6 M_w$, con una intensidad Mercalli de XI. San Francisco era la sexta ciudad en población de Estados Unidos y la más importante de la costa oeste. En un principio se estimó un número de víctimas de 183, pero posteriormente se reveló que eran más de 3000. Esto lo convierte en el segundo desastre natural con más víctimas en EEUU, luego del huracán de Galveston, Texas, de 1900, que causó entre 6000 y 12000 víctimas. Pero el desastre, que tuvo como origen el terremoto, cobró más víctimas por los incendios que sucedieron después del movimiento telúrico: una treintena de incendios que afectaron a la ciudad durante 4 días. 80% de la ciudad fue destruida, y el 90% de los daños fueron debidos a los incendios. La ciudad tenía 410.000 habitantes y la destrucción abarcó 25.000 edificios y 490 cuadras. Más de 250.000 personas perdieron su vivienda. El terremoto destruyó el sistema de distribución de aguas y los bomberos tuvieron grandes limitaciones para detener los incendios. Si se hubiera garantizado el servicio, el desastre habría sido menor.

El caso del Gran Terremoto de Kanto, Japón, de 1923, de magnitud $7.9 M_w$, es similar: el saldo de daños y víctimas fue causado en gran parte por el incendio post-terremoto: 100.000 víctimas. Una vez más, la destrucción de los sistemas de distribución de agua y de las facilidades de los bomberos, complicaron la

extinción del fuego. Más de 30.000 personas fallecieron en el centro de Tokyo por el incendio de una zona de refugios (**Figura 6-2**). Muchas muertes habrían podido evitarse.



Figura 6-1: La ciudad de San Francisco en llamas, luego del terremoto de 1906.
(By Pillsbury Picture Co. [Public domain], via Wikimedia Commons)³¹



(a)



(b)

Figura 6-2: Incendio en Kanto. (a) Nubes producidas por el incendio (b) Edificio Metropolitano de Policía.³²

Los cuarteles de bomberos son ejemplos de estructuras importantes que deben continuar operativas después de los sismos. No basta con preservar la vida de los bomberos, necesario es también garantizar que puedan prestar sus servicios. Después del movimiento telúrico, muchas muertes se producen por explosiones de gas e incendios no controlados. Este es un factor a tomar en cuenta para mitigar las consecuencias de los desastres.

El terremoto de Haití de 2010, de magnitud 7.0 M_w , generó numerosas víctimas, con estimaciones diversas; Munich Re reporta 159.000 víctimas, mientras que el gobierno haitiano reportó más de 316.000. Luego del terremoto, el insuficiente sistema de recolección de aguas servidas de Port-au-Prince colapsó, y al no contar con las capacidades para su rápida puesta en servicio, se produjo una epidemia de cólera que cobró unas 4000 víctimas adicionales. El origen de esta epidemia fue la presencia de cascos azules de la ONU (Organización de las Naciones Unidas) de origen nepalés, país en el cual el cólera es todavía endémico.

³¹ https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ASan_francisco_fire_1906.jpg

³² https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AClouds_of_conflagration_caused_by_Great_Kanto_earthquake.JPG ;
https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AMetropolitan_Police_Office_after_Kanto_Earthquake.jpg

Para hospitales, se toman en cuenta un sismo de diseño con una probabilidad de 5% de excedencia en 50 años de vida útil de la estructura. En los códigos usualmente se aumentan las cargas sísmicas de diseño con un coeficiente relacionado con la importancia de la edificación. Sin embargo, la experiencia muestra que esto no es suficiente; en muchos casos de eventos sísmicos, se producen daños importantes en hospitales, tanto en elementos estructurales y no estructurales como en los equipamientos, que impiden su operatividad inmediata después de los eventos. Esto afecta la prestación de servicios a las víctimas y la atención de la emergencia. La filosofía del diseño sísmico está cambiando para tomar en cuenta estos requerimientos de desempeño de estructuras estratégicas en caso de sismo. La idea de resiliencia, de recuperación y operatividad inmediata de ciertas estructuras e infraestructuras de servicios, después de los eventos naturales, es central en esta nueva filosofía.

Después del terremoto de Kobe de 1995, se analizó la situación de los hospitales afectados; cuatro años después, muchos de los problemas originados por el terremoto en estas instalaciones, todavía no habían sido resueltos. De la totalidad de hospitales de la ciudad, se seleccionaron 80 y de estos se logró recopilar información de 52, los cuales fueron divididos en 3 grupos, de acuerdo a la gravedad de los daños: hospitales muy dañados (28 que fueron afectados en el 50% o más de sus capacidades, o en los que la recuperación del servicio de agua potable tomó más de 2 meses luego de ocurrido el terremoto); los hospitales de daño moderado (8 hospitales cuyo suministro de agua fue cortado por algún tiempo luego de la ocurrencia del terremoto o cuyo servicio de electricidad tomó 6 horas o más en ser restituido), y hospitales con daños poco considerables (16 hospitales que pudieron prestar sus servicios ordinarios dentro de los 30 minutos posteriores al terremoto) (Miyamoto, M. et.al. 1999).

En el terremoto de Chile de 2010, se hizo un análisis de los daños en hospitales, daños estructurales, no estructurales y tiempos de recuperación. Fueron afectados 130 hospitales (71% de todos los hospitales del país), de los cuales 4 fueron totalmente inoperables, 12 tuvieron pérdidas en más del 75% de su funcionalidad, 8 operaron sólo parcialmente luego del terremoto y 62% requirieron reparaciones. Los daños totales causados por el terremoto fueron estimados en unos 30.000 millones de US\$ (EERI, 2010). La **Figura 6-3** y **Figura 6-4** muestran hospitales con daños estructurales que impidieron sus operaciones, y la **Figura 6-5** muestra daños no estructurales que impidieron el funcionamiento de otro hospital.



Figura 6-3: Hospital del Seguro Social dañado por el terremoto de México, 1985.³³

³³ https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3A1985_Mexico_Earthquake_-_Damaged_Social_Security_Hospital.jpg

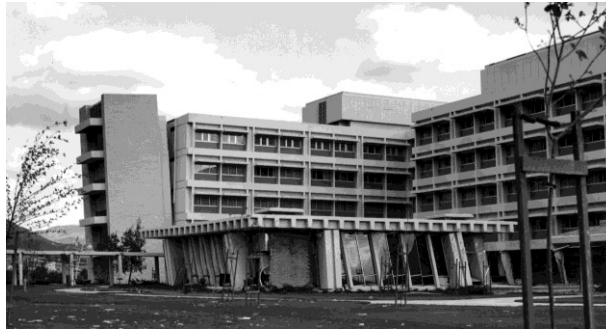


Figura 6-4: Hospital de Olive View dañado por el terremoto de San Fernando 1981.³⁴



Figura 6-5: Hospital con daños no estructurales, terremoto de Chile 2010.
(EERI, 2010)

Frente a esta realidad, las normas sísmicas vigentes en muchos países, mantienen una filosofía basada en aceptar ciertos niveles de daños en las estructuras, a fin de preservar la seguridad y la vida de las personas. Esta filosofía de diseño establece que la estructura:

- debe resistir sin daños los sismos frecuentes,
- resistir con daños reparables (incluyendo en elementos no estructurales) los sismos intermedios,
- no colapsar y salvar vidas, aunque resulte inservible, luego de la ocurrencia de terremotos de importante magnitud, con probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, o de 5% en el caso de estructuras especiales como hospitales y cuarteles de bomberos, entre otros.

Adicionalmente, en pocos casos se verifican, por medio del análisis estructural, que se cumplan las condiciones relativas a las limitaciones de daños en elementos no estructurales, importantes para garantizar la funcionalidad de la estructura luego de un terremoto.

Este análisis arroja dos conclusiones:

³⁴ https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AUSGS_-_1971_San_Fernando_earthquake_-_Olive_View_Hospital_-_Partially_detached_stairway.jpg

- Es necesario incrementar esfuerzos en la prevención y reducción de riesgos de desastres para evitar pérdidas humanas y económicas. Para ello es necesario disminuir las vulnerabilidades de edificaciones importantes, y de las ciudades.
- Es necesario que las sociedades/ciudades puedan recuperarse lo más pronto posible de los desastres, ya que de no ser así, la situación de calamidad que vive la población y la paralización de las actividades económicas y sociales, se complican y generan otros desastres. Para lograr esa pronta recuperación es necesario reforzar la resiliencia. Esto indica que es necesario establecer limitaciones a los daños estructurales y no estructurales que puedan sufrir las estructuras fundamentales para el funcionamiento de la ciudad, con la ocurrencia de sismos importantes.

Es fundamental reducir la vulnerabilidad y reforzar la resiliencia. La atención de la emergencia que genera el sismo, exige considerar requerimientos de desempeño de “operatividad inmediata” para aquellas estructuras que se consideren indispensables a fin de solventar la situación.

La aceptación de niveles de daño reparables, para sismos intermedios y de grandes niveles de daño para sismos excepcionales, trae importantes consecuencias económicas y operacionales para los propietarios o los usuarios de las edificaciones. Muchos de ellos podrían no estar de acuerdo con que la edificación de su propiedad, o donde habitan, haya sido construida para sufrir daños importantes con sismos de probable ocurrencia. En ciertos casos, el desconocimiento de estas características del diseño sismorresistente, llega a acarrear problemas legales. Esta es otra consideración a favor de la limitación de los daños en estructuras luego de la ocurrencia de terremotos.

Es fundamental fortalecer la resiliencia de las ciudades: es necesario que, después de un sismo, funcionen infraestructuras como por ejemplo las redes de electricidad y telecomunicaciones, las vías principales, los puentes, y también zonas y comercios de almacenamiento y distribución de alimentos e insumos para la construcción, entre otros. Los criterios de resiliencia implican la necesidad de incrementar los niveles de seguridad en la consideración de las solicitudes prescritas para el diseño sísmico, e imponen nuevas exigencias tecnológicas a fin de lograr el desempeño estructural deseado. (Mahin, S. 2012).

El establecimiento de criterios y prioridades necesarias para la reducción de riesgos de desastres y para la rápida recuperación post-terremoto, debe ser planificado antes de la ocurrencia de una catástrofe. La ingeniería sísmica debe hacer esfuerzos por atender esta situación, más allá de las normativas para edificios.

Este impone, para los especialistas en ingeniería sismorresistente, el desarrollo de capacidades de diálogo y planificación, con especialistas de otras disciplinas, como planificadores urbanos, médicos y directores de hospitales, cámaras de comercio, etc.

Por otro lado, es necesario desarrollar esfuerzos importantes para generar innovaciones tecnológicas que permitan que los logros en reducción de vulnerabilidad y fortalecimiento de la resiliencia, puedan ser accesibles a las mayorías, con pocos recursos. También es necesario revisar la aplicación del criterio de vida útil de una estructura, el cual es poco respetado en la mayoría de los países. La vida útil de una estructura impone la recertificación luego de transcurrido el número de años que la define, con lo que deben aplicarse los códigos modernos, y las estructuras deben reforzarse, acarreando consecuencias económicas involucradas en esa rehabilitación. Esto debe formar parte de la planificación y el desarrollo urbano.

6.3. DESARROLLO TECNOLÓGICO Y REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN INGENIERÍA SÍSMICA.

Desde hace algunas décadas se han implementado de manera consistente, soluciones basadas en tecnologías de protección sísmica que permiten un comportamiento más seguro y confiable de las estructuras. Los aisladores sísmicos, los disipadores de energía, y en general, los sistemas de control de respuestas sísmicas, pueden ser utilizados con la finalidad de alcanzar objetivos de desempeño que pueden ir, desde el estándar tradicional de permitir severos daños en la estructura sin que se produzca colapso, a fin de preservar las vidas ante sismos previamente determinados en las normas, hasta estándares mucho más exigentes, que garanticen control y limitación de daños (estructurales y no estructurales) producidos por terremotos, llegando inclusive a garantizar funcionalidad luego de ocurrido un terremoto.

Un aislador sísmico permite que se transmita a la estructura sólo una pequeña parte de la energía del sismo, y de esa manera la estructura sufre pequeñas deformaciones, principalmente en el rango elástico, sin sufrir daños, y hasta puede llegar a comportarse como un cuerpo rígido. Esto trae importantes simplificaciones en el detallado y en la protección de elementos no estructurales. Esto también trae ventajas tales como mayores posibilidades para el diseño arquitectónico, así como una mayor variedad de materiales y componentes estructurales. El aislamiento sísmico también genera mecanismos de concentración de daño, en el mismo aislador, lo cual, de ser previsto en el diseño, permite que la estructura recupere su operatividad en periodos de tiempo muy cortos, o inclusive, de manera inmediata luego de la ocurrencia de un terremoto. De poder concentrarse los daños en los aisladores (los cuales se asocian a grandes deformaciones en los aisladores) la reparación del sistema estructural y su puesta en funcionamiento con capacidad de resistir nuevos terremotos (y así, recuperar el periodo de vida útil de la estructura) va asociada a la reparación o sustitución de los aisladores afectados y la estructura no sufre daños.

Los disipadores de energía utilizados en sistemas de control pasivo de estructuras, son, generalmente, dispositivos sencillos que muestran un comportamiento inelástico estable y predecible, cuando son sometidos a cargas sísmicas. Estos dispositivos pueden mejorar el comportamiento de la estructura, si han sido incluidos en el diseño las adecuadas consideraciones sobre las características de la estructura, los disipadores y el suelo.

6.4. AISLADORES SÍSMICOS

Su funcionamiento consiste en incorporar un piso flexible que evita transmitir todas las fuerzas sísmicas a la estructura (**Figura 6-6 a) y b)**).

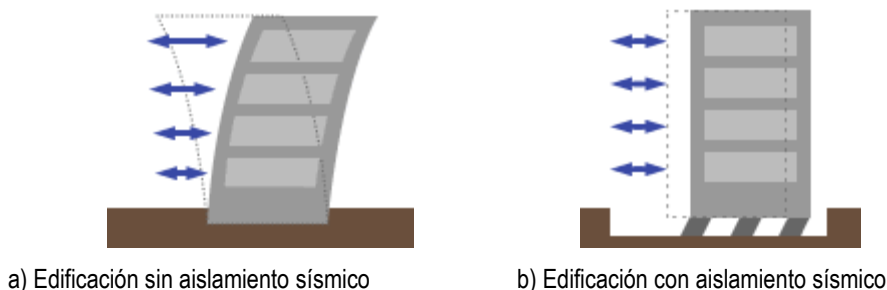


Figura 6-6: Funcionamiento del aislamiento sísmico.³⁵

³⁵ <http://itsm.nri.co.jp/english/datacenter/outline.html>

Los aisladores más usados son los elastoméricos (**Figura 6-7**), cilindros cortos que permiten grandes desplazamientos laterales, y están hechos de capas de gomas de alta resistencia, alternados con láminas de acero y núcleo de plomo (**Figura 6-8**). El Ayuntamiento de Los Ángeles es el edificio más alto, colocado sobre aisladores sísmicos (**Figura 6-9**)

Los sistemas de aislamiento sísmico presentan un conjunto de ventajas:

- En términos generales, la presencia del sistema de aisladores permite la reducción de los daños en la estructura, así como la reducción de los daños no estructurales.
- Las zonas de mayor daño quedan concentradas en los aisladores, por lo que resulta más fácil la inspección, reparación y rehabilitación, la cual puede inclusive lograrse con la reparación o sustitución de aisladores
- El uso de los aisladores permite concentrar las incertidumbres sobre los procesos constructivos y sus eventuales fallas al momento de la ocurrencia de un terremoto, en los mismos aisladores. Esto contribuye con un mejor control de calidad que el que tradicionalmente se puede conseguir cuando se construye una edificación, especialmente en países en los que no abunda la mano de obra calificada.
- La operatividad de las estructuras puede recuperarse inmediatamente después de la ocurrencia de un terremoto, en la medida en que se logran los objetivos de desempeño.



Figura 6-7: Aislador instalado en la base de un edificio.
(Ref Kelly 2013)

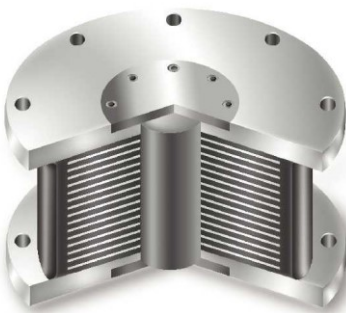


Figura 6-8: Aislador de capas de goma y acero y núcleo de plomo.³⁶

³⁶ <http://www.taiwanpillar.com.tw/eWebEditor/uploadfile/20061227104737229.jpg>



Figura 6-9: Ayuntamiento de Los Ángeles.³⁷

El uso de los aisladores presenta desventajas que deben ser tomadas cuidadosamente en cuenta a la hora de diseñar y de construir una edificación:

- La primera dificultad es la ocurrencia de desplazamientos en la base de la estructura, y como consecuencia del comportamiento de cuerpo rígido, en toda la estructura de manera simultánea (con mínimos desplazamientos relativos). Estos grandes desplazamientos se concentran en la zona de la edificación en la que se colocan los aisladores, los cuales, en la mayoría de los casos van sobre las fundaciones, pero en muchos casos, especialmente en estructuras que han sido reparadas o reforzadas con aisladores sísmicos, pueden requerir ser colocados en niveles intermedios, en la parte baja de la estructura. Los desplazamientos pueden tener un orden de entre 20 cm y 50 cm para fuertes terremotos. En la mayoría de los casos, el espacio necesario para permitir los desplazamientos, se prevé en la zona inferior al primer piso, por lo que el plano de aislamiento queda a nivel inferior al suelo (ver **Figura 6-10**). Pero otras soluciones pueden también desarrollarse. La **Figura 6-11** muestra el caso de una edificación colocada sobre aisladores sin restricciones y a un nivel externo, de piso, lo cual resulta una excelente y económica solución. Su implementación se hizo en un edificio de habitaciones de interés social.
- Los grandes desplazamientos adicionales introducen requerimientos especiales de flexibilidad de las juntas de las tuberías de los sistemas de servicio para la edificación (agua potable, aguas servidas, gas, electricidad, telecomunicaciones) ya que estas tuberías cruzan el plano de aislación. La **Figura 6-12** muestra instalaciones con dispositivos de flexibilidad.

³⁷ https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AAyuntamiento_de_Los_%C3%81ngeles_-_panoramio.jpg



Figura 6-10: Espacio para el movimiento libre de los aisladores y acceso para revisión.³⁸



Figura 6-11: Edificación en Java, Indonesia, construida con el plano de aislamiento sobre el terreno.
(Fuente: Kelly, 2013)



Figura 6-12: Tuberías y dispositivos flexibles para permitir movimientos de los edificios con aislamiento sísmico.
(Fuente: Kelly, 2013).

Es oportuno mencionar que el aislamiento sísmico ha sido ensayado por constructores desde la antigüedad. El uso de piedras cortadas, alisadas y colocadas en varias capas sin mortero, es una de las técnicas de aislamiento sísmico que se consiguen en estructuras antiguas (Kirikov 1992) y es conocida como sistema de fundación ‘Orthostat’. Una de las construcciones que la presenta es la tumba de Ciro el grande, realizada en 550 A.C., en Pasargadae, Persia (**Figura 6-13**).

³⁸ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pole_3_building_seismic_base_isolator.jpg?uselang=es



Figura 6-13: Tumba de Ciro el Grande, un caso de aislamiento sísmico en la antigüedad.³⁹

En la referencia de Bayraktar, A. se hace mención a versículos de la Biblia en los que se comentan estas construcciones:

Esdras 6:3 “En el año primero del rey Ciro, el rey Ciro proclamó un decreto: En cuanto a la casa de Dios en Jerusalén, que sea reedificado el templo, el lugar donde se ofrecen los sacrificios, y que se conserven sus cimientos, con su altura de sesenta codos y su anchura de sesenta codos; con tres hileras de piedras enormes y una hilera de madera; y que los gastos se paguen del tesoro real.” (Bayraktar et. al. 2012)

El ingeniero iraní Ahmad Naderzadeh, presenta (Naderzadeh, A. 2009) el caso del obelisco egipcio creado en el año 1450 A.C. que fue transportado a Constantinopla en 379-395 D.C. Fue emplazado sobre 4 bloques de bronce de 50cm de lado, los cuales a su vez están colocados sobre un bloque de mármol de 3m de lado, apoyado sobre capas de piedra orthostat. Esta estructura está en pie en Estambul (**Figura 6-14** y **Figura 6-15**).

Genatios et al. (2016) presentan una revisión más detallada sobre el uso de estos dispositivos, que incluye ejemplos numéricos, procedimientos de cálculo, análisis y síntesis de las normativas utilizadas para el diseño de aisladores sísmicos, así como comentarios relativos a los ensayos de los aisladores.

³⁹ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CyrustheGreatTomb_22057.jpg



Figura 6-14: Obelisco Dikilitash, Estambul by Gryffindor - Yükleynin kendi çalışması, Kamu Mali.⁴⁰



Figura 6-15: Base del Obelisco Dikilitash.⁴¹

6.5. DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS.

Las prácticas tradicionales de diseño sísmico de estructuras se basan en la idea de que las mismas sufren daños, los cuales deben ser tales que no generen el colapso de la estructura ni pongan en riesgo vidas. En

⁴⁰ <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2456253>

⁴¹ [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/55/Istanbul-dikilita%C5%9F_-_panoramio_-_HALUK_COMERTEL_\(3\).jpg/1213px-Istanbul-dikilita%C5%9F_-_panoramio_-_HALUK_COMERTEL_\(3\).jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/55/Istanbul-dikilita%C5%9F_-_panoramio_-_HALUK_COMERTEL_(3).jpg/1213px-Istanbul-dikilita%C5%9F_-_panoramio_-_HALUK_COMERTEL_(3).jpg)

efecto, producto de las deformaciones inducidas por las fuerzas sísmicas, se supone que los materiales ingresan en un rango de comportamiento inelástico y, después de un sismo severo, se espera que la estructura se vea afectada. Un adecuado diseño sísmico permite que, gracias al comportamiento inelástico de los materiales, la estructura tenga una significativa capacidad de disipar la energía que inyecta el sismo, lo que hace posible que no colapse ante un sismo severo. Esto se traduce en que las fuerzas de diseño puedan ser reducidas por debajo del límite elástico, según lo prescriben los códigos vigentes.

El balance de energías para una estructura puede expresarse como lo indica la Ecuación (6-1):

$$E_k + E_a + E_h + E_D = E_s \quad (6-1)$$

Donde

- E_k es la energía cinética absoluta,
- E_a es la energía disipada por amortiguamiento
- E_d es la energía disipada por efectos histeréticos de deformación plástica, daño de los elementos estructurales y otras formas (ver **Figura 6-16**)
- E_h es la energía de deformación elástica (recuperable)
- E_s es la energía introducida por las cargas dinámicas externas (sísmicas o de viento). Esta energía mide el trabajo efectuado por la fuerza de corte en la base de la estructura, por lo que incluye el efecto de las fuerzas inerciales de la estructura.

En un adecuado diseño sísmico usualmente es posible prever las zonas de la estructura donde se ubicarán las principales fuentes de disipación de energía por acción inelástica de los materiales (E_d). Normalmente se prevé que se formarán “rótulas plásticas” en las vigas primero que en las columnas, y usualmente en zonas de las vigas cercanas a los nodos. De esta manera, con un buen diseño sísmico, se busca controlar los mecanismos de falla de la estructura y evitar el colapso prematuro que pudiera sobrevenir por la ocurrencia de fallas frágiles y repentinas.

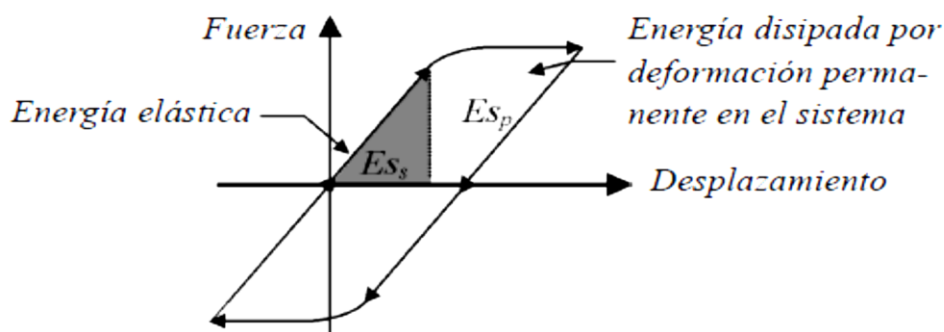


Figura 6-16: Comportamiento inelástico de los materiales

Para el sismo de diseño máximo se espera que la estructura presente daños significativos. Aunque se asegure un buen detallado de las conexiones, las incursiones en el rango no lineal y la repetición de ciclos de histéresis, conllevan degradación de la resistencia y de la rigidez de los elementos estructurales. Incluso, con los procedimientos usuales de diseño sísmico, para sismos moderados, pueden esperarse desplazamientos laterales entre pisos que ocasionen daños sustanciales en elementos no estructurales como paredes de relleno, divisiones, cerramientos, acabados, puertas, ventanas, recubrimientos. Esto hace que los costos de reparación sean elevados. Por ello se hacen esfuerzos por limitar los daños en la estructura, así como en los elementos no estructurales, y para que la estructura resista las solicitaciones sísmicas de diseño. Los avances de la ingeniería permiten considerar la inclusión de dispositivos

adicionales de control de la respuesta sísmica, que se añaden a la estructura con el fin de minimizar el daño.

Los dispositivos de control de respuesta, también llamados de protección sísmica, incrementan la capacidad de disipación de energía de las estructuras, representada por el término de la izquierda del equilibrio energético de la Ecuación (6-1), o de aminorar la energía que introduce el sismo (término del lado derecho en la misma Ecuación). Con la ocurrencia de deformaciones inelásticas, aumenta el término E_d (de disipación de energía de la estructura) en la ecuación de energía, lo que tiene también el efecto de reducir la rigidez de la estructura, con lo que a su vez disminuye la energía de entrada, E_s .

Con los dispositivos adicionales de protección se logra incrementar la disipación de energía para que, para una determinada cantidad de energía de entrada (del sismo o del viento), la energía de deformación del sistema estructural original sea menor. Esto significa que la estructura sufrirá menos deformaciones para un nivel dado de energía suministrada cuando se instalan disipadores adicionales, minimizando el daño. En este tipo de sistemas de control se encuentran los disipadores o amortiguadores.

Otra forma de disminuir la disipación de energía por histéresis de la estructura consiste en modificar la energía de entrada al sistema, término E_s de la ec.1. Los sistemas de este tipo, son por ejemplo, los aisladores que se colocan en la base de las estructuras.

Desde los años 80 del s XX, se han introducido dispositivos externos de absorción de energía en las estructuras. Su objetivo es el de concentrar el comportamiento no lineal en regiones de la estructura, especialmente diseñadas y detalladas para tal efecto, y reducir de manera importante el comportamiento inelástico y los daños en el sistema estructural original, mejorando el desempeño esperado en el caso de sismos moderados o severos. Para este propósito han sido propuestos diferentes tipos de dispositivos. Handson (1993) propone una clasificación de los sistemas de control de la respuesta sísmica en:

- Sistemas pasivos: aisladores de base y dispositivos suplementarios de disipación de energía
- Sistemas activos: dispositivos mecánicos cuyas características cambian de acuerdo con mediciones de los movimientos de la estructura

En Oviedo et al (2006), se hace un recuento de los tipos de sistemas existentes y se acoge la clasificación propuesta por ISO 3010 International Standard “*Basis for design of structures – Seismic action on structures*”, según la cual los sistemas de protección sísmica se clasifican en: de control pasivo, de control activo e híbrido y de control semiactivo. Para más información, puede consultarse Genatios et al, 2016.

6.5.1. Sistemas pasivos

Como ya se comentó, los sistemas pasivos son los más utilizados actualmente; entre ellos se clasifican los de aislamiento sísmico en la base y los disipadores de energía. Los disipadores de energía son diseñados para disipar la energía introducida en el sistema estructural por las fuerzas dinámicas externas debidas a sismo o viento. Estos dispositivos permiten aumentar el nivel de amortiguamiento de la estructura. Existen varios tipos de disipadores de energía: de amortiguamiento viscoso y viscoelástico y dispositivos de amortiguamiento por fricción y cedencia (ver [Figura 6-17](#)).

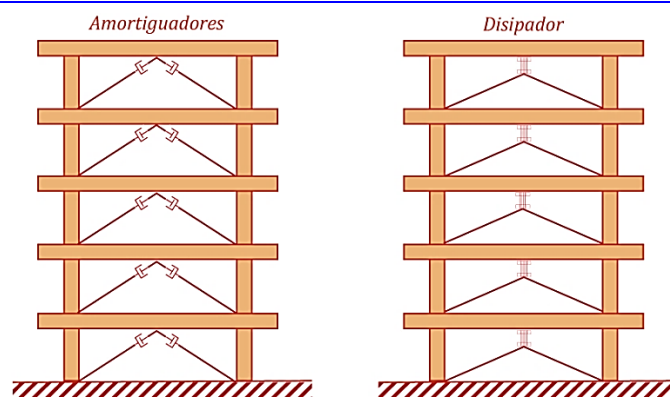


Figura 6-17: Sistemas pasivos de control de respuesta.

Una diferencia importante entre los amortiguamientos viscosos y viscoelásticos, si se comparan con los de fricción y cedencia, es la fuerza máxima que cada uno desarrollará durante el terremoto. Para los del primer tipo, esta fuerza vendrá determinada por los desplazamientos y velocidades a lo largo de los dispositivos. Para los de fricción y cedencia, las fuerzas máximas serán iguales a las fuerza de fricción o cedencia de diseño del dispositivo (más el endurecimiento adicional que pueda existir). Las fuerzas máximas son más fácilmente controlables con este último tipo de dispositivos.

Un tercer tipo de dispositivos de disipación de energía, son los amortiguadores de masa sintonizada, que se ubican en puntos estratégicos de las estructuras para reducir la respuesta estructural.

6.5.2. Sistemas activos de control de respuesta

Los sistemas activos son complejos, ya que requieren de la instalación de sensores para procesar y medir las variables de control, a fin de regular la respuesta del dispositivo en caso de ocurrencia de sismo. Usualmente, se colocan acelerómetros para medir las aceleraciones en puntos estratégicos de la estructura y para echar a andar los mecanismos de control. Un ejemplo de sistema activo son los amortiguadores de masa activa (llamados AMD por sus siglas en inglés: *Active Mass Damper*). Este sistema se basa en cuerpos de masa conocida que se ubican usualmente en el techo de la edificación. Según la lectura de los sensores que deben colocarse para medir la excitación sísmica, un actuador hará oscilar esta masa de manera de compensar las vibraciones inducidas por el sismo. En otros tipos de sistemas activos, los actuadores aplican fuerzas sobre elementos de arriostramiento y tensores, para contrarrestar los efectos del sismo.

Los sistemas activos incluyen un algoritmo de control y un procesador de información, por lo que requieren de uno o varios computadores que deben funcionar permanentemente y que necesitan una protección adecuada para garantizar su funcionamiento en el momento de ocurrencia de un sismo; el mantener al sistema operativo de manera permanente, además del suministro de energía constante para estos dispositivos es un problema no fácil de resolver, especialmente en los países de América Latina. También requieren de programas de mantenimiento cuidadosos y de una correcta supervisión y vigilancia, tareas que no siempre son fáciles de garantizar (Figura 6-18). En un sistema de tipo activo, la estructura es monitoreada constantemente, lo que permite modificar la respuesta de los dispositivos en tiempo real, según el nivel de la excitación sísmica.

Los sistemas de protección sísmica activos han sido aplicados principalmente en Japón. En algunos casos se combinan los mecanismos activos y pasivos. Por ejemplo, en la estructura puede colocarse un aislador

de base con control activo del desplazamiento y un amortiguador híbrido de masa (HMD: *Híbrid Mass Damper*). La masa oscilante reduce la respuesta de la estructura, pero además puede disponerse de un actuador para mejorar la eficiencia y generar rigidez.

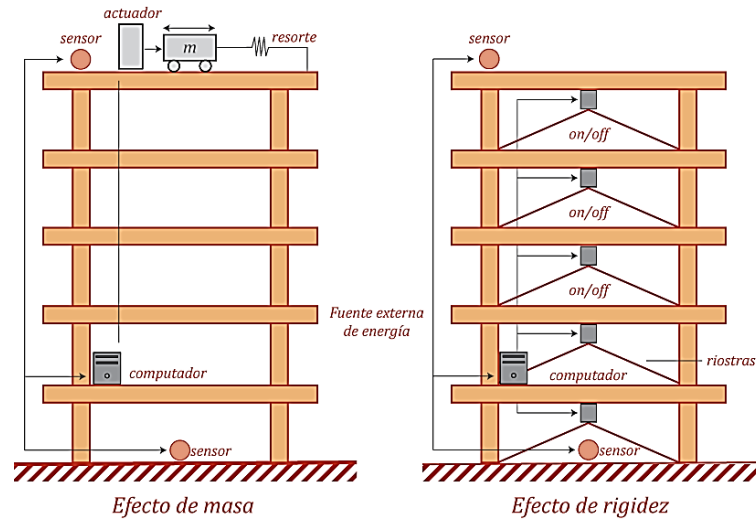


Figura 6-18: Sistemas de control activo.

6.5.3. Sistemas semi-activos de fluido controlable

Son sistemas basados en amortiguadores donde las condiciones de amortiguamiento pueden controlarse, ya que funcionan con fluidos de densidad o viscosidad variable. Los fluidos pueden ser de tipo electro-reológico (ER) o magneto-reológico (MR). En todo caso, se caracterizan porque pueden pasar de un estado de fluido viscoso lineal a uno semisólido, cuando se aplica una fuerza en un campo eléctrico o magnético. Esta fuerza es regulada a través de un algoritmo de control y sensores para caracterizar la excitación sísmica y la respuesta de la estructura. Los sistemas semiactivos se basan en la idea de modificar las propiedades mecánicas de los dispositivos de disipación de energía para lo cual se requiere de un mecanismo de monitoreo y control permanente, al igual que en el caso de los sistemas activos. Se pueden utilizar en este tipo de sistemas, además de amortiguadores con fluidos reológicos, amortiguadores de masa, o dispositivos de fricción controlable (**Figura 6-19**).

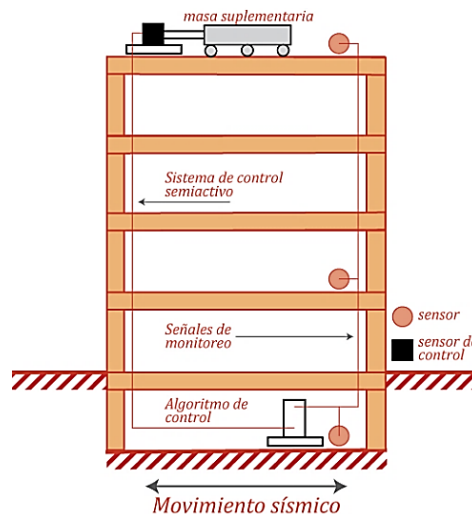


Figura 6-19: Sistemas semi-activos de protección sísmica.

6.5.4. Sistemas pasivos de control basados en disipación de energía

Los sistemas pasivos de control con disipación de energía pueden ser de varios tipos: histeréticos metálicos, viscoelásticos, de fluidos, de fricción, de masas sintonizadas. Por lo general, se instalan en puntos o elementos seleccionados en la estructura o pueden también colocarse como complemento del sistema de aislamiento sísmico en la base.

6.5.5. Amortiguamiento añadido: los disipadores histeréticos metálicos

Los dispositivos de disipación de energía (Hanson et al. 1993) suponen la adición de un sistema de disipación de energía que se añade al sistema estructural inicial. La filosofía de diseño de estos dispositivos, es la de mantener en lo posible la respuesta del sistema estructural primario en el rango elástico durante terremotos severos. Entonces el sistema de amortiguamiento añadido actúa en paralelo con el sistema estructural original para proveer el comportamiento deseado. En el caso de edificaciones de varios pisos, la distribución de los dispositivos de disipación de energía en altura es importante. Numerosos autores recomiendan la distribución de una manera similar a la distribución de rigideces de los pisos (sin cambios abruptos de rigidez). Esto tiene la ventaja matemática de evitar el acoplamiento modal. Sin embargo, las experiencias han demostrado que un acoplamiento modal débil no altera de manera importante las características globales de la respuesta de los edificios con dispositivos de disipación de energía añadidos.

Para edificios de varios pisos, se recomienda que el coeficiente de amortiguamiento equivalente se calcule en cada piso, y se utilice para el diseño el amortiguamiento modal obtenido para el primer modo de vibración, ya que éste es el modo de respuesta dominante en la mayoría de los casos prácticos.

En los disipadores histeréticos se aprovechan las propiedades de deformación inelástica del material constitutivo del dispositivo. Se utilizan disipadores de acero, debido a que su alta homogeneidad permite una fácil caracterización mecánica del dispositivo. Su comportamiento es modelado a partir de curvas fuerza-desplazamiento y la energía que disipan se cuantifica con los ciclos de histéresis característicos. Algunos tipos comunes de disipadores metálicos incluyen: placas a flexión, riostras metálicas, amortiguadores de barras, anillos, etc.

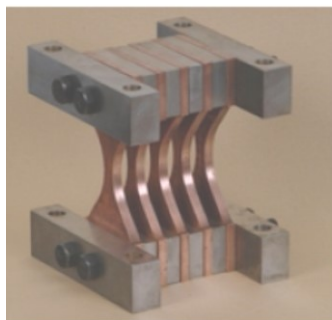


Figura 6-20: Disipador ADAS.
(Fuente: Oviedo et al., 2006).⁴²

Un disipador tipo ADAS (*Added Damping and Stiffness*) (Figura 6-20), se diseña para disipar energía a partir de la cedencia en flexión de las placas de acero que lo conforman; son placas en forma de I,

⁴² <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5557910.pdf>.

sometidas a flexión fuera de su plano. Para caracterizar su comportamiento se requiere conocer su rigidez, la fuerza límite de cedencia y el desplazamiento en cedencia. Aiking et al (1993) realizaron ensayos de laboratorio sobre mesa vibrante que probaron la eficacia de estos dispositivos (**Figura 6-21**). En Estados Unidos los elementos ADAS fueron utilizados por primera vez para la rehabilitación sísmica de un edificio en San Francisco en 1992 (Fierro, 1993).

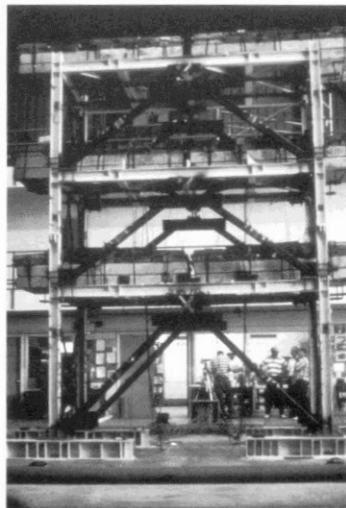


Figura 6-21: Pórtico metálico con disipadores ADAS
(Fuente : Aiken et al, 1993).

En la **Figura 6-22** se muestran un disipador tipo TADAS y un disipador tipo Panel. El disipador TADAS es similar al ADAS, pero basado en placas de acero de forma triangular. También añaden amortiguamiento y rigidez a la estructura primaria.

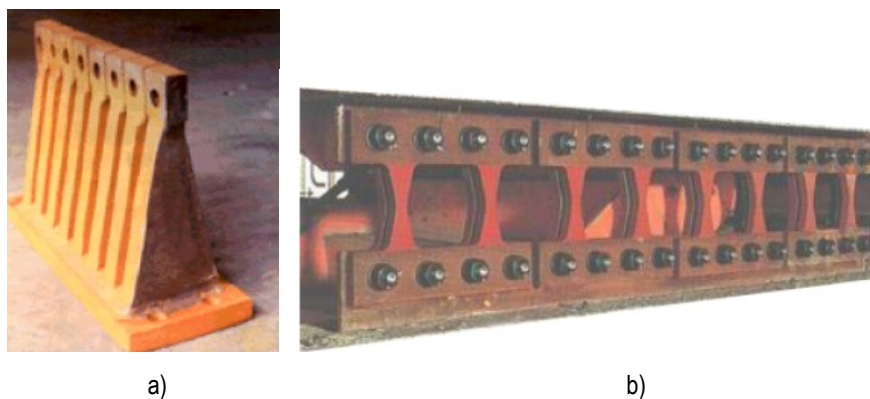


Figura 6-22: Disipadores histeréticos metálicos a) TADAS b) Panel.
(Fuente: Oviedo et al., 2006).⁴³

Otra clase de disipador histerético son las riostras metálicas (**Figura 6-23**), compuesto por un núcleo de acero y un tubo metálico externo, relleno con un mortero de cemento. El núcleo de acero se encarga de disipar energía cuando sobrepasa el límite de cedencia. La riostra se instala en los pórticos de la estructura primaria, y puede ser sometida a efectos de flexión, cortante o deformación axial. Para el adecuado

⁴³ <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5557910.pdf>

funcionamiento de la riostra como disipador de energía se requiere que no haya adherencia entre el núcleo de acero y el material de confinamiento.

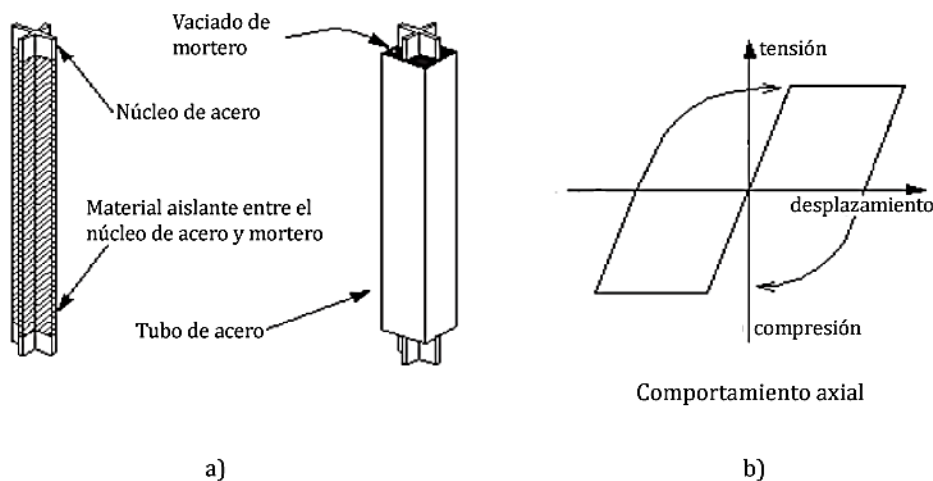


Figura 6-23: Disipador tipo riostra metálica.
(Fuente: Oviedo et al., 2006).⁴⁴

El concepto inicial introducido por Kimura et al. (1976), fue profundizado por otros investigadores en Japón (Watanabe et al., 1988, Wada et al. 1989 y Watanabe et al.1992) y dio lugar a lo que se conoce hoy como el “*Unbonded Brace™*” (marca registrada), disponible comercialmente por *Nippon Steel Corporation*. Este tipo de dispositivos se ha utilizado en Japón desde 1987, en más de 200 edificios. El primer proyecto donde se utilizó el “unbonded brace” en Estados Unidos fue el del edificio de Ciencias ambientales de la Universidad de California (Cameron Black et al., 2002).

Los dispositivos histeréticos metálicos disipan energía a través de la fluencia de metales sometidos a esfuerzos de flexión, corte, torsión, o una combinación de ellos. Presentan un comportamiento estable y confiable a largo plazo y se comportan adecuadamente ante factores ambientales y cambios de temperaturas.

6.5.6. Disipadores Viscoelásticos

Los disipadores viscoelásticos, son utilizados para aumentar la capacidad de disipación de energía de las estructuras. Pueden utilizarse riostras diagonales viscoelásticas. Se busca que estas riostras sean una fuente adicional de disipación de energía sin formar parte de la estructura portante. El objetivo es que la estructura primaria permanezca en lo posible en el rango elástico, para minimizar los daños en caso de sismos. Los disipadores de este tipo que primero se popularizaron fueron los llamados DSSD (*Direct Shear Seismic Damper*). Estos amortiguadores consisten en planchas de acero entre las que se coloca un material viscoelástico que se deforma bajo esfuerzos cortantes. El ensayo de un modelo en laboratorio se muestra en la

Figura 6-24 (Lobo R.F. et al, 1993).

Los materiales viscoelásticos son generalmente polímeros que, al ser deformados por cortante, ofrecen capacidad de disipación de energía. La **Figura 6-25** muestra el esquema típico de estos dispositivos en los que la disipación tiene lugar cuando existe desplazamiento relativo entre las placas de acero externas y el

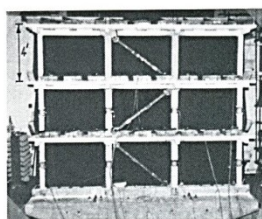
⁴⁴ <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5557910.pdf>.

material viscoelástico interno. En el diseño se deben tomar las previsiones necesarias contra los cambios fuertes de temperatura, deformaciones excesivas y frecuencia de vibración, ya que pueden modificar el comportamiento del dispositivo.

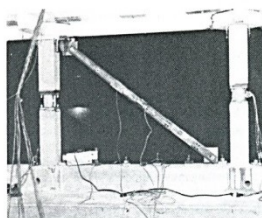
Los disipadores viscoelásticos han sido utilizados en numerosos edificios altos para el control de las vibraciones inducidas por el viento. (Mahmoodi, 1969). Por ejemplo, fueron utilizados en las torres del World Trade Center en New York, de 110 pisos, y funcionaron por más de 20 años, hasta que las torres fueron derribadas por los ataques terroristas de 2001. En otros edificios altos en USA también se utilizaron estos dispositivos para controlar las vibraciones producidas por las fuerzas del viento (Keel, 1986; Mahmoodi, 1989). También otras experiencias pueden citarse en Japón, donde estos dispositivos han sido utilizados para protección sísmica de edificios.

6.5.7. Disipadores de fluidos viscosos

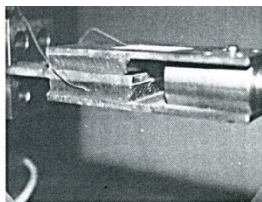
Se basan en el comportamiento de fluidos altamente viscosos. En general consisten en cilindros en cuyo interior se desplaza un pistón embebido en el fluido. Cuando se desplaza el pistón, el fluido pasa por pequeños orificios de manera controlada, produciéndose la disipación de energía (ver [Figura 6-26](#)). Funcionan de manera similar a los amortiguadores de un automóvil.



a. Elevación



b. Disipador de abrazadera



c. Detalles del disipador

Figura 6-24: Estructura con disipadores DSSD.
(Fuente: Lobo et al., 1993).

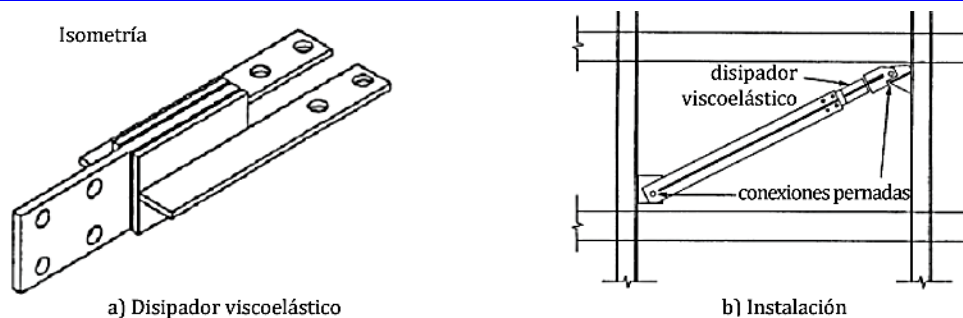


Figura 6-25: Disipadores viscoelásticos.
(Fuente: Aiken et al, 1993, figuras 4 y 5, pag. 339).

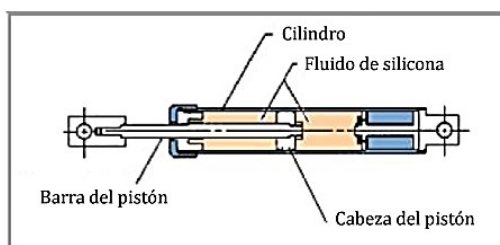


Figura 6-26: Disipadores basados en fluidos viscoelásticos.
(Fuente: Oviedo et al., 2006).⁴⁵

6.5.8. Disipadores de fricción

Estos dispositivos disipan energía cuando se produce fricción a partir del desplazamiento relativo entre dos o más superficies en contacto. Los disipadores de fricción se activan solamente cuando se alcanza un determinado nivel de carga en el dispositivo. Mientras la sollicitación no alcance dicha carga, el mecanismo de disipación se mantiene inactivo.

Existen varios tipos de disipadores de fricción. La **Figura 6-27** muestra el dispositivo Pall (1982) que consiste en dos elementos diagonales con una interface de fricción en el punto de intersección. Un perno en este punto, asegura la fuerza normal necesaria para producir la fricción. Las diagonales están conectadas con elementos verticales y horizontales que garantizan que, una vez iniciado el deslizamiento en una de las diagonales, la otra deslizará de igual manera en dirección opuesta.

Los dispositivos de fricción tipo Pall han sido usados en Canadá, en edificios y en la rehabilitación de estructuras dañadas por sismos (Pall, 1987 and 1991, Vezina, 1992). En Japón pueden citarse los dispositivos de fricción tipo Sumitomo instalados en edificios de 22 y 32 pisos en 1991. El uso de estos dispositivos requiere conocer con certeza las fuerzas en los elementos sometidos a fricción. Resulta a veces difícil garantizar que se activarán con la ocurrencia del sismo esperado. Existen además posibilidades que, después de la ocurrencia de un sismo, queden deformaciones remanentes en las estructuras.

⁴⁵ <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5557910.pd>. La referencia fue tomada de www.taylordevices.com.

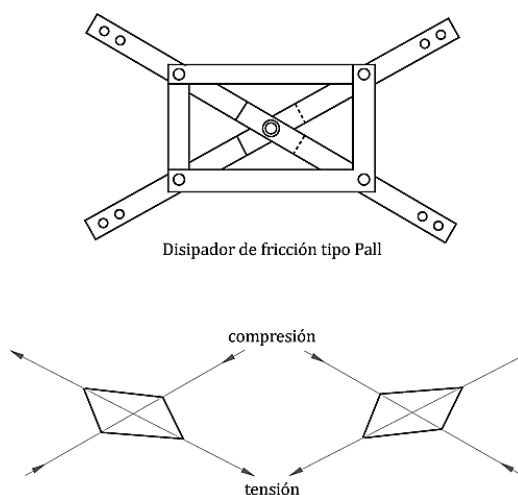


Figura 6-27: Disipador de Fricción tipo Pall.
(Fuente: Aiken et al., 1993).

6.5.9. Disipadores basados en materiales con memoria de forma (SMA)

Son dispositivos de tipo histerético. Con el desarrollo de nuevos materiales con “memoria de forma” (*shape memory alloys*), se han fabricado este tipo de disipadores, con conexiones o elementos pretensionados.

En el trabajo de Ozbulut et al (2011), se expone una revisión del desarrollo de dispositivos de disipación de energía con fines de protección sísmica, que utilizan este tipo de materiales con memoria; se discuten sus aplicaciones en dispositivos de disipación de energía de diferentes tipos, sistemas de bielas de arriostramiento, conectores viga-columna. Estos materiales también han sido utilizados en la construcción de aisladores sísmicos.

Este tipo de dispositivos que utilizan SMA son muy costosos, por lo que su utilización es todavía restringida en las edificaciones comunes. Sin embargo, ofrecen innovadoras posibilidades para la protección sísmica de estructuras de manera controlable, ya que minimizan el riesgo de deformaciones residuales en las mismas después de eventos sísmicos de importancia.

6.5.10. Amortiguadores de masas sintonizadas

Estos amortiguadores pueden ser simples (un solo sistema de masa amortiguador) o múltiples. También se utilizan sistemas basados en líquidos (tanques de agua generalmente o columnas de líquidos). El amortiguador de masa sintonizado (AMS) consiste en un sistema masa/resorte/amortiguador que se coloca en la estructura principal. La frecuencia natural del dispositivo debe ser cercana a la frecuencia dominante del sistema principal, para que vibre en resonancia. Su uso requiere conocer con precisión las relaciones de frecuencia y amortiguamiento entre el dispositivo y la estructura. El sistema sólo puede ser sintonizado con una sola frecuencia de vibración del sistema estructural primario. En general se ubican en el techo de las edificaciones. Estas masas normalmente están apoyadas sobre aisladores y deslizadores. La masa se sintoniza a una frecuencia cercana a la frecuencia del modo que se desea disminuir. Estos sistemas interfieren únicamente en un nivel de la estructura, con pesos aproximadamente del 1-2% de la masa modal del modo de interés (Boroschek, 2012). El uso de estos dispositivos no siempre genera resultados adecuados de reducción de respuesta sísmica (Sladek, J., Klingner, R., 1983).

Si en la respuesta de la estructura son importantes las contribuciones de los modos superiores, es necesario contemplar la posibilidad de colocar varios AMS, que cubran las frecuencias propias de la estructura que más contribuyan con la respuesta. La **Figura 6-28** muestra la fotografía de un dispositivo de este tipo. (Montanaro M.I., 2001)

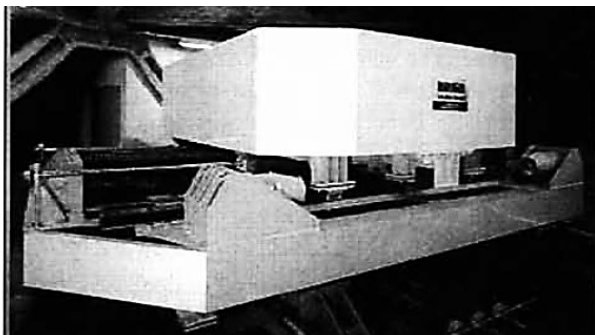


Figura 6-28: Fotografía de un AMS.
(Fuente: Montanaro, 2001).

Este tipo de dispositivos ha sido utilizado para el control de vibraciones en edificios altos. Un ejemplo es la Torre Crystal en Osaka, Japón. Es una estructura de acero de 157 m de altura. El amortiguador instalado es un AMS de tipo pendular, que posee diferentes masas en cada una de las dos direcciones principales (Fuente: Montanaro M.I., 2001).

6.5.11. Ventajas y desventajas del uso de disipadores de respuesta sísmica

Las ventajas del uso de los disipadores de energía en edificaciones han sido ampliamente aceptadas y probadas en la práctica.

Entre las ventajas principales que pueden citarse, los disipadores de energía permiten la reducción de la demanda sísmica en la estructura principal y la concentración del daño en puntos o elementos identificados previamente. Se busca que, en el caso en que los dispositivos resultan dañados después de un sismo, sean reemplazables para que la estructura recupere su funcionalidad en poco tiempo. En algunos casos, su uso introduce un aumento de la rigidez de la edificación que puede ser también beneficioso.

Los disipadores de energía contribuyen a reducir los esfuerzos y deformaciones de las estructuras inducidos por el sismo, en niveles importantes, si se comparan con estructuras similares sin estos dispositivos. De esta manera, contribuyen a reducir los daños, no sólo en elementos estructurales, sino también en elementos no estructurales y en los contenidos almacenados o bienes existentes dentro de las edificaciones.

Una desventaja que presentan algunos tipos de dispositivos disipadores es que después de la ocurrencia del sismo, las estructuras quedan con deformaciones remanentes que pueden dificultar las labores de recuperación del funcionamiento de la estructura después del sismo. Además, después de un terremoto importante, algunos disipadores deberán ser sustituidos o reparados, lo que introduce costos que deben ser considerados por los diseñadores.

En la **Tabla 6-1** se resumen las principales ventajas y desventajas de los dispositivos de disipación de energía más utilizados (Braz-César M. et al, 2013).

Tabla 6-1: Ventajas y desventajas del uso de dispositivos de disipación de energía.

DISPOSITIVO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Amortiguadores histeréticos metálicos	Comportamiento histerético estable Confiables a largo plazo No son sensibles a cambios de temperatura ambientales Materiales tradicionales en la construcción, familiares para los ingenieros civiles	Deben ser reemplazados si son solicitados por un sismo La estructura puede quedar con desplazamientos residuales después de un sismo. Se requieren análisis no lineales
Amortiguadores de fricción	Disipan grandes cantidades de energía por ciclo de histéresis No son sensibles a cambios de temperatura ambientales	Condiciones de superficie de rozamiento pueden cambiar con el tiempo. Requiere análisis no lineal La estructura puede quedar con desplazamientos residuales después de sismo
Amortiguadores de fluidos viscosos	Comportamiento lineal (facilidades de modelado) Propiedades constantes en altos rangos de variación de frecuencia y temperatura Se han comercializado por su alta confiabilidad Mínima fuerza de restauración	Dificultades de instalación. Requieren revisiones periódicas para detectar posibles fugas del fluido viscoso
Amortiguadores viscoelásticos	Polímeros de comportamiento lineal (facilidades de modelado) Se activan para bajos niveles de desplazamiento Comportamiento elástico (vuelven a su forma original)	Limitada capacidad de deformación Su comportamiento depende del nivel de deformación, de la temperatura y la frecuencia. Requieren revisiones periódicas para verificar posible deterioro del material viscoelástico.
Amortiguadores de Masa Sintonizada	Ubicación generalmente en el último piso Facilidad de instalación y de mantenimiento. Adecuado para estructuras regulares donde domine el primer modo de vibración	Sensibilidad a errores en la frecuencia natural de la estructura y/o la relación de amortiguamiento Gran espacio requerido para su instalación

6.6. A MANERA DE CONCLUSIÓN: ALGUNAS CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

A fin de determinar las ventajas y desventajas económicas de incluir dispositivos de aislamiento y de disipación de energía en los diseños estructurales, lo más adecuado es comparar los costos de las soluciones con y sin los dispositivos de respuesta pasiva. El resultado que conduzca a la solución más apropiada desde el punto de vista económico, puede ser distinto en cada caso particular, por lo que es necesario realizar una evaluación para los distintos diseños, que tome en cuenta los requerimientos establecidos en los reglamentos, y los definidos por el dueño o el usuario de la construcción. A partir de las condiciones definidas por el usuario, deben estimarse las opciones. Sin embargo, en el caso en que deban protegerse equipos costosos y deba mantenerse la operatividad inmediata de la estructura, el uso de aisladores es, en general, la mejor solución a considerar.

Uno de los primeros estudios que presentó un análisis de costos para estructuras con fuertes requerimientos en lo relativo a capacidad de prestación de servicios, fue el estudio de Ryan, 1990, en el cual demuestra que en la construcción de una planta nuclear, el costo de utilizar aisladores sísmicos fue de 2% menor que el de las estructuras sin aisladores, y el costo de la construcción de una estación de bomberos resultaba ser 6% más económica cuando se utilizaban aisladores sísmicos. En el caso de edificaciones residenciales, conocemos un caso de una edificación construida en Guayaquil, cuyo costo

fue el mismo, al utilizar aisladores que al no utilizarlos, dada la reducción de materiales asociada a las cargas menores y el diseño elástico de la estructura colocada sobre aisladores.

Por otro lado, al igual que ocurre en todos los campos en los que se producen innovaciones tecnológicas, los costos de los aisladores sísmicos han disminuido y disminuirán cada vez más, en la medida en que se difunda su uso, se conozcan más las tecnologías de fabricación y ensayo, y se produzcan mecanismos de aislación con fines de generar soluciones con carácter social, para resguardar las vidas e inversiones en países menos desarrollados (Kelly, 2013).

En la actualidad se desarrollan metodologías de análisis de costos y se realizan complejos procesos de evaluación (Terzic,V. et al., 2012, Ryan, et. al. 2010), sin embargo, todavía no se tiene suficiente información como para conocer a priori y de manera clara los costos involucrados con las distintas soluciones posibles.

Un análisis adecuado de los costos asociados a la implementación de dispositivos de aislamiento o de disipación en estructuras, requiere de la revisión de varias etapas en la vida útil de la estructura.

Los primeros análisis que se presentan, en relación con los costos, son los asociados a las etapas de construcción. Al comparar los costos de la estructura sin aisladores, con los de la estructura con aisladores, sólo se está considerando la inversión inicial, es decir, la asociada a la construcción. Al implementar sistemas de aislamiento sísmico, es necesario incluir costos de elementos tales como: excavación adicional, dispositivos de aislamiento, paredes para preservar los espacios de libre movimiento del edificio, planchas para cubrir y proteger estos espacios, detalles en juntas de escaleras, rampas y accesos, juntas en las tuberías, ajustes para los ascensores, posibles reducciones en el terreno que pueda aprovecharse comercialmente, dada la necesidad de preservar espacios para los aisladores y sus movimientos, costos del diseño del pisos suspendido sobre el plano de aislamiento, etc.

En la arquitectura del edificio deben contemplarse la ubicación y funcionamiento de los aisladores y de los dispositivos de control de respuesta. Muchas veces las instalaciones eléctricas, sanitarias y otros servicios requieren también de consideraciones especiales para adaptarse al funcionamiento de los dispositivos y sistemas de control implementados. También es necesario prever los costos de mantenimiento y reparación a lo largo de la vida útil de la estructura.

En el caso en que se usen dispositivos de control activo de respuesta, debe garantizarse el funcionamiento adecuado de los dispositivos de control durante los sismos, por ejemplo, las fuentes de suministro de energía deben ser permanentes y confiables en caso de ocurrencia de sismos severos.

Es indispensable contar con las capacidades humanas y técnicas requeridas para la adecuada instalación y mantenimiento de los sistemas de control y monitoreo; estas generalmente implican costos más elevados en la preparación e implementación de los mecanismos.

En algunos países, las normas y disposiciones legales vigentes, obligan a contemplar costos de certificación y control de calidad de los sistemas implementados, inclusive, algunas normativas exigen el desarrollo del proyecto con un par técnico que sea especializado en el uso de los dispositivos. Todos estos costos varían con cada proyecto, en cada país y en cada localidad.

Al incorporar aisladores también se reducen costos de materiales en el proceso constructivo. Los tamaños y detallado de las vigas y columnas disminuyen dado que no requieren soportar cargas sísmicas. También se producen disminuciones de costos en elementos no-estructurales, como por ejemplo los mecanismos de

fijación de techos, luminarias, muebles, fijación de fachadas de vidrio, ya que no son sometidos a movimientos tan severos como los fuertes terremotos.

Los costos asociados a la implementación de dispositivos que disminuyan los daños y logren objetivos de desempeño más exigentes, deben ir también asociados a los probables costos asociados a la ocurrencia de terremotos. Si los dispositivos de aislamiento no forman parte del diseño, las normas han sido concebidas de manera tal que debe aceptarse que durante la vida útil de la estructura se producirán eventos sísmicos que generarán daños, tanto estructurales como no estructurales. Por ejemplo, debe aceptarse que existe una probabilidad del 10% (u otra más reducida, de acuerdo a las consideraciones normativas y de diseño) de que ocurra un sismo igual o mayor al de diseño en la vida útil de la estructura. Esto indica que deben estimarse las condiciones en las cuales se encontraría la estructura sometida a un terremoto de esta magnitud y deben estimarse los costos probables de reparación o de sustitución. Asimismo es conveniente la estimación de los daños a elementos no estructurales, dada la ocurrencia de sismos intermedios y más frecuentes, debe también ser considerados.

Por lo tanto, si una estructura convencional, diseñada a partir de la acción de un sismo de diseño comúnmente contemplado en las normas, tiene un 10% de probabilidad de sufrir un sismo destructor en su vida útil de 50 años, hay un costo probable de reposición del 10% del valor de la construcción, además de los costos de los valores que en ella se encuentran, y de los costos de pérdidas asociados al tiempo que transcurre mientras se construye una nueva estructura (en términos de cesación de los servicios que la estructura presta). Este 10% puede cubrir buena parte de los costos de la instalación de los sistemas de aislamiento. Es muy posible que al considerarse estos costos probables, el uso de aisladores sísmicos quede suficientemente justificado.

En las consideraciones de costo debe también incluirse la contratación de seguros, los cuales cubren gastos de reparación y de lucro cesante, y pueden cambiar del todo los resultados de las consideraciones mencionadas hasta ahora. Debe también considerarse que si la estructura cuenta con dispositivos de aislamiento sísmico, los seguros deben ser más económicos.

Las ventajas del uso de aisladores comienzan a ser ya mucho mayores al considerar la ocurrencia de un terremoto. Los costos de reparación y los tiempos en los que se incurre para llevarlas adelante pueden ser muy altos, y de contarse con sistemas pasivos de control de respuesta, particularmente aisladores sísmicos, los costos de reparación y los lapsos de tiempo para la recuperación pueden ser mínimos o inexistentes. Estas consideraciones son fundamentales en estructuras como hospitales, por ejemplo.

Las conclusiones de dos estudios establecen lo siguiente:

- Los sistemas de aislamiento sísmico proveen importantes ahorros de daños para sismos frecuentes, probables y poco probables, con lo que justifican las inversiones iniciales adicionales. Más aun, al incluir sistemas de aislamiento que cumplieran con objetivos de desempeño más exigentes que los establecidos por las normas, no sólo se consiguieron mejores desempeños, sino también reducciones significativas de costos en el ciclo de vida de las estructuras analizadas (Terziz, et al. 2012).
- El impacto económico de un terremoto puede ser mucho mayor si se considera el tiempo durante en el que se detiene el funcionamiento de la estructura y si se consideran las pérdidas de ganancia que no se producen durante ese tiempo, y todo eso se evita al instalar sistemas de control pasivo. (Ryan et al, 2010).

Es importante señalar otros aspectos de la rápida recuperación: al contarse con edificaciones sin daño y con inmediata funcionalidad se generan otros beneficios indirectos a la sociedad que redundan en la recuperación de la actividad económica más allá de la actividad propia de la edificación, y este factor forma parte de la resiliencia de una comunidad.

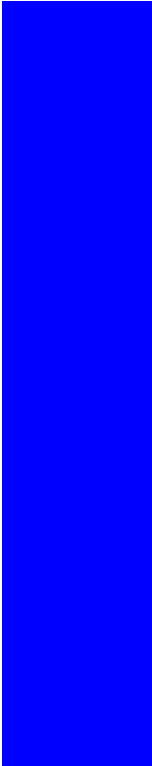
Si al ocurrir un terremoto se cuenta, por ejemplo, con locales comerciales que vendan productos de construcción, que no sufran daño, las actividades de reparación de casas se pueden hacer más rápido, y se contribuye a reanudar la actividad productiva de la comunidad.

Este factor de resiliencia también incide en imprimir a la población una perspectiva subjetiva de reinicio y continuidad de las actividades cotidianas, lo cual tiene un positivo impacto humano y como consecuencia, económico también. La presencia de estructuras destruidas parcial o totalmente, genera una percepción pesimista y negativa que afecta la perspectiva de la población.

Es necesario resaltar que el principal beneficio directo del uso de estos sistemas, y es que permiten reducir el número de víctimas y de daños ante sismos severos, por lo que aumentan los niveles de seguridad para los ocupantes de las edificaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aiken Ian D., Douglas K.Nims, Andrew s. Whittaker, and James Kelly (1993), Testing of Passive Energy Dissipation Systems, In Earthquake Spectra, Vol 9, N0 3., 1993
- Bayraktar, A., Keypour, H., Naderzadeh, A. (2012) "Application of Ancient Earthquake Resistant Method in Modern Construction Technology". 15 World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE), Lisboa, 2012.
http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_5773.pdf
- EERI (2010) Special Earthquake Report- June 2, en:
https://www.eeri.org/site/images/eeri_newsletter/2010_pdf/Chile10_insert.pdf
- Hanson, Robert D. (1993), Supplemental damping for improved seismic performance in Earthquake Spectra, Aug 1993 , vol 9, n. 3, pp 319-370.
- Genatios, C. Lafuente, M. (2016) "Introducción al uso de aisladores y disipadores en Estructuras". CAF, Nov. 2016. ISBN: 978-980-422-056-2
- Kelly, James (2013): "A Tested, Inexpensive Way to Protect Buildings from Earthquakes"
<http://www.pbs.org/wgbh/nova/next/tech/rubber-bearings-seismic-protection/>
- Kirikov, B. (1992) "History of Earthquake Resistant Construction" Instituto de Ciencias de la Construcción, Eduardo Torrojas, Madrid
- Lafuente, Marianela, Grases, José, Genatios, Carlos (2014) Revisión de la Normativa sísmica en America Latina. CAF, Caracas, noviembre 2014. <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/897>
- Lobo et al, (1993), en Spectra vol 9, n. 3, pp. 426.
- Mahin, Stephen (2012) "Lessons from Recent Earthquakes: the need for More resilient Cities" Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons learned from the Great East Japan Earthquake, March 1-4 2012, Tokyo, Japan.
- Miyamoto, M. et.al. (1999): Masaki Miyamoto, MD, PhD, Masao Sako, MD, PhD, Michio Kimura, MD, PhD, Tsuyoshi Kanno, MD, PhD, Michitoshi Inoue, MD, PhD, Hiroshi Takeda, MD, PhD, Takashi Takahashi, PhD, Hiroshi Inada, PhD, Kotarou Minato, PhD, Norio Hashimoto, PhD, Tetsuo Kawamura, PhD, Michio Naito, PhD, Toshio Hattori, PhD, Kazuo Nakazawa, PhD, and Masayuki Irie, PhD. "Great Earthquakes and Medical Information Systems, with Special Reference to Telecommunications" J Am Med Inform Assoc. 1999 May-Jun; 6(3): 252-258.
(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC61365/>)
- Montanaro, María Inés (2001), Sistemas de Control de Vibraciones en Estructuras de Gran Altura (vibration control system in very high structures) en:
<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/640/722>
- Munich RE (2016) "Significant natural disasters since 1980" NatCad Service.
<https://www.munichre.com/en/reinsurance/business/non-life/natcatservice/significant-natural-catastrophes/index.html>
- Naderzadeh, A. (2009) "Historical Aspects of Seismic Base Isolation Application"
http://www.cibw114.net/symposium2009/pdf/OS09_Ahmad_Naderzadeh.pdf
- Oviedo, Juan Andrés y Duque María del Pilar (2006), SISTEMAS DE CONTROL DE RESPUESTA SÍSMICA EN EDIFICACIONES, Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 6, p. 105-120. Diciembre 2006, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia), en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5557910.pdf>
- Ozbulut O. E., Hurlebaus S. and Desroches R. (2011), Seismic Response Control Using Shape Memory Alloys: A Review, in http://cee.virginia.edu/osmanozbulut/wp-content/uploads/sites/20/2014/10/Ozbulut_Hurlebaus_DesRoches_2011_SMA_Review.pdf
- Ryan et. Al. (2010): Ryan, K.L., Sayani, P.J., Dao, N.D., Abraik, E., Baez, Y.M. "Comparative lifecycle analysis of conventional and base-isolation buildings" proceedings of the 9th US and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Toronto.
- Sladek, J. and Klingner, R. (1983). "Effect of Tuned-Mass Dampers on Seismic Response." J. Struct. Eng., 10.1061/(ASCE)0733-9445(1983)109:8(2004), 2004-2009.
- Terzic, V., Merrifield, S.K., Mahin, S.A., (2012) "Lifecycle cost comparisons for different structural systems designed for the same location" Proceedings 15 World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa.
http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_4678.pdf



7. CARACAS: VULNERABILIDAD DE ACCESOS Y SERVICIOS PÚBLICOS

Autor: Eduardo Páez-Pumar H.

RESUMEN

El 2017 se cumplen 50 años del terremoto de Caracas, ocurrido el 29 de julio de 1967; movimiento sísmico que dejó un balance de 2.000 heridos, 236 muertos, 80 mil personas sin vivienda y daños materiales de más de 10 millones de dólares, que incluyeron 6 edificios destruidos, 40 declarados no habitables y 180 que sufrieron deterioros graves.

En este trabajo, se presentan de manera resumida algunos aspectos relativos a la vulnerabilidad actual de Caracas ante un nuevo evento sísmico, específicamente en lo que respecta a la comunicación de la ciudad con su entorno y con el resto del país, así como a la problemática que se podría presentar con los diferentes servicios públicos.

Al final se hacen algunas conclusiones y recomendaciones para reducir la vulnerabilidad de la ciudad capital, en lo que a comunicaciones y servicios públicos se refiere.

7.1. INTRODUCCIÓN

En el tramo central de la Cordillera de la Costa existe un fenómeno geográfico de gran importancia para Venezuela, se trata de una depresión tectónica que tiene una longitud de 25 kilómetros de largo y 4 kilómetros de ancho. En esta depresión se formó el Valle de Caracas en el cual se asienta la ciudad capital. Este valle tectónico es producto de los movimientos de elevación experimentados por la serranía del Litoral, en el Paleozoico y de movimientos más recientes de elevación de la serranía del Interior.

La depresión tuvo su origen en una serie de fallas al pie del Ávila que son las responsables del hundimiento. Posteriormente fue cubierta de sedimentos aportados por el río Guaire, por el río Valle y por una serie de quebradas y ríos provenientes de la vertiente Norte como Caroata, Catuche, Anauco, Chacaíto, Tócome, etc, que depositaron sedimentos en forma de abanicos aluviales, muchos de los cuales avanzaron hacia el sur empujando el curso del río en el mismo sentido, por lo cual no corre en el centro de la depresión.

Los aportes aluviales generaron suelos agrícolas que fueron cultivados desde fines del siglo XVI, hasta las primeras décadas del Siglo XX, pero el desarrollo progresivo experimentado por la ciudad en los últimos setenta años impuso el patrón urbano.

Caracas se encuentra entre los 880 y 1.100 metros sobre el nivel del mar (msnm). El resto de las poblaciones que integran la Gran Caracas se localizan a niveles distintos a los de la Capital. Guarenas y Guatire están cerca de los 400 msnm, bastante más abajo están los valles de Tuy. Los Altos Mirandinos y El Junquito están sobre los 1.200 msnm y en algunos lugares sobre los 2.000 msnm y los pueblos costeros de Vargas están a nivel del mar. Esta condición geográfica dificulta las comunicaciones de la ciudad capital con sus poblaciones vecinas.

La microsismicidad de la región está definida por un cinturón Este-Oeste de actividad sísmica de 400 Km de largo y 70 Km de ancho. Esta actividad ocurre mayoritariamente a lo largo y ancho de dos zonas subparalelas, San Sebastián costa afuera y La Victoria en el territorio continental, y en menor grado en otras fallas de orientación Noroeste-Sureste que ocurren en el área. (Pérez, 1997).

En la **Figura 7-1** del Mapa de Fallas Cuaternarias de Venezuela, el cual es producto de un proyecto de cooperación entre el U.S. Geological Survey (USGS) y la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) con el apoyo del Instituto Tecnológico Venezolano del Petróleo S.A. (INTEVEP) y Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), se pueden observar la falla de San Sebastián

identificada como VE-16, así como las fallas de La Victoria identificada como VE-08d y la falla de Pichao, ambas perteneciente al sistema de fallas de La Victoria. En el mapa también se puede observar el sistema de fallas Tacagua - El Ávila integrado por la falla Tacagua (VE-10a) y la falla El Ávila (VE-10b) que pasa por el límite norte de Caracas.

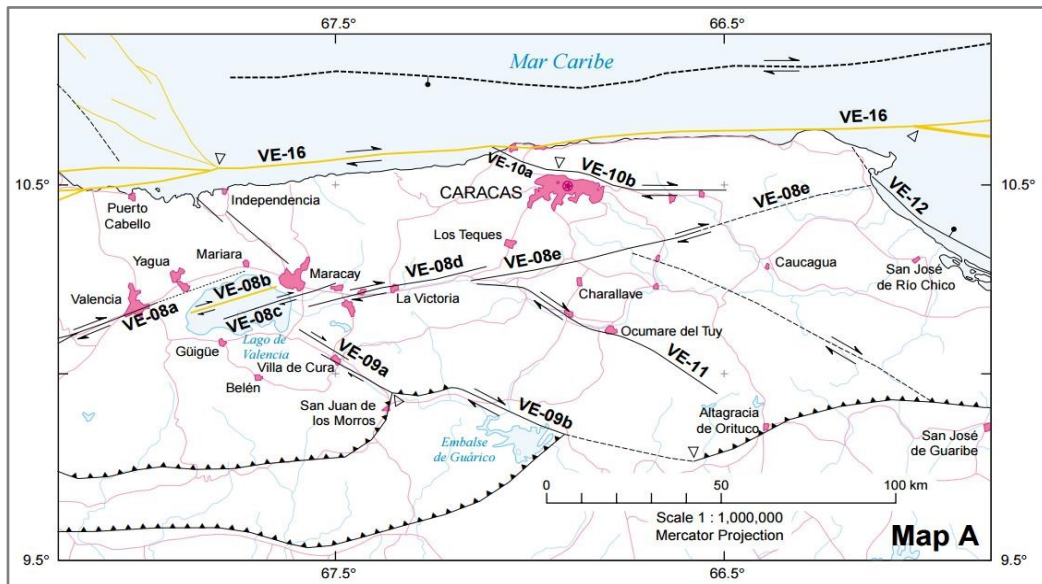


Figura 7-1: Mapa de Fallas Cuaternarias de Venezuela.
(Fuente: FUNVISIS, 2000)

Las condiciones geológicas del Valle de Caracas han sido reflejadas en el mapa geológico del Cuaternario y de las fallas cuaternarias (Singer, 2007), sobre el cual se desarrolló una propuesta geológica de microzonas sísmicas homogéneas del valle de Caracas (Oropeza & Zambrano, 2007), mostrada en la **Figura 7-2**.

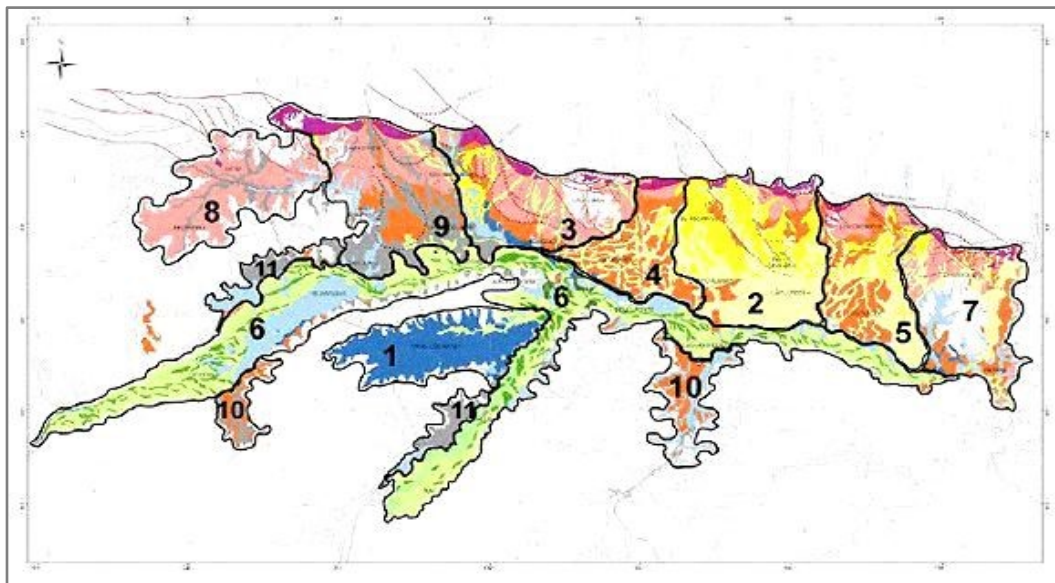


Figura 7-2: Propuesta Geológica de Microzonas Sísmicas para el Valle de Caracas.
(Fuente: Oropeza y Zambrano, 2007).

Según la propuesta geológica de microzonas sísmicas realizada por Oropeza y Zambrano el año 2007 y publicada por la Facultad de Ingeniería de la UCV (v.26 n.2 Caracas jun. 2011), en el límite norte de la ciudad, la mayor fuente local de amenaza coincide con la franja de deformaciones piemontinas cuaternarias desarrolladas por la falla de El Ávila en su condición de falla activa de sitio. Según dicha propuesta, en ambos extremos del norte de la ciudad se identifican las zonas N° 7 y N° 8, descritas de la siguiente manera:

- Zona N° 7. Núcleo rocoso de El Marqués.
Hacia el cierre oriental de la cuenca aluvial del Valle de Caracas, se ubica un núcleo rocoso de los Esquistos Las Mercedes rodeado de material de origen aluvial depositado principalmente por las quebradas Tócome, Caurimare, Galindo y Pasaquire. Esta última quebrada fue rellenada artificialmente para la construcción de la actual Av. Sanz y del distribuidor vial hacia la Av. Boyacá (Cota Mil) cuando se prolongó esta avenida hacia el este en 1972. El dispositivo señalado genera zonas potencialmente conflictivas debido a las cuñas sedimentarias adosadas contra el referido basamento rocoso.
- Zona N° 8. Cuenca alveolar de Catia.
La cuenca de Catia representa un enclave natural formado por estribaciones rocosas del Esquisto Las Brisas dispuestas en formas de herradura, condición que genera sitios susceptibles de sufrir efectos de borde de cuenca. Según Camacho (1927), esta depresión presenta intercalaciones de niveles de arena fina y gruesa, greda y arcilla saturados de agua, cuyos depósitos arcillosos eran utilizados para producir materiales destinados a la construcción (Manzano, 1951). La importancia de estos depósitos para fines de microzonificación sísmica se basa en el potencial de los mismos en generar asentamientos del terreno.

7.2. VULNERABILIDAD DE LOS ACCESOS A CARACAS

7.2.1. Vulnerabilidad Vial

El porcentaje de vías asfaltadas de la capital representa el 53% del total nacional. La longitud del sistema vial de la capital es de aproximadamente 250 Km. y la ocupación de las vías vehiculares constituye el 15% de la superficie total.

Esta red vial está saturada al extremo de que el Área Metropolitana de Caracas, que representa solo el 1,1% de la superficie total del país, alcanza a concentrar el 47,3% del parque de autobuses/minibuses que circulan en Venezuela, lo que equivale a 12 veces el número de vehículos promedio por kilómetro de vías disponibles en el país.

Caracas tiene un Sistema Expreso Vial Interurbano que la comunica con sus ciudades dormitorio y con el resto del país. Este sistema vial está constituido por cuatro rutas principales: Caracas-La Guaira, Caracas-Guarenas-Guatire, que incluye la conexión al Sistema Expreso Centro - Oriental del país vía la Autopista Gran Mariscal de Ayacucho (AGMA), Caracas -Valles del Tuy que incluye la conexión al Sistema Expreso Centro - Occidental del país vía la Autopista Regional del Centro (ARC) y Caracas - Altos Mirandinos vía la Carretera Panamericana. Ver Esquema en la **Figura 7-3**.

Las cuatro rutas del Sistema Expreso Interurbano de Caracas se encuentran hoy en día, saturadas y las rutas alternas como las carreteras Caracas - La Guaira, Caracas - Guarenas - Guatire, Petare - Santa Lucía y Las Adjuntas - El Tambor están en mal estado, rodeadas de barrios con viviendas autoconstruidas sumamente vulnerables y tienen poca capacidad para absorber el volumen vehicular en caso de una interrupción.

Por esta razón y por estar Caracas emplazada en un valle tectónico rodeado de montañas y colindando por el norte con el sistema de fallas Tacagua - El Ávila, la ciudad capital es altamente vulnerable y corre el riesgo de quedar aislada ante una condición sísmica.

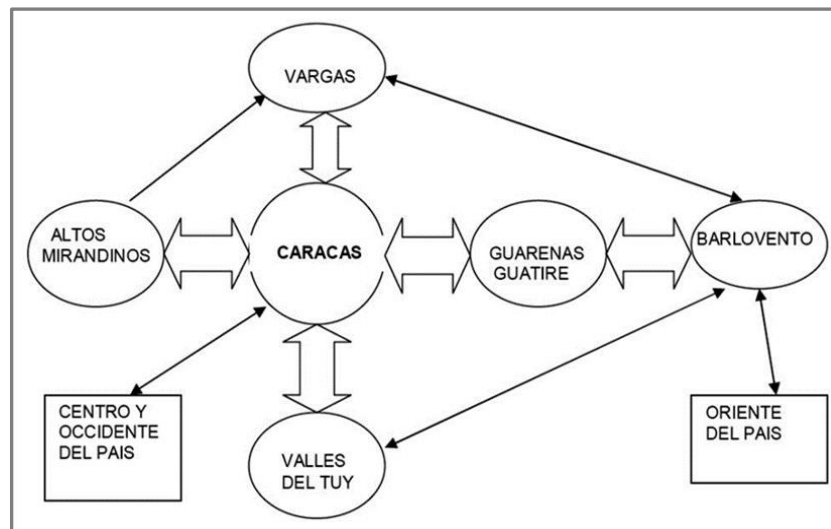


Figura 7-3: Sistema Expreso Vial Interurbano.
(Fuente: MINFRA, 2009)

A continuación se describen las vulnerabilidades existentes en los accesos viales de la ciudad.

7.2.1.1 Autopista Caracas - La Guaira

La Autopista Caracas-La Guaira (ACLG) presenta fallas geológicas en sus primeros cuatro kilómetros que han sido parcialmente corregidas. Esta condición de inestabilidad geológica no es nueva. La construcción de viviendas informales en los cerros aledaños a la autopista sin la canalización y empotramiento de las aguas servidas, ha sido el detonante de procesos geodinámicos con deslizamientos y fallas de borde.

En los últimos 12 años se han evidenciado en los primeros 4 kilómetros, frecuentes movimientos de masa y más de 10 grandes deslizamientos, particularmente en las progresivas 0+600, 2+000, 2+300, 2+900 y 3+100.

La falla de mayor magnitud ocurrió en febrero del 2011, cuando se fracturó la pantalla atirantada del kilómetro N° 1 de la ACLG como se observa en la imagen [Figura 7-4](#) y se produjeron levantamientos de la carpeta asfáltica con pliegues de más de 40 cm de alto como se muestra en la imagen [Figura 7-5](#).



Figura 7-4: Falla en el Kilómetro N° 1 de la Autopista Caracas - La Guaira.
(Autor: Páez-Pumar, 2011).



Figura 7-5: Pliegues del pavimento de más de 40 cm afectaron el sobre ancho.
(Autor: Páez-Pumar, 2011).

Para solucionar parcialmente este problema se construyó una barrera de pilotes que permitió detener el deslizamiento, cuya profundidad (detectada con inclinómetros) llegaba a los 30 metros.

El proyecto de estabilización consistió en la construcción de doce unidades formadas cada una por 26 pilotes con diámetros de un metro veinte (1,20 m) y con profundidades medias entre 36 y 42 metros. Las unidades luego fueron unidas por una viga de amarre hasta formar una barrera compacta.

Simultáneamente se cortó la ladera de la montaña, unos ocho metros del lado izquierdo bajando para mantener un margen de seguridad y se restituyó la capa asfáltica en la que se produjeron los levantamientos, lo que permitió realizar las obras de estabilización de la pantalla atirantada con contrafuertes y con una cortina de 600 micropilotes.

Adicionalmente se desalojaron y demolieron 450 viviendas del barrio Federico Quiroz. Ver **Figura 7-6** del refuerzo de la pantalla atirantada durante su construcción.



Figura 7-6: Refuerzo de pantalla atirantada.
(Autor: Páez-Pumar, 2011).

La solución definitiva a este problema es la construcción del Viaducto Tacagua, actualmente en ejecución, el cual es la prolongación del Viaducto Alterno al Viaducto N° 1 de la ACLG hasta llegar al antiguo Peaje Caracas donde se construirá el Distribuidor Macayapa, para comunicar la Autopista Caracas-La Guaira con la Avenida Boyacá, Catia y el Distribuidor La Araña. Lamentablemente estos trabajos están paralizados por falta de fondos para su terminación.

Tanto el Viaducto Alterno al Viaducto N° 1 de la ACLG como su prolongación hasta el Distribuidor Macayapa han sido ubicados en la margen derecha de la quebrada de Tacagua, al norte de la falla Tacagua-El Ávila, en una zona denominada Augengneis de Peña de Mora del Complejo Ávila (Urbani y Ostos, 1989). Esta zona está compuesta por gneises, augengneis, cuarcitas, esquistos cuarzo-muscovíticos y ocasionales anfibolitas (González de Juana et al., 1980) particularmente en el tramo entre Blandín y Plan de Manzano y garantiza una mayor estabilidad geológica ante un fenómeno sísmico.

La característica geológica de la margen izquierda de la quebrada de Tacagua, al sur de la falla Tacagua-El Ávila es totalmente diferente, ya que pertenece a la formación Las Mercedes, compuesta básicamente por esquistos cuarzo-muscovíticos-grafíticos-calcáreos muy propensos a la meteorización química (González de Juana et al., 1980) y por ende muy proclive a deslizarse en laderas de mediana a alta pendiente; deslizamientos que pueden ser activados por un sismo de mediana intensidad. Por esta inestabilidad geológica, en la zona de Gramovén y Altavista se han venido presentando los problemas de deslizamientos descritos con anterioridad, muchos de ellos generados durante el sismo de 1967 y reactivados con las lluvias de 1999 y 2005. Es de hacer notar que el progresivo deslizamiento de la ladera sur del Viaducto N° 1 de la ACLG, generó las deformaciones que condujeron al colapso de su estructura en el año 2006.

Como se vio en el capítulo anterior, la salida de Caracas por Catia hacia La Guaira está ubicada en la Cuenca alveolar de Catia (Zona 8), con depósitos arcillosos que pueden generar asentamientos del terreno ante sollicitaciones sísmicas; condición esta que se suma a la inestabilidad geológica de los primeros 4 kilómetros de la ACLG.

7.2.1.2 Autopista Gran Mariscal de Ayacucho

En el caso de la Autopista Gran Mariscal de Ayacucho (AGMA), tramo Caracas - Guarenas - Guatire-, han ocurrido también procesos geodinámicos con deslizamientos y fallas de borde de magnitudes importantes. El de mayor relevancia está ubicado en el kilómetro 5 a la altura de los bloques de Caucagüita subiendo hacia Caracas frente a Parque Caiza, originado por la falta de canalización de aguas servidas en los barrios de Caucaguita. En este lugar se vienen presentando deslizamientos desde mediados del 2008.

El proyecto de estabilización del talud aguas arriba, contempló los trabajos de construcción de canales a lo largo de la falla y las obras de rectificación de los sistemas de captación y canalización de aguas superficiales, para garantizar su estabilización a largo plazo. En este caso también fue necesaria la construcción de una pantalla de concreto y la restitución de la carpeta asfáltica, debido a que se produjeron grietas y levantamientos del pavimento en cada uno de los tres canales de ambas pistas.

Se han realizado estudios de exploración del subsuelo para determinar el nivel de saturación que presenta, ya que continúan existiendo deslizamientos al este de pantalla de concreto construida. La reparación definitiva aún no ha sido realizada. La **Figura 7-7 a)** muestra las grietas existentes en la pantalla y los deslizamientos del talud ocurridos en el Kilómetro 5 de la AGMA y en la **Figura 7-7 b)** se observan las grietas y levantamiento de la isla central de la vía.



Figura 7-7 a): Grietas en la pantalla y deslizamiento del talud. **Figura 7-7 b)**: Grietas y levantamiento de la isla central.
Ubicación: Kilómetro 5 de la AGMA, frente a Parque Caiza.
(Autor: Páez-Pumar, 2017).

En la pantalla atirantada del Kilómetro 1 de la AGMA a la altura de la Urbanización Miranda fallaron varios tirantes, los cuales producto de la gestión realizada por la Asociación de Propietarios de la Urbanización Miranda, fueron reparados. Queda pendiente una evaluación de la condición de cambios tensionales y deformaciones ocurridas en el resto de los tirantes anclados que no han mostrado fallas externas evidentes.

Como se vio en el capítulo anterior, la salida de Caracas por Petare hacia Guarenas está ubicada en el Núcleo rocoso de El Marqués (Zona 7), en la que el relleno de la quebrada Pasaquire para la construcción de la actual Av. Sanz y del distribuidor vial hacia la Av. Boyacá (Cota Mil), genera zonas potencialmente conflictivas debido a las cuñas sedimentarias adosadas contra el referido basamento rocoso; condición esta que se suma a la inestabilidad geológica del kilómetros 5 de la AGMA.

Las autopistas que comunican con La Guaira (ACLG) y con Guarenas (AGMA) siguen un trazado paralelo a la falla Tacagua - El Ávila que pasa por el límite norte de la ciudad, lo cual contribuye en aumentar la vulnerabilidad existente.

7.2.1.3 Autopista Regional del Centro (Valles del Tuy y Centro - Occidente)

La comunicación de Caracas con los Valles del Tuy y con el Centro - Occidente del país se realiza por la Autopista Regional del Centro (ARC), la cual también viene presentando problemas de inestabilidad geológica, con deslizamientos y fallas de borde, particularmente en el tramo comprendido entre Hoyo de la Puerta y Tejerías, en el que las invasiones se han venido incrementando.

Sin embargo, el punto más vulnerable de la ARC es el Viaducto de La Cabrera. La problemática de falla de este viaducto ha sido suficientemente estudiada, pero las reparaciones y refuerzos realizados a la estructura han sido parciales e incompletos.

Entre los trabajos que faltan está reforzar el sistema de fundaciones de la estructura y adecuarla a la normativa sísmica vigente, ya que los suelos sobre los cuales está fundado son susceptibles a sufrir licuefacción.

Hay que recordar que la ARC entre Las Tejerías y Maracay sigue un trazado paralelo a la falla de La Victoria, lo cual contribuye en aumentar la vulnerabilidad existente.

Ver **Figura 7-8** del Viaducto La Cabrera.



Figura 7-8: Viaducto La Cabrera de la ARC.
(Autor: Páez-Pumar, 2005).

7.2.1.4 Carretera Panamericana (Altos Mirandinos)

La comunicación de Caracas con los Altos Mirandinos se realiza por la Carretera Panamericana, la cual se ha visto afectada significativamente por deslizamientos y fallas de borde debido a las invasiones y construcciones ilegales ocurridas durante los últimos 10 años en los primeros 4 kilómetros.

7.2.1.5 Rutas alternas

Las rutas alternas como las carreteras Caracas - La Guaira, Caracas - Guarenas - Guatire, Petare - Santa Lucía y Las Adjuntas - El Tambor al igual que la Carretera Panamericana se han venido llenando de

barrios cada vez más concentrados y poblados y tienen poca capacidad para absorber el volumen vehicular en caso de una interrupción.

7.2.2. Otros accesos

7.2.2.1 Ferrocarril del Tuy

El ferrocarril del Tuy es una alternativa de comunicación con Caracas que podría ser utilizada como contingencia ante un colapso de la red vial interurbana de la ciudad.

7.2.2.2 Aeropuerto La Carlota (Generalísimo Francisco de Miranda)

La Base Aérea Generalísimo Francisco de Miranda representa la contingencia más importante ante una condición sísmica que genere obstrucciones de la red vial interurbana de Caracas y deje a la ciudad incomunicada. Esta pista de aterrizaje es básica para poder atender una situación de catástrofe y surtir de alimentos y medicamentos a la ciudad.

En el aeropuerto La Carlota el Gobierno Nacional ha planteado construir el Parque Simón Bolívar, proyecto en el que está prevista la permanencia de la pista de aterrizaje para ser utilizada en casos de extrema emergencia o situaciones catastróficas. Sin embargo en paralelo con este proyecto, la Alcaldía Metropolitana de Caracas realizó un Concurso Público de Ideas para transformar la Base Aérea La Carlota en Parque Verde Metropolitano y el proyecto ganador eliminó la pista de aterrizaje.

No se puede pensar que el parque aéreo de helicópteros realice todas las labores, ya que ante situaciones de emergencia tiene que concentrarse en operaciones helitácticas SAR de búsqueda, rescate y traslado de heridos.

7.3. CRECIMIENTO DE LAS CONSTRUCCIONES INFORMALES

Junto con la ciudad formal ha venido creciendo la informal, la de los desarrollos no controlados. Éstos han venido acompañando el crecimiento urbano de Caracas a partir de los años 40 del siglo XX, y para comienzos de los 90, ocupaban el 13,25% del total de la superficie urbanizada en el valle central y sector sureste (OCEI y Fundacomún, 1993).

En Caracas según el libro *CABA, Cartografía de los barrios de Caracas 1966-2014* (Enlace Arquitectura y Grupo SSA, 2015), entre 1966 y 2014 se cuadruplicó el área de los barrios de 13,5 km² a 43,3 km², mientras que en las áreas urbanas formales solo se duplicó de 63,7 km² a 135,7 km². En términos de vivienda, las densidades son 3 y 4 veces mayores a la densidad recomendada por UN Hábitat para ciudades compactas. Más de la mitad de los barrios superan 400 habitantes por hectárea y alcanzan a ocupar el 60% del área, dejando poco espacio para el acceso al transporte público, vialidad, aseo urbano, servicios y equipamientos.

Según el estudio, actualmente existen 43.3 km² de asentamientos espontáneos de un total de 180 Km², pero el estudio muestra también que el 47% del total de los habitantes de la ciudad viven en barrios. Esto se debe a que los barrios tienen una mayor densidad habitacional (300 habitantes por hectárea), mientras que en el resto de la ciudad la densidad es menor (100 a 120 habitantes por hectárea).

Las **Figura 7-9 a)** y **Figura 7-9 b)** muestran el crecimiento de barrios en Catia entre 1966 y 2014, período en el que el sector oeste de esta población pasó de 64.433 habitantes a 157.692 habitantes.

El crecimiento en espacio ocupado y en densidad habitacional de los barrios genera una mayor vulnerabilidad sísmica para los habitantes de Caracas. Estas construcciones informales se vienen

desarrollando particularmente en la periferia de la ciudad y cercanas a las carreteras y autopistas que comunican a Caracas con el resto del país.

La experiencia del terremoto de Haití ocurrido 12 de enero de 2010, demostró lo frágil que pueden ser estas construcciones informales edificadas en laderas montañosas. El solo hecho de que existan barrios con viviendas colapsadas por un sismo, es suficiente como para que se colapse la circulación vial por una carretera ubicada al pie del barrio, aun cuando dicha vía no haya sufrido daños estructurales.

Como se indicó con anterioridad, las rutas alternas al Sistema Expreso Interurbano de Caracas, entre ellas las carreteras Caracas - La Guaira, Caracas - Guarenas - Guatire, Petare - Santa Lucía y Las Adjuntas - El Tambor están en mal estado y rodeadas de barrios, por lo que tienen una alta probabilidad de colapso de circulación vial.

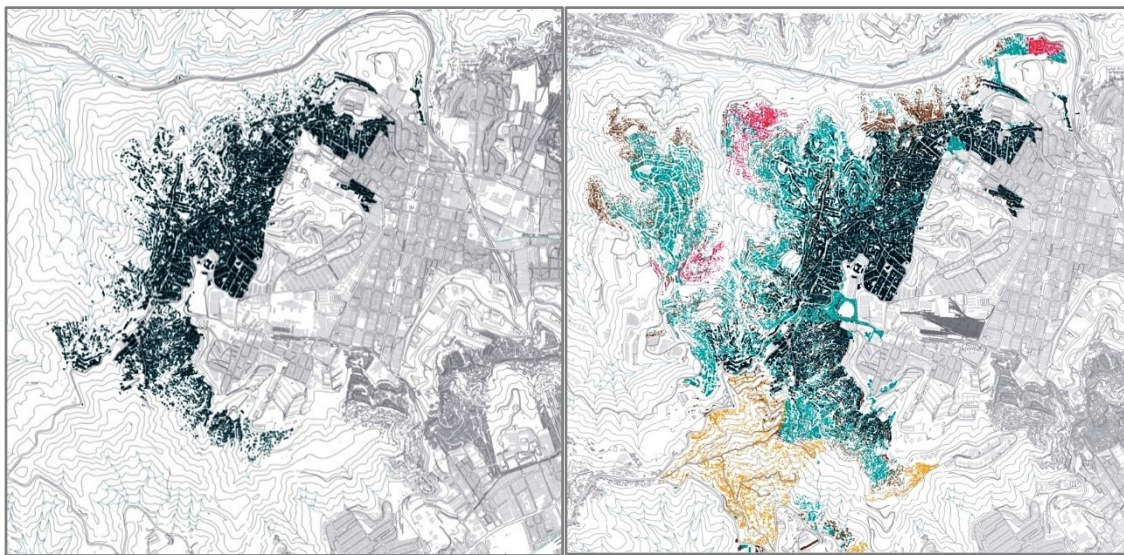


Figura 7-9 a): Catia en 1966 (64.433 hab.)

Figura 7-9 b): Catia en 2014 (157.692 hab.)

(Fuente: Cartografía de los barrios de Caracas, 2015)

7.4. VULNERABILIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS

Aun cuando los servicios públicos de electricidad, teléfonos y acueductos no se vieron afectados por el terremoto de Caracas de 1967, la ciudad ha ido creciendo y ha ido demandando nuevas ampliaciones de estos servicios, las cuales describiremos a continuación.

7.4.1. Vulnerabilidad en el suministro de energía eléctrica

La infraestructura del sistema de servicio eléctrico de Caracas ha cambiado mucho desde 1967. A partir de 1969 la Electricidad de Caracas se incorporó al Sistema Interconectado Nacional (SIN). A comienzos de los 70 se inaugura la central Oscar Augusto Machado (OAM) y entre 1978 y 1981, entran en funcionamiento las unidades 7 a 9 de la Ampliación de Tacao con 400 Mw cada una y en 1993 son repotenciadas a 460 Mw. Recientemente se ha venido incorporando Termocentro en la Valles del Tuy.

Debido a la falta de un mantenimiento adecuado y por problemas con el suministro de gas, parte de la generación termoeléctrica de Caracas está indisponible, por lo que la energía no producida localmente, es

suministrada por el SIN; lo que ha condicionado una gran dependencia de la energía hidroeléctrica proveniente del bajo Caroní.

La red de transmisión de 230 kV conectada al SIN, cruza Caracas por el Ávila de Oeste a Este y baja paralela a la quebrada de Tacagua para llegar a Tacoa, siguiendo el mismo alineamiento de la falla Tacagua - El Ávila. Sin embargo hay una red de contingencia por la zona de El Junquito, pero que también baja a Tacoa por el abra de Tacagua.

La ubicación de las Plantas Generadoras y su relación con la red de transmisión y el SIN se observa en la **Figura 7-10**.

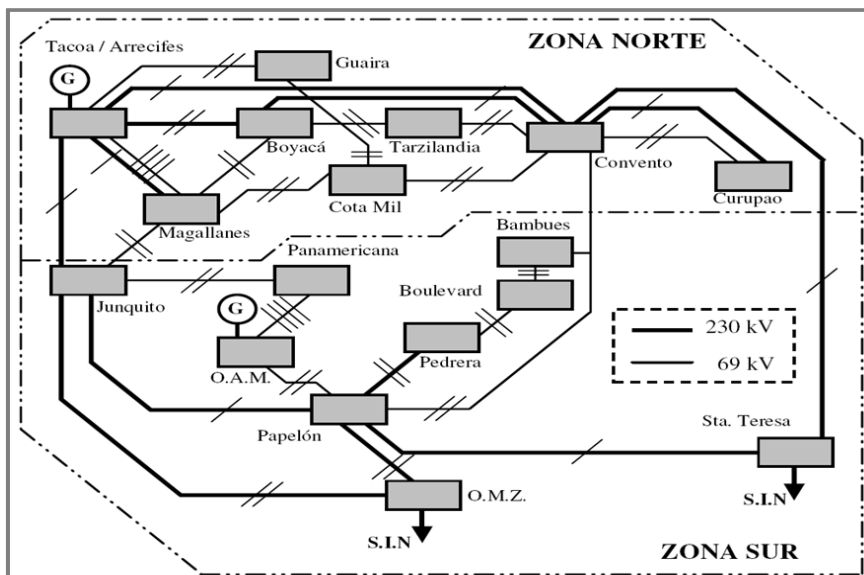


Figura 7-10: Plantas Generadoras y su relación con la red de transmisión.
(Fuente: De Andrade, 2001).

Con la Ley Orgánica de Reorganización del Sector Eléctrico del 31 de Julio de 2007, se crea la figura de la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC) y se nacionaliza e integra a Corpoelec, la Electricidad de Caracas C.A.

Al asumir Corpoelec el suministro eléctrico de la ciudad capital, suspende varios de los programas de evaluación y mantenimiento de las líneas de transmisión, entre ellos los vuelos permanentes en helicóptero sobre las líneas de 230kV que hacían sondeos térmicos y los programas de *pica y poda* para el control de la vegetación, por lo que con los frecuentes incendios las torres de las líneas de transmisión han estado expuestas al fuego, particularmente las que recorren el Ávila por la zona norte de la ciudad.

Una falla eléctrica prolongada producida por una interrupción de las líneas de transmisión o por falta de gas debido a daños en la tubería de aducción a las plantas termoeléctricas, afectaría el transporte público, particularmente al Metro de Caracas, dejaría sin agua a la ciudad, ya que el Acueducto Metropolitano de Caracas depende de los sistemas de bombeo para subir el agua a Caracas y afectaría también las labores de rescate y servicios médico asistenciales.

7.4.2. Vulnerabilidad en el suministro de agua potable

El Acueducto Metropolitano de Caracas al igual que el servicio eléctrico de la capital, se amplió significativamente entre 1967 y 1999. En 1967 se termina la primera etapa del Sistema Tuy II, el cual continúa aumentando su capacidad hasta 1980. A partir de 1981 se inaugura la primera línea del Sistema Tuy III, cuya tercera línea es terminada en 1997. Entre 1967 y 1999 se construyeron los embalses de Camatagua, La Pereza, Ocumarito, Taguacita, Taguaza y Macarao.

Las ampliaciones de infraestructura realizadas en el acueducto permitieron ampliar su capacidad de 4.000 litros/seg en 1967 a 19.000 litros/seg en 1999.

En el caso del Sistema Tuy III, el suministro de agua a Caracas se realiza por intermedio de dos tuberías de 100 pulgadas con complejos sistemas de bombeo y grandes torres piezométricas, o chimeneas de equilibrio para absorber el golpe de ariete, ubicadas en el recorrido de ascenso a la capital.

Algo similar ocurre con el Sistema Tuy II, con la diferencia de que sus tuberías son de menor diámetro. Ambos sistemas bombean agua desde los Valles del Tuy y cruzan la cordillera o serranía del interior para alimentar la red del acueducto de Caracas.

Desde 1999 son muy pocas las ampliaciones y mejoras que han sido realizadas, por lo que los sistemas existentes se han venido envejeciendo y son más vulnerables a interrupciones bruscas del servicio eléctrico que afecten el sistema de bombeo. Ante una falla eléctrica se requieren 24 horas para recuperar el flujo normal de agua de la capital.

7.4.3. Vulnerabilidad en las telecomunicaciones

El sector telecomunicaciones es el que más ha evolucionado desde 1967. Hoy en día este sector es vital para la operación de los servicios públicos, así como de los sectores industrial, comercial, financiero, bancario y para las operaciones del Estado y de los servicios de inteligencia. La telefonía fija ha venido siendo sustituida por la telefonía celular y los servicios de internet están a la disposición de un alto porcentaje de la población de la ciudad.

Las redes de comunicaciones telefónicas las componen circuitos interconectados que van desde troncales mayores de alta capacidad entre las ciudades principales, hasta líneas individuales que conectan a cada subcriptor. Cada línea llega a un nodo, donde se producen las interconexiones necesarias para las comunicaciones. Existen sistemas automáticos que buscan la mejor de las distintas alternativas de conexión, por lo tanto una o más fallas en la cadena no terminan con el bloqueo del sistema. Pero si una o más centrales importantes quedan fuera de servicio, puede ocurrir la suspensión temporal del servicio en un sector, o la saturación total de este por exceso de llamadas entrantes.

Los daños más comunes ante condiciones sísmicas son las rupturas de los cables enterrados, ya sea por la propagación de las ondas sísmicas, por el movimiento de fallas geológicas o por fallas del terreno (derrumbes, hundimientos, licuefacción).

En las estaciones de radio de microondas o de telefonía celular, la transmisión ocurre entre antenas colocadas en torres instaladas en el suelo o sobre edificios. En algunos casos, por fallas de la fundación y daño de la estructura de la torre o del soporte de las antenas, es posible que se pierda la alineación entre las estaciones repetidoras, interrumpiéndose o deteriorándose la comunicación.

7.4.4. Vulnerabilidad en el manejo de los residuos y desechos sólidos

Los residuos y desechos sólidos de Caracas son depositados en el relleno sanitario La Bonanza (ubicado en la vía a Charallave) por los camiones recolectores de las alcaldías de los municipios Baruta, Chacao, El Hatillo y Sucre que viajan directamente y sin escalas a depositar la basura.

En el caso de la alcaldía del municipio Libertador, los camiones recolectores depositan la basura en la planta de transferencia de Las Mayas, ubicada en Turmerito, pero esta planta opera actualmente como un botadero a cielo abierto y no tiene holguras de almacenamiento, ya que está totalmente saturada. De las Mayas los desechos sólidos son trasladados en camiones de mayor capacidad al relleno sanitario La Bonanza.

Actualmente el Área Metropolitana de Caracas produce cerca de 5.630 toneladas diarias de desechos y residuos sólidos, que se acumularían en la capital si se interrumpe el acceso a La Bonanza por la Autopista Regional del Centro

7.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como hemos visto en los capítulos anteriores, Caracas ante un fenómeno sísmico es hoy una ciudad mucho más vulnerable a nivel de transporte y servicios públicos de lo que era en 1967. Entre otras razones, por el crecimiento de las construcciones informales sin servicios de recolección de aguas servidas y sin recolección adecuada de desechos y residuos sólidos, que afectan los taludes de la red vial de acceso a la ciudad.

Ante un sismo de envergadura, la ciudad puede quedar incomunicada si las autoridades gubernamentales no atienden adecuadamente las fallas existentes en la infraestructura vial y puede ocurrir que simultáneamente fallen los servicios públicos de agua y electricidad si no se hacen los mantenimientos adecuados.

Es urgente la toma de conciencia sobre la importancia de una posición proactiva frente al riesgo sísmico. Se hace imperativo un programa de reforzamiento estructural y de reubicación de viviendas identificadas en situación de peligro; así como la implementación de medidas orientadas a prohibir el desarrollo de nuevas viviendas informales auto-construidas en sectores identificados como suelos de alto riesgo.

Se recomienda dar prioridad a los siguientes trabajos:

- a) Terminar las obras de construcción del Viaducto Tacagua y del túnel Boyacá, así como construir el Distribuidor Macayapa para comunicar la autopista Caracas-La Guaira con la Avenida Boyacá, Catia y el Distribuidor La Araña.
- b) Ejecutar la reparación definitiva del deslizamiento existente en el Kilómetro 5 de la Autopista Gran Mariscal de Ayacucho frente a Parque Caiza.
- c) Realizar las reparaciones y refuerzos estructurales pendientes por ejecutar en el viaducto La Cabrera, dando énfasis en reforzar el sistema de fundaciones de la estructura.
- d) Evaluar la vulnerabilidad sísmica de los puentes y viaductos existentes para implementar programas de rehabilitación o refuerzo estructural, a fin de garantizar su seguridad
- e) Acometer un programa de rehabilitación y mejoramiento de barrios que garantice la estabilidad estructural de las viviendas, así como la recolección de las aguas servidas.
- f) Realizar un estudio de las fallas de borde existentes en las carreteras Caracas - La Guaira, Caracas - Guarenas - Guatire, Petare - Santa Lucía y Las Adjuntas - El Tambor para proceder con su inmediata reparación.

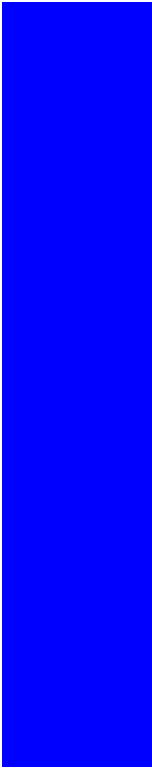
- g) Realizar las evaluaciones sistemáticas y los mantenimientos de *pica y poda* en la red de transmisión y distribución del servicio eléctrico de la ciudad.
- h) Llenar el embalse de Macarao cuya construcción se terminó el año 1999, pero nunca se llenó. Este embalse se diseñó como una solución para el abastecimiento de agua en condiciones de falla de los sistemas de bombeo procedentes de los valles del Tuy, ya que puede suministrar agua por gravedad a Caracas.

El haber vivido la experiencia de participar en labores helitácticas de rescate durante el terremoto de Guatemala ocurrido el 04 de febrero de 1976, cuya intensidad fue de 7,5 grados en la escala de Richter, cuando la ciudad de Guatemala quedó aislada por el colapso de carreteras y puentes y murieron en el país 23.000 personas y otras 70.000 resultaron heridas, me permite asegurar que las operaciones helitácticas SAR de búsqueda, rescate y traslado de heridos copan la disponibilidad de helicópteros y es necesaria la participación de aviones militares de carga para el traslado de alimentos, medicinas y apoyo castrense con el fin de controlar el vandalismo y los saqueos.

Por lo tanto, ante un sismo de grandes dimensiones y ante una falla de la red vial que comunica a Caracas con el resto del país, es de suma importancia la existencia de una pista de aterrizaje. Si se elimina la Base Aérea Generalísimo Francisco de Miranda y se sustituye por un parque, debe mantenerse la pista como una alternativa de emergencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUDEMARD M., FRANCK A. Mapa de Fallas Cuaternarias de Venezuela desarrollado por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas y USGS U.S. Geological Survey. (2000).
- CAPOBIANCO A., JOSÉ y HEREDIA T., JOSÉ V. Investigación geotécnica histórica y adecuación sísmica del Viaducto La Cabrera T001. Gobernación del estado Carabobo. Instituto Autónomo de Vialidad del estado Carabobo
- CILENTO SARLI, ALFREDO. Sobre la vulnerabilidad urbana de Caracas. Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales, vol. 8, n° 3 (sept.-dic 2002), pp. 103-118.
- DE ANDRADE, L.. Subestaciones de la Electricidad de Caracas. Plantas Generadoras y su relación con la red de transmisión (2001).
- GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE, J., PICARD, X. (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Editorial Foninves, Tomo I.
- INVITRAMI. Autopista Gran Mariscal de Ayacucho. Instituto de Vialidad y Transporte de Miranda. Revista Construcción (2007).
- MENDOZA, JORGE S. y PÉREZ, OMAR J.. Sismicidad y tectónica en Venezuela y áreas vecinas (1998).
- OROPEZA y ZAMBRANO. Propuesta Geológica de Microzonas Sísmicas para el Valle de Caracas. Facultad de Ingeniería de la UCV (v.26 n.2 Caracas jun. 2011)
- SILVA, ELISA, CARADONNA, VALENTINA y GALAVIS, ODETTE. Cartografía de los barrios de Caracas 1966-2014. Enlace Arquitectura y Grupo SSA (2015).
- SINGER, ANDRÉ, ZAMBRANO, ADRIANA, OROPEZA, JAVIER y TAGLIAFERRO, MAURICIO. Cartografía de las Unidades Geológicas Cuaternarias del Valle de Caracas. UCV, Escuela de Geología, Geofísica y Minas, Caracas. IX Congreso Geológico Venezolano (2007).
- URBANI, F. y M. OSTOS. 1989. El Complejo Ávila, Cordillera de la Costa.



8. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA COMO APOORTE PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN CARACAS

**Autores: Michael Schmitz
Julio Javier Hernández
y el grupo de trabajo del proyecto de
microzonificación sísmica de Caracas**

RESUMEN

El terremoto de Caracas de 1967 encontró a una ciudad moderna para la época y extendida en gran parte del valle sedimentario, donde se amplificaron las ondas sísmicas, sobre todo hacia el este de la ciudad. A pesar de que después del terremoto se hizo un análisis detallado del origen de los daños, los resultados respecto a los efectos de sitio de la cuenca profunda de Caracas no se reflejaron en las prescripciones de la norma COVENIN 1756. Esta situación motivó la realización del estudio de microzonificación sísmica de Caracas en los años 2005 a 2009, en el cual se determinaron microzonas de similar respuesta sísmica; la base para su delimitación la formaron los espesores de sedimentos hasta el basamento rocoso, las propiedades de las capas superficiales del terreno y la distribución de daños del terremoto de 1967. Se detalló la amenaza sísmica de Caracas correspondiente a recurrencias de 475 y 975 años; se desarrollaron modelos de respuesta dinámica de sitios calibrados con espectros de terremotos reales y ajustados con efectos 2D y 3D de la cuenca y topográficos y se estudió el peligro de deslizamientos por sismos y lluvias para determinar áreas prioritarias de intervención. Se efectuó una evaluación paramétrica de la vulnerabilidad estructural de edificaciones, la cual puede utilizarse como insumo para planes de mitigación del riesgo sísmico mediante evaluación y reforzamiento de edificaciones existentes. Para la utilización de los resultados en los diseños de las edificaciones y en la planificación urbana debe garantizarse su implementación en ordenanzas municipales y como complemento a la norma sísmica.

8.1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Caracas está ubicada en un valle de origen tectónico dentro de la Cordillera de la Costa, cerca de los sistemas de fallas San Sebastián y La Tortuga, responsables de la elevada amenaza sísmica, manifestada entre otros en los terremotos de 1812 y 1900. El terremoto más reciente que golpeó la ciudad ocurrió el 29 de julio de 1967 con eventos de magnitud total 6.6 y una distancia del evento más cercano de 25 km al noroeste (Suárez & Nábělek, 1990). La mayoría de los fallecimientos se debieron al colapso de 4 edificios en la parte profunda en el este de la cuenca, en la zona de Los Palos Grandes-Altamira, en la cual sufrieron daños estructurales otros 200 edificios (Briceño et al., 1978). Entre investigadores nacionales e internacionales (e.g. Grases, 1968; Whitman, 1969; Seed et al., 1970) se concluyó que los efectos de sitio de la cuenca profunda de Caracas, en conjunción con debilidades estructurales y la ubicación de los edificios de 10 o más pisos en la parte profunda de la cuenca, fueron las causas de estos daños, pero este conocimiento, hasta hoy, no se refleja adecuadamente en la normativa sismorresistente (COVENIN, 2001).

El movimiento del suelo y los daños a las estructuras que genera la actividad sísmica son fuertemente influidos por la geología y topografía del sitio y su contexto regional (Bard, 1999); sin embargo, la caracterización del movimiento sísmico local es bastante compleja. En Caracas, los estudios realizados en los años 70 fueron seguidos en los años 90 por evaluaciones del período fundamental de vibración del suelo en toda la extensión del valle (Abeki et al., 1998; Duval et al., 1998; Enomoto et al., 2000; Rocabado et al., 2000), con el fin de identificar los efectos de sitio, conjuntamente con estudios de la profundidad de los sedimentos con métodos gravimétricos (e.g. Sánchez et al., 2001; Moncada, 2005) y sísmicos (Sánchez et al., 2005).

En el marco del “Estudio sobre el plan básico de prevención de desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas”, ejecutado en los años 2003 – 2005 por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), con contrapartes nacionales (Yamazaki et al., 2004), se realizó una evaluación detallada de la respuesta sísmica, con base en los aspectos geológicos, geomorfológicos, geotécnicos y geofísicos actualizados. Sin embargo, no se logró modelar los daños ocurridos en 1967 en las zonas de gran espesor de sedimentos por limitaciones de la metodología aplicada. Se reforzó la conveniencia de impulsar el

Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas (PMSC), ejecutado en los años 2005 a 2009 con el objeto de discriminar la respuesta local del subsuelo ante la ocurrencia de sismos, para emitir recomendaciones de mitigación del riesgo asociado.

Aproximadamente la mitad de la población de esta urbe se ubica en construcciones informales en los cerros alrededor del valle. Por esta razón, se desarrolló en el marco del PMSC una evaluación del peligro de deslizamientos por lluvia y por sismos. Como orientación para los planes de mitigación del riesgo sísmico se incorporó en el PMSC una evaluación de la vulnerabilidad estructural de edificaciones, considerando las normas sísmicas y de construcción para su fecha de diseño, las diferentes alturas de las edificaciones y su ubicación en las microzonas sísmicas. Los resultados fueron calibrados con los daños del terremoto de 1967 y se desarrollaron 3 escenarios sísmicos, que luego fueron aplicados para la estimación del riesgo sísmico en el municipio Chacao.

Para la implementación de los resultados en ordenanzas municipales se iniciaron desde el año 2010 comunicaciones con las diferentes alcaldías del Área Metropolitana de Caracas (AMC), que llevaron al desarrollo de una propuesta de ordenanza en el municipio Libertador (Coronel et al., 2011), actualmente en discusión en Cámara Municipal y que deberá ampliarse a todo el ámbito metropolitano para la evaluación y reforzamiento de edificaciones existentes y el diseño de nuevas construcciones. En paralelo, se refuerza esta actividad con la incorporación de aspectos relevantes de la microzonificación sísmica en la actualización de la norma sísmica vigente (COVENIN, 2001).

8.2. AMENAZA SÍSMICA

En el marco del proyecto se elaboró un estudio probabilístico mediante la metodología de Cornell (1968) para estimar los movimientos sísmicos del terreno, considerado virtualmente como roca medianamente dura ($V_{s30} \sim 760$ m/s). Los insumos para su realización fueron el modelo sismogénico, que incluye parametrizaciones espaciales y temporales y las relaciones de atenuación de las respuestas espectrales del terreno en función de la magnitud de los sismos y su distancia al sitio. Se determinaron las tasas de excedencia de diversas intensidades de los parámetros A_0 (aceleración pico en roca) y A_1 (respuesta espectral para periodo T de 1 s), derivando las correspondientes a los periodos medios de retorno (PMR) de 475 y 975 años (10% y 5% de excedencia en 50 años, respectivamente). El estudio cubrió el Área Metropolitana de Caracas (AMC).

Las evaluaciones iniciales se basaron en el llamado modelo sismogénico FVIS/2005 y relaciones de atenuación (Abrahamson & Silva, 1997; Campbell, 1997; Sadigh et al. 1997; Idriss, 1993) que evalúan respuestas espectrales, usan la distancia a la ruptura de las fuentes y diferencian su cinemática (transcurrentes, inversas o normales); se llevaron a cabo mediante el programa EZ-FRISK (Risk Engineering Inc., 1998). Los resultados (Azuaje y Hernández, 2005; Molina y Hernández, 2007) mostraron diferencias con la norma sísmica, con valores variables de A_0 y A_1 , bastante bajos hacia el sur del AMC, en lugar de los valores uniformes de la norma sísmica. Una nueva evaluación, aumentando la actividad de la falla La Tortuga e incorporando efectos de directividad (Somerville et al., 1997) mediante el programa EASP (Hernández, 2007), calibrado satisfactoriamente contra el EZ-FRISK v.4.1, condujo a algunos incrementos, aún considerados insuficientes.

Se procedió a una revisión completa del modelo sismogénico de la región norcentral (Hernández, 2009a; 2009b); se encontró un aumento de la sismicidad global modelada, ya que algunas fallas, como La Tortuga, el segmento Pichao de la falla de La Victoria, y las fallas de San Antonio y de San Diego, mostraron un incremento importante. La falla de San Sebastián sufrió una reducción para sismos pequeños y aumento para los sismos mayores. Se efectuó una reevaluación de la amenaza sísmica con este nuevo

modelo, fijadas las otras condiciones de la evaluación anterior. Por el motivo indicado, los resultados fueron mayores en general (**Figura 8-1**; Hernández y Schmitz, 2009a).

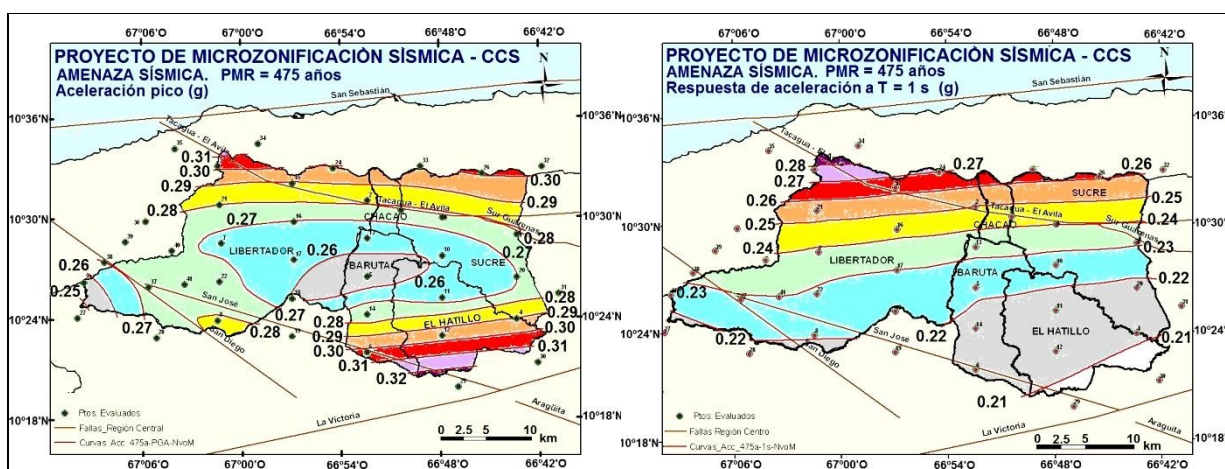


Figura 8-1: Amenaza sísmica en roca, PMR = 475 años: Aceleración pico (izquierda); Respuesta a $T = 1$ s ($\xi = 5\%$) (derecha).
(Fuente: Hernández y Schmitz, 2009a).

Se observa una inicial disminución de A_0 de norte a sur y un aumento al sur al acercarse a las fallas de La Victoria, San Antonio (= San José) y San Diego, contraria a la disminución continua anterior. Los valores extremos en el norte y el sur sobrepasan ligeramente la normativa, mientras que en el centro los valores son menores, con un mínimo en torno a 0.26 g. Los valores de A_1 siguen un patrón de disminución continua, de 0.28 a 0.21 g de norte a sur.

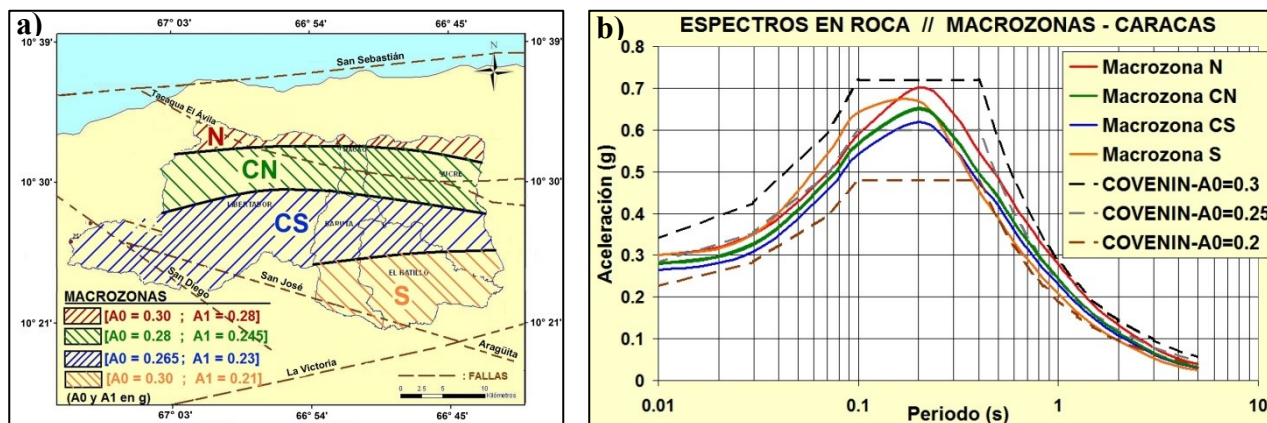


Figura 8-2: a) Macrozonas elegidas en el AMC; b) Espectros en roca de macrozonas vs. norma-S1.
(Fuente: Hernández y Schmitz, 2009a).

Se eligieron 4 macrozonas básicas: N (norte), CN (centro-norte), CS (centro-sur) y S (sur) (**Figura 8-2 a**), a las cuales se asignan valores de $\{A_0; A_1\}$. Para cada una se definieron espectros básicos en afloramiento rocoso (**Figura 8-2 b**) menores al normativo-S1, los cuales se calibraron contra la estadística del PEER (2005); permitirán diseños más económicos en sitios con roca sana, pero los normativos-S1 no son siempre más exigentes, pues abarcan terrenos duros/densos, donde en el PMSC se proponen espectros con valores mayores en la superficie de la cuenca. El espectro en roca de la macrozona CN es el básico para los estudios de sitio de la cuenca (Hernández et al., 2009a). Además se estudiaron las relaciones entre los espectros para PMR = 975, 700 y 475 años, aplicables a distintos grupos de construcciones (esenciales,

masivas y comunes) y se calculó la amenaza sísmica en término de intensidades de Arias para aplicación al análisis del peligro de deslizamiento de laderas.

Desde la perspectiva de la Norma (COVENIN, 2001), el estudio de amenaza sísmica del PMSC puede situarse dentro de los estudios especiales (Artículo 1.1) o estudios de sitio (Artículo 12.4) que la propia Norma recomienda. La Norma estipula que los resultados de estudios especiales no deberían ser inferiores al 80% de los normativos. La macrozona más meridional no está cumpliendo este control en cuanto a la aceleración pico en roca, sino que llega al 70%. Sin embargo, la reducción no es uniforme para todos los periodos del espectro. Se ha considerado que hay motivos suficientes para recomendar esta reducción, aliviando el control normativo, dado el empleo de más actualizadas relaciones de atenuación y la actualización del modelo sismogénico.

8.3. INVESTIGACIONES GEOMORFOLÓGICAS, GEOLÓGICAS, GEOFÍSICAS Y GEOTÉCNICAS

8.3.1. Geología y geomorfología

En el desarrollo del PMSC se hizo especial énfasis en la relación entre la geología, las características geofísicas de los depósitos y la respuesta dinámica que generan, para asociar los espectros tipificados a cada microzona. La base para la delimitación de las microzonas la constituye la cartografía de las principales formaciones geológicas y unidades geomorfológicas, en conjunto con la información sobre los espesores de sedimentos y las velocidades sísmicas de los estratos someros. Al mapeo de las principales unidades geológicas se agrega el análisis de la distribución de sedimentos cuaternarios (Singer et al., 2007), que permiten delimitar los límites de la cuenca sedimentaria, así como la conformación de los diferentes unidades cuaternarias dentro del valle.

8.3.2. Características de los sedimentos profundos

Los primeros mapas de espesores de sedimentos se generaron a partir de un estudio de refracción sísmica (Murphy et al., 1969) y de resultados de Kantak et al. (2005) obtenidos a partir de los pozos de agua interpretados por Delaware (1950), con el fin de explicar la distribución de los daños causados en Caracas por el terremoto de 1967. Se confirmó la existencia de dos depresiones de profundidad importante en el basamento rocoso, una de más de 300 m ubicada en Los Palos Grandes/Santa Eduvigis y la otra en San Bernardino, de 120 m según Murphy et al. (1969). También se identificaron 4 unidades litológicas cuaternarias principales: depósitos de abanicos aluviales (facies proximal y distal), terrazas del Río Guaire y depósitos lacustres (Kantak et al., 2005).

Sánchez et al. (2005) proponen un modelo de ondas P y S basado en mediciones sísmicas realizadas en el año 2001. Los sedimentos sueltos del valle con un espesor máximo de 100 m muestran velocidades de ondas P entre 800 m/s (por encima del nivel freático) hasta 1800 m/s (saturado). Debajo hay sedimentos consolidados con una velocidad promedio de 2800 m/s y el basamento rocoso con 3800 m/s para las ondas P. Las velocidades de las ondas S varían entre 450 y 850 m/s para los sedimentos del valle, y 1500-1600 m/s para los esquistos meteorizados, que alcanzan una profundidad entre 250 y 700 m y 3000 m/s por debajo. Para el basamento se consideró para el modelado dinámico una velocidad de propagación de las ondas S de 800 m/s para los esquistos meteorizados hasta 100 m de profundidad y 2500 m/s como promedio por debajo de 100 m (**Figura 8-3**).

Una estimación del promedio de la velocidad de propagación de las ondas S de los sedimentos, utilizando un mapa de espesores de sedimentos y de periodos predominantes del suelo (Schmitz et al., 2003) arrojó un valor promedio de las ondas de corte en la parte más profunda de la cuenca de 700 m/s. Cornou et al.

(2011) realizaron estudios de arreglos de ruido sísmico ambiental en 5 sitios del valle sedimentario de Caracas para determinar los valores de las velocidades de ondas de corte. Con los valores de V_s promedio calculado para los sedimentos de Caracas y los obtenidos por Cornou et al. (2011), se estimaron los valores de velocidad correspondientes a la capa de sedimentos saturados del valle de Caracas en 650 m/s y 850 m/s (por encima y por debajo de 100 m, respectivamente). Estos valores, juntos con los valores V_{s30} , fueron utilizados en el modelado dinámico de respuesta sísmica del suelo para Caracas (Hernández et al., 2011; **Figura 8-3**), el cual sirve como insumo para la definición de los espectros ajustados de diseño para las microzonas del AMC.

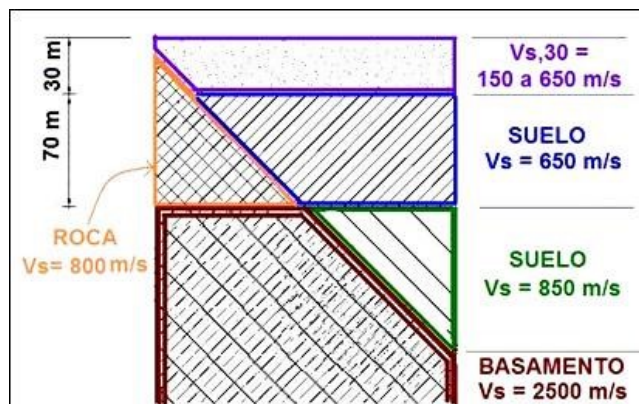


Figura 8-3: Modelo de velocidades utilizado en el modelado dinámico.
(Fuente: Hernández et al., 2011).

8.3.3. Características geofísicas y geotécnicas someras (V_{s30})

Uno de los parámetros críticos en la caracterización del subsuelo es la velocidad de las ondas de corte. Varios estudios han demostrado que valores bajos de las velocidades de las ondas de corte en superficie se relacionan con una gran amplificación sísmica del movimiento del terreno (Borcherdt & Gibbs, 1976; Hartzell et al., 2000). Se ha optado por el empleo de la velocidad de ondas de corte promedio de los primeros 30 m (V_{s30}), ampliamente referida mundialmente (BSSC, 2003, CEN, 2003), como parámetro del estudio 1D de este proyecto. Los mapas de V_{s30} se basan en los números de golpes de los ensayos SPT obtenidos de unas 5000 perforaciones geotécnicas (Feliziani et al., 2004), convertidas en velocidades de ondas de mediante fórmulas empíricas (Imai & Yoshimura, 1970; Ohta & Goto, 1978; Campos et al., 2004).

Dichos valores se comparan e integran con velocidades sísmicas obtenidas por observaciones directas, tal como mediciones sísmicas de refracción, análisis de ondas superficiales (SASW – *Spectral Analysis of Surface Waves*), arreglos de microtemores o mediciones de pozo (García et al., 2006; Morales et al., 2008) para el mapa de V_{s30} dentro del valle sedimentario. Las velocidades de onda de corte se dividen en 3 rangos, < 185 m/s, $185-325$ m/s y > 325 m/s, que representan los grupos de velocidades donde se observan los cambios más representativos en la respuesta local del suelo. Los mayores valores de velocidad de onda de corte se observan hacia la parte norte del valle (pie de montaña); en la zona más al oeste se observan valores predominantemente altos debido a la cercanía del basamento rocoso a la superficie, igualmente en la zona alveolar residual del afloramiento rocoso de los Esquistos Las Brisas. De igual manera se observan valores altos en los afloramientos de los Esquistos Las Mercedes en Bello Monte y La Urbina, al este del valle. Los valores mínimos corresponden a las zonas de sedimentos lacustres en el centro del mapa. Además, valores intermedios se observan en las riberas del río Guaire y del río Valle, desde la parte central del mapa hacia el sur, donde también se tienen algunos sedimentos lacustres (**Figura 8-4**).

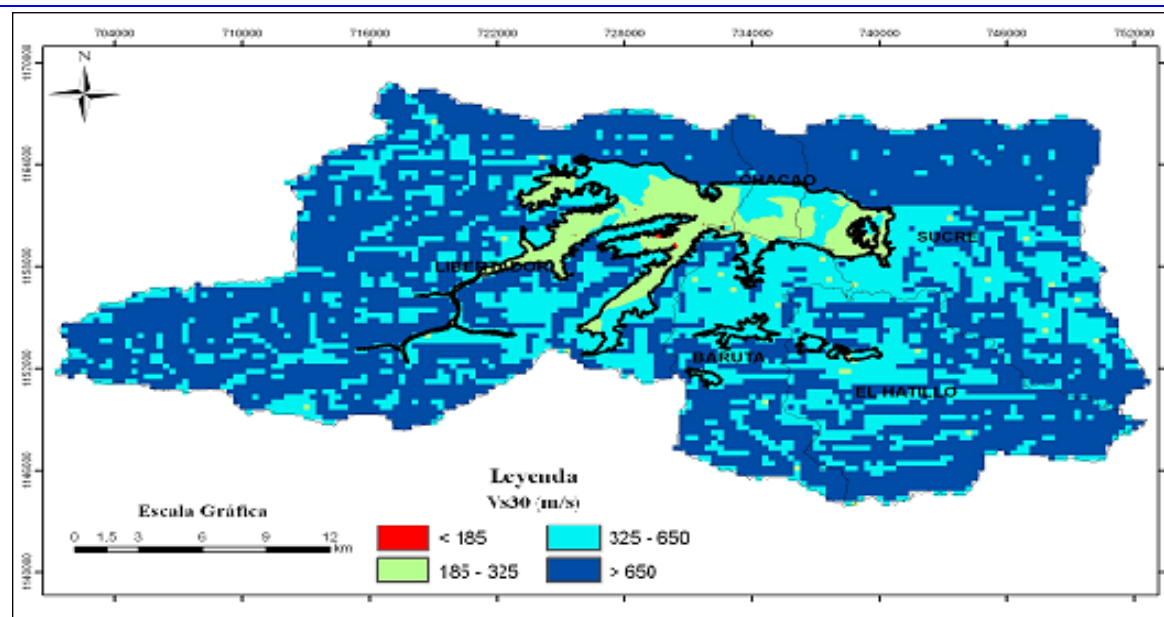


Figura 8-4: Integración de mapas de distribución Vs30.

obtenidos a partir de la conversión NSPT-Vs de datos geotécnicos y sísmicos, y a partir de aproximaciones de la topografía en el AMC. Dentro del área de sedimentos, línea negra, se utilizaron los valores derivados de la conversión NSPT-Vs y de los ensayos sísmicos. (Fuente: Morales et al., 2011).

Para extender las Vs30 a toda el AMC, incluyendo zonas de laderas, se utilizó una aproximación del valor Vs30 a partir de las pendientes topográficas. Se realizó un ajuste de relaciones exponenciales respecto a la relación entre la Vs30 y la pendiente topográfica de Allen & Wald (2009) (Morales et al., 2011) con base en un modelo digital del terreno definido desde la *Global Land Cover Facility* (GLCF, 2008). (Figura 8-4).

8.3.4. Espesores de los sedimentos

Se exploró el subsuelo del valle sedimentario de Caracas, con el objetivo de estudiar su perfil y determinar la profundidad del afloramiento rocoso. Los puntos de exploración seleccionados pertenecen a la zona de mayor espesor de sedimentos del valle, la cual coincide con la mayor concentración de daños durante el terremoto de 1967 (Briceño et al., 1978). Se ubican perforaciones en Los Chorros, La Carlota, Sebucán y San Bernardino; además, se contó con un pozo aportado por el Metro de Caracas C.A., ubicado en la Av. Baralt. En Los Chorros, La Carlota y Sebucán se realizaron perforaciones para la instrumentación acelerográfica e investigación del subsuelo, planteados hasta aprox. 10 m por debajo del tope de roca fresca (GISCA, 2006). Se obtuvieron los perfiles litológicos para la identificación de la interfaz sedimento - tope de basamento rocoso y caracterización geotécnica (en Los Chorros y Sebucán hasta 30 m y en San Bernardino y La Carlota hasta el fondo de las perforaciones). Los resultados arrojaron el tope del basamento rocoso a 220 m en Los Chorros, a 129 m en La Carlota y a 70 m en la Av. Baralt. Los pozos perforados en Sebucán y San Bernardino alcanzaron una profundidad de 281 y 205 m, respectivamente, en sedimentos muy compactos, pero sin llegar a la roca fresca.

Aproximadamente 2000 mediciones de ruido sísmico ambiental contribuyeron al mapa de períodos fundamentales; los valores oscilan entre 0.25 s en la periferia del valle de Caracas, los cuales corresponden a bajos espesores de sedimentos, aumentando gradualmente hasta valores de 1.1 y 2.1 s, en dos zonas del valle (San Bernardino y Los Palos Grandes), lo cual se relaciona con las zonas de mayor espesor de sedimentos (Rocabado et al., 2006; 2011; Figura 8-5).

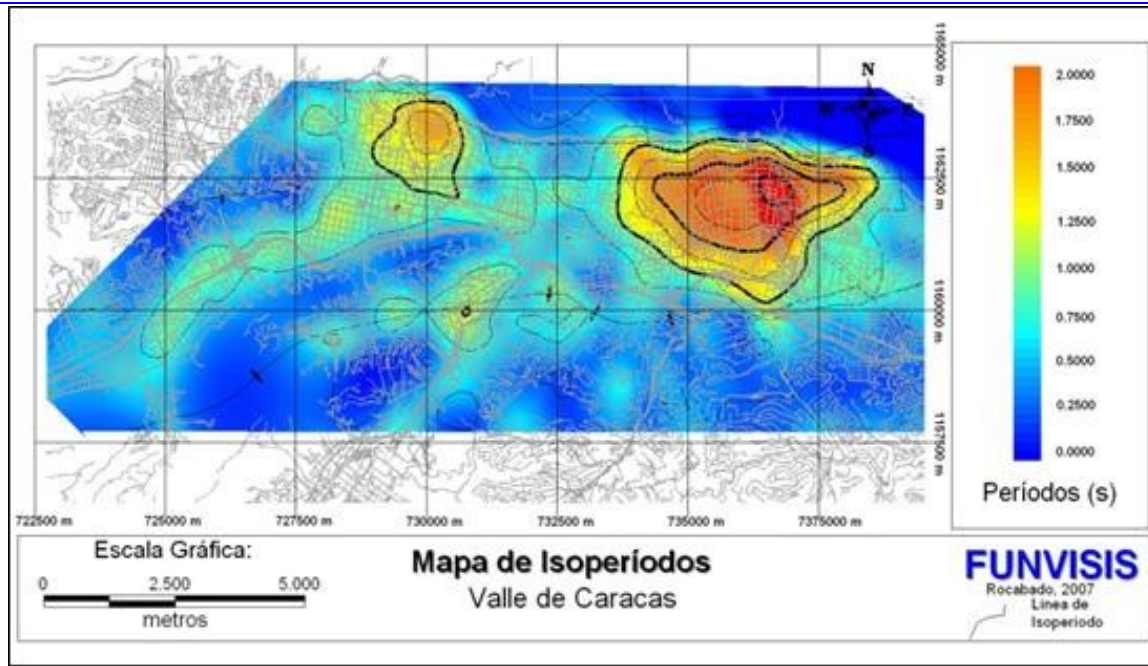


Figura 8-5: Períodos predominantes en Caracas.
(Fuente: Rocabadó et al., 2006; 2011).

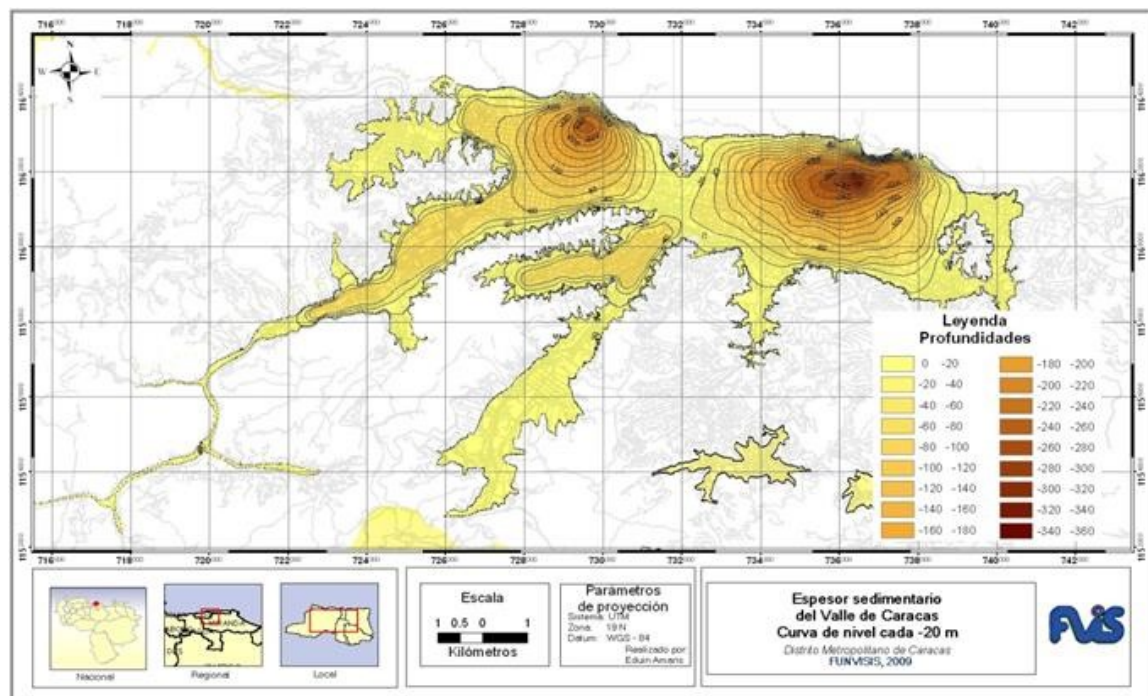


Figura 8-6: Mapa del espesor de sedimentos obtenido a partir del modelado gravimétrico 3D en Caracas, con curvas de nivel cada 20 m.
(Fuente: Amarís et al., 2011).

El mapa de espesores de sedimentos se basa en un modelado gravimétrico en 3D (Amarís et al., 2011; **Figura 8-6**). Se midieron 1600 estaciones gravimétricas, que fueron procesadas e integradas mediante el software IGMAS (Götze & Lahmeyer, 1988; Schmidt & Götze, 1998). Como amarre se utilizó una recopilación de datos de pozos de HIDROCAPITAL (Moncada, 2005), así como las perforaciones ya indicadas. Igualmente, se utilizaron los resultados de las mediciones sísmicas (Sánchez et al., 2005; Murphy et al., 1969), como amarre de las profundidades en las zonas de los Palos Grandes, San

Bernardino y Montalbán. Luego se modificó el amarre de 120 m en San Bernardino (Murphy et al., 1969), al máximo de profundidad de 260 m obtenido por el modelado gravimétrico.

8.4. RESPUESTA DINÁMICA 1D

Se llevó a cabo un estudio paramétrico (Hernández et al., 2009b) a fin de estimar los espectros elásticos de respuestas 1D promedios en superficie en distintas clases de sitio, asociados al espectro elástico de respuesta en afloramiento rocoso sano, obtenido en el estudio de amenaza sísmica para 5% de amortiguamiento crítico. Se efectúan análisis dinámicos de transmisión vertical de ondas SH en las columnas de suelo o roca (Kramer, 1996), con la excitación aplicada en el basamento rocoso. Se empleó un análisis dinámico lineal equivalente (Schnabel et al., 1972) que opera en el dominio de la frecuencia. Algunos sesgos generales que produce (Joyner & Chen, 1975) se corrigen con soporte en registros reales de terremotos. Por lo tanto, su empleo junto con correcciones empíricas más la posterior adición de efectos 2D-3D conduce a espectros de suficiente confiabilidad.

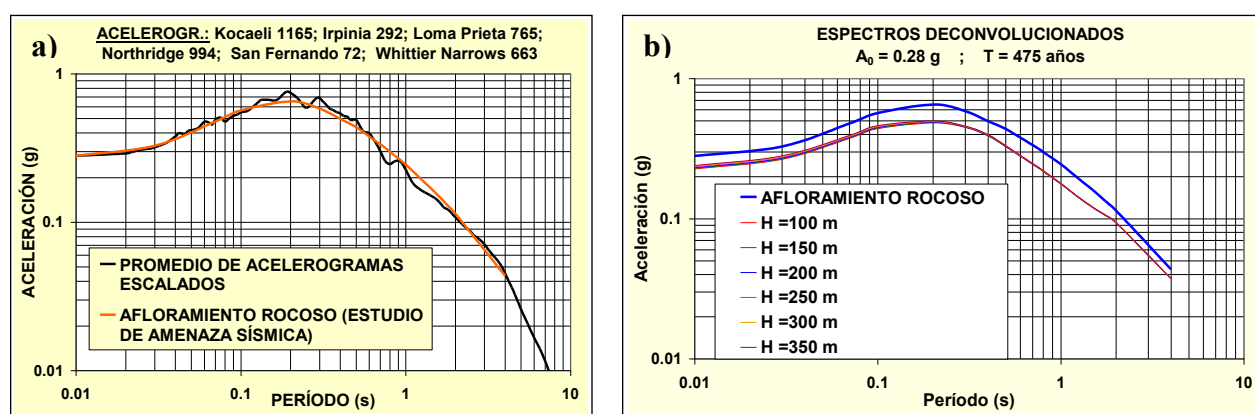


Figura 8-7: a) Promedio de espectros escalados de los acelerogramas seleccionados vs. espectro en roca de amenaza sísmica; b) Espectros deconvolucionados a basamento, suavizados.
(Fuente: Hernández et al., 2011).

Para tomar en cuenta la variabilidad del suelo se usaron dos tipos de material: suelos gruesos (o ‘arenas’) y finos (o ‘arcillas’), debido a su distinto comportamiento no-lineal, para luego promediar los resultados como aproximación ante el hecho de que en los suelos reales suele existir una mezcla de ambos tipos de material. Como curvas de conducta no-lineal se utilizaron las de Seed & Idriss, (1970), Vucetic & Dobry (1991) y Schnabel et al. (1972). Como excitación se aplican en el basamento acelerogramas asociados al espectro deconvolucionado a basamento rocoso obtenidos mediante análisis inverso de acelerogramas en superficie. A tal fin se seleccionaron 6 acelerogramas en roca aflorada de la base de datos del PEER-NGA (PEER, 2005), de terremotos representativos de la intensidad de diseño con magnitud promedio = 6.8 y promedio de distancias a la ruptura = 16.5 km, con A_0 promedio de 0.25 g. El espectro promedio, escalado a $A_0 = 0.28 \text{ g}$, ajusta muy bien al espectro de amenaza sísmica uniforme obtenido para la macrozona CN del valle (Figura 8-7).

Se seleccionaron 9 espesores básicos del depósito (30, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 m) y 9 valores básicos de V_{s30} (150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 500 y 650 m/s). Los sitios fueron designados con una letra para representar el espesor (A, B, X, C, D, E, F, G, H) y un número igual a su V_{s30} . Se asocian en los grupos GP-01 a GP-12 para las distintas microzonas en 4 rangos de espesor H (m), (10 a 60; 60 a 120; 120 a 220; > 220) y 3 rangos de V_{s30} (m/s), (≤ 185 ; 185 a 325; > 325). Para cubrir depósitos someros se añadieron casos con espesor de suelo de 10 y 20 m sobre roca o suelo de $V_s = 650 \text{ m/s}$. En total, comprenden 103 perfiles de sitios, de 3 capas en general. Por otro lado, de acuerdo con la

exploración geotécnica en el pozo de Inparques (GISCA, 2006), junto con el pozo del Metro de Caracas, se encuentra que en algunos casos bajo los 30 metros de profundidad existe suelo con $V_s \sim 400$ m/s hasta una profundidad de 100 metros, aproximadamente. En consecuencia, se añadieron 12 sitios representativos, que permitieron luego incorporar su influencia en los espectros recomendados. En conjunto se estudiaron 115 perfiles de sitios, cada uno con 2 variantes de material (granular y fino), sometidas a 6 acelerogramas en basamento rocoso, completando 1380 análisis dinámicos lineales equivalentes.

El procedimiento general para obtener los espectros de sitio consistió en:

- 1) obtener acelerogramas en superficie mediante análisis dinámico con los acelerogramas de basamento como excitación, para cada tipo de material (gruesos y finos);
- 2) obtener promedios de los espectros de los acelerogramas en superficie para cada material;
- 3) calcular amplificaciones promedios del sitio respecto al basamento para cada material;
- 4) obtener amplificaciones promediadas entre ambos materiales, luego suavizadas;
- 5) aplicar las amplificaciones promediadas al espectro representativo de basamento. Se trata de espectros 1D básicos; posteriormente se construyen los espectros agrupados para las microzonas, a los cuales se efectúan correcciones empíricas y se ajustan por efectos 2D-3D.

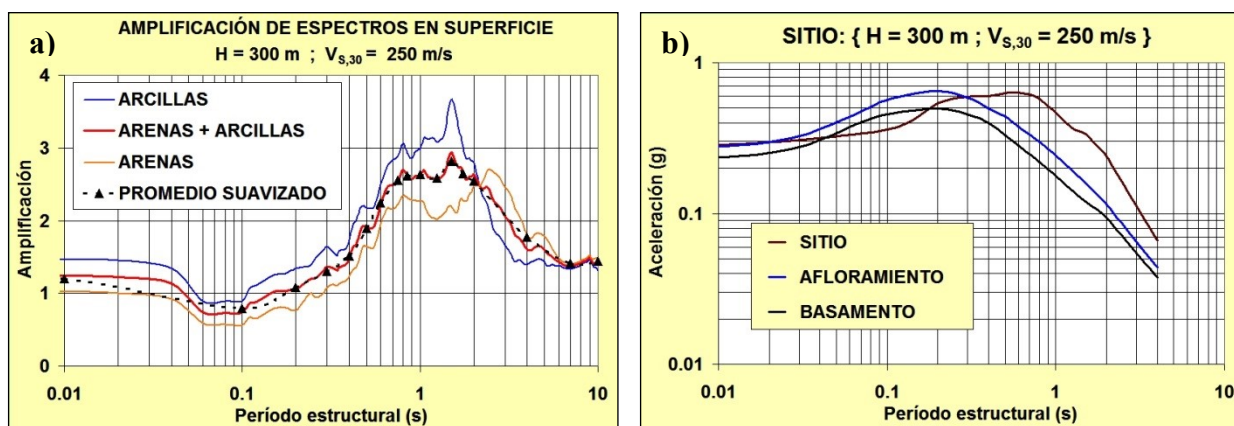


Figura 8-8: Perfil G250: $H = 300$ m, $V_{s30} = 250$ m/s; a) amplificaciones para diferentes materiales; b) espectros promedio en superficie (preliminar, sin correcciones ni ajustes), en roca y en basamento. (Fuente: Hernández et al., 2011).

Para cada grupo GP (GP-01 a GP-12) se obtuvieron espectros 1D promedios. El caso de roca meteorizada (fuera de los depósitos aluviales) se asocia al grupo GP-03, por similitud de propiedades geomecánicas. Como un ejemplo, en la **Figura 8-8** se ilustran los resultados parciales obtenidos para el perfil G250 { $H = 300$ m; $V_{s30} = 250$ m/s} perteneciente al grupo GP-11:

- a) amplificaciones superficie/basamento para arcillas, arenas y su promedio suavizado;
- b) espectro promedio en la superficie del sitio, mostrando también los espectros de basamento y afloramiento rocoso como referencias.

A fin de eliminar los sesgos del método (Joyner & Chen, 1975), los resultados promediados para cada GP fueron calibrados contra registros sísmicos reales, tomados de la base de datos del PEER (2005). Los valores son semejantes en general, denotando la adecuación del método y la buena selección de las curvas no-lineales, incluyendo que en los grupos de perfiles de suelos rígidos e intermedios en depósitos someros se tienen amplificaciones de las aceleraciones pico respecto al espectro en roca sana, lo cual se observa en los registros de terremotos y representa una mejora que necesitan los espectros normativos. Se revisaron

las formas espectrales, encontrando reducciones moderadas en la región de períodos cortos a costa de incrementos para los períodos cercanos al período fundamental de la columna de suelo. Por este motivo se efectuaron correcciones para obtener espectros modificados previos a la adición de los efectos 2D-3D.

Se efectuaron comparaciones con las amplificaciones derivadas de la red japonesa Kik-net (Cadet, 2007) válidas para respuesta cuasi-lineal, por lo que se cotejan con respuestas para excitaciones de poca amplitud con los modelos utilizados (Hernández et al., 2011). Se efectuó una comparación de los espectros obtenidos en el estudio paramétrico con algunos derivados para sitios reales del valle de Caracas en 3 sitios de perforaciones profundas en el este de Caracas, más 9 sitios adicionales en el valle, tomados de la recopilación geotécnica disponible (Feliziani et al., 2004). Las comparaciones calibran la influencia de la existencia de materiales mixtos frente al promedio de materiales extremos separados, y la influencia de capas de espesor variable, frente a la utilización de un estrato uniforme de 30 m de espesor con propiedades promedios. En comparación con los espectros de estos sitios reales, los espectros luego ajustados concuerdan bastante bien para los depósitos profundos y en promedio para los depósitos de espesor intermedio. En los depósitos someros se manifiesta un cierto déficit en las mesetas de los sitios con suelos rígidos e intermedios, aunque los espectros ajustados son mayores que los de la norma (Hernández et al., 2011).

8.5. EFECTOS 2D Y 3D DE CUENCA Y TOPOGRÁFICOS

8.5.1. Espectros 2D de respuesta

El análisis de Papageorgiou & Kim (1991) del terremoto de 1967 describió los efectos de cuenca en un perfil 2D del valle a lo largo de Los Palos Grandes y cercanías (**Figura 8-9**), explicando nítidamente los daños ocurridos. Se modeló la fuente sísmica incluyendo acelerogramas en roca con el resultado clave de los espectros de respuesta en superficie para los casos lineal y con amortiguamiento del suelo $\xi_s = 4.2\%$ (factor de calidad $Q = 12$). Se utilizaron los modelos geofísico y geotécnico de Murphy et al. (1969) y Briceño et al. (1978), respectivamente, para 2 capas en el último caso. La trascendencia de este estudio estriba en la determinación de los efectos 2D, como la generación de ondas superficiales derivadas de la geometría de cuenca, al mismo tiempo relacionados con la acción sísmica y las demandas estructurales.

Pueden distinguirse aproximadamente los efectos netos de cuenca como cocientes entre los efectos generales obtenidos y los efectos 1D que se esperarían en ausencia de la geometría 2D de la cuenca. Podemos emplearlos para estimar los espectros de respuesta ante los nuevos modelos definidos, efectuando cálculos de proporcionalidad. Las nuevas variantes a considerar son las de la acción sísmica, los modelos geofísico y geotécnico y la inclusión de la no-linealidad del suelo.

A tal fin, se calcularon espectros auxiliares 1D para la excitación de diseño actual, $\xi_s = 4.2\%$ (lineal amortiguado) y los antiguos modelos de capas usados por aquellos autores. En proporción a la acción sísmica del terremoto 1967, mediante cociente de su espectro en roca y el actual, inferimos los espectros ideales 1D que se esperarían en dicho terremoto en distintos puntos del perfil 2D de la **Figura 8-9**.

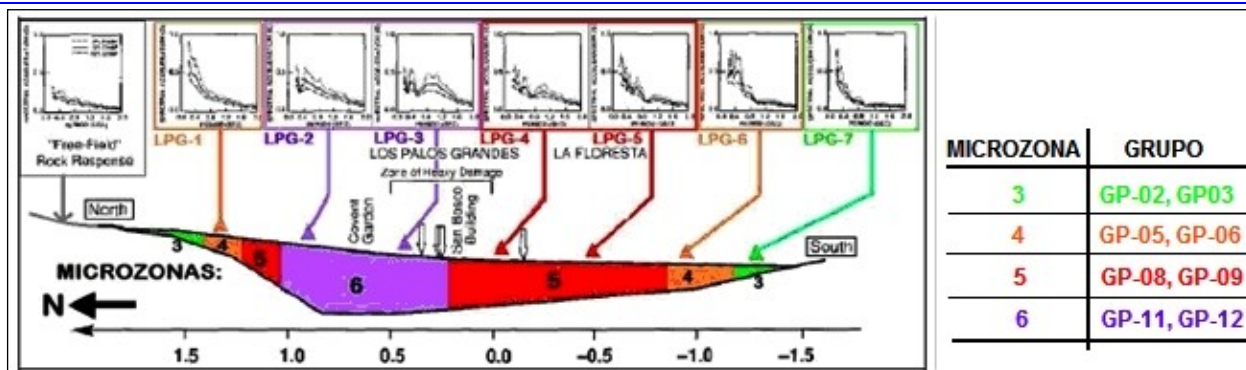


Figura 8-9: Espectros del estudio 2D.

(Fuente: Modificado de Papageorgiou & Kim (1991) en el perfil por la zona Los Palos Grandes. Los espectros se asocian a las microzonas definidas mediante los grupos de perfiles).

Entonces, como cociente de los espectros 2D obtenidos por Papageorgiou & Kim (1991) y estos espectros 1D, obtenemos estimados de los efectos netos de cuenca (2D/1D), los cuales son función del periodo de respuesta espectral y denominamos $\delta(T)$ ó δ . En la **Figura 8-10 a)** se observa $\delta(T)$ para distintas microzonas (MZ) definidas por el espesor H. Por último, en forma aproximada, tomando en cuenta resultados generales sobre la variación de los efectos de cuenca con la rigidez de los suelos (Bard & Bouchon, 1985; Marsh, 1992), definimos $\delta'(T)$ y $\delta''(T)$ para suelos intermedios y suaves (Hernández et al., 2009c).

Aplicamos las funciones δ , δ' y δ'' a los espectros 1D derivados en el estudio paramétrico obteniendo espectros no-lineales aproximados con efectos 1D-2D (Hernández y Schmitz, 2009b). En la **Figura 8-10 b)** se muestran los espectros corregidos con registros reales más los efectos 2D según se ha expuesto. Los espectros aumentaron para periodos entre 0.7 y 2 s y en las mesetas; ahora menos espectros tienen respuestas inferiores al de roca para periodos menores de 0.4 s.

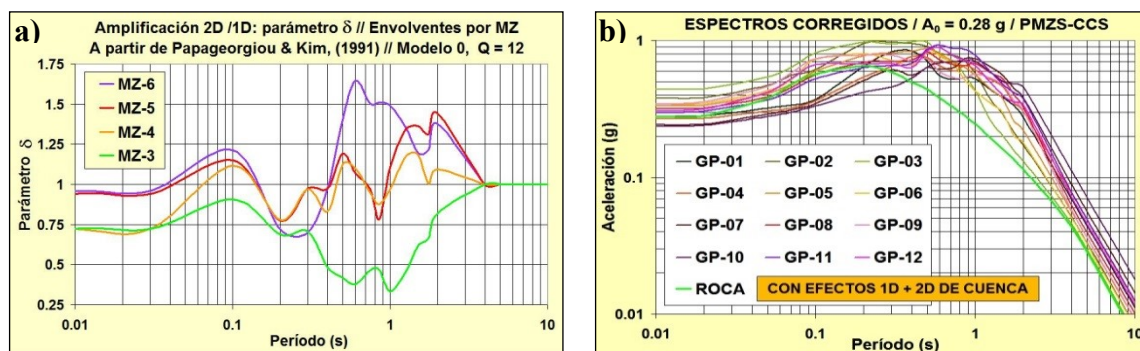


Figura 8-10: a) Efectos de cuenca 2D/1D; 8.10.b) Espectros corregidos y luego ajustados con efectos 2D.

(Fuente: Hernández et al., 2011).

8.5.2. Espectros 3D de cuenca

Un estudio 3D para el valle de Caracas (Delavaud, 2007) con distintos frentes de onda de excitación sísmica dados por pulsos de Ricker, determinó amplificaciones frecuenciales de la velocidad del terreno con un modelo lineal (sin amortiguamiento) de 1 capa sobre basamento ($V_s = 650$ m/s), más no espectros de respuesta. Mediante comparaciones, nos permite definir en el área del valle las zonas donde se pueden esperar incrementos semejantes de las respuestas según intervalos de frecuencias, para decidir la asignación de los espectros antes obtenidos. En la **Figura 8-11** se aprecian las amplificaciones de las

velocidades en el valle para las frecuencias (f) 0,8, 1.6 y 2 Hz de ondas S provenientes del norte polarizadas este-oeste con un ángulo de incidencia de 35° . Las mayores amplificaciones para $f = 1.5$ -1.6 Hz ($T = 0.625$ -0.667 s) ocurren en los alrededores de Los Palos Grandes, y en la subcuenca de San Bernardino, donde el modelo 3D asignó una profundidad de 120 m, valor semejante a los bordes con profundidades intermedias de la subcuenca de Los Palos Grandes. Se comprobó que en el área de San Bernardino el espesor de sedimentos supera los 120 metros asumidos (alcanza 260 m), por cuyo motivo podrían esperarse ahí amplificaciones cercanas a las del área de Los Palos Grandes. Para frecuencias más altas se encuentran amplificaciones más bajas y diseminadas casi uniformemente, las cuales se comprueba que exceden poco, o son menores, a las correspondientes a los efectos 1D.

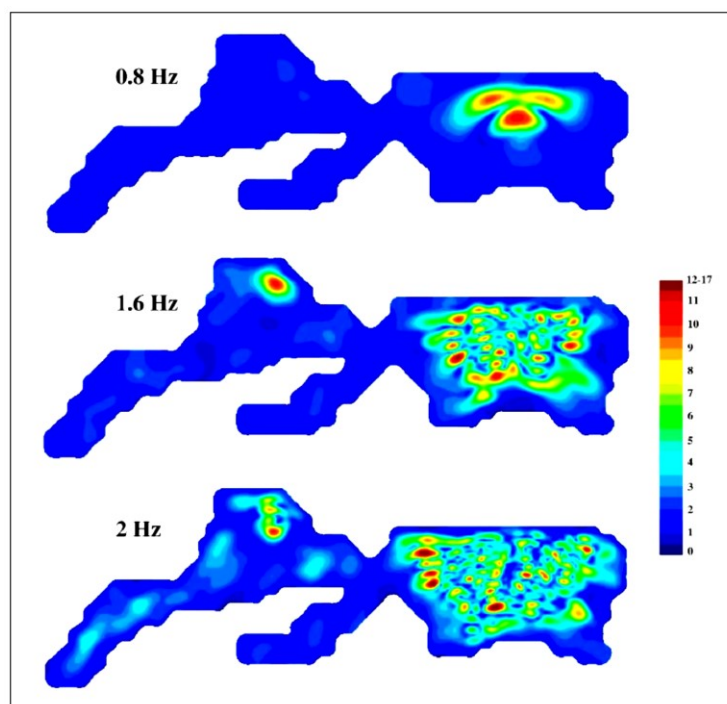


Figura 8-11: Función de transferencia para diferentes frecuencias componente N-S de la velocidad del terreno en la cuenca de Caracas, para ondas pulsantes S incidentes desde el norte a 35° con polarización E-O. (Fuente: Delavaud, 2007).

En la **Figura 8-12** se muestran las microzonas seleccionadas en base al conjunto de criterios geológicos y geotécnicos, más de espesores de sedimentos (que condicionan las respuestas de sitio 1D) y efectos 2D-3D de cuenca. Las fronteras de espesores de sedimentos entre las microzonas numeradas 3, 4, 5 y 6 como primer dígito son 60, 120 y 220 metros. El segundo dígito corresponde al tipo de suelo superficial (-1 los rígidos, -2 los intermedios y -3 los suaves).

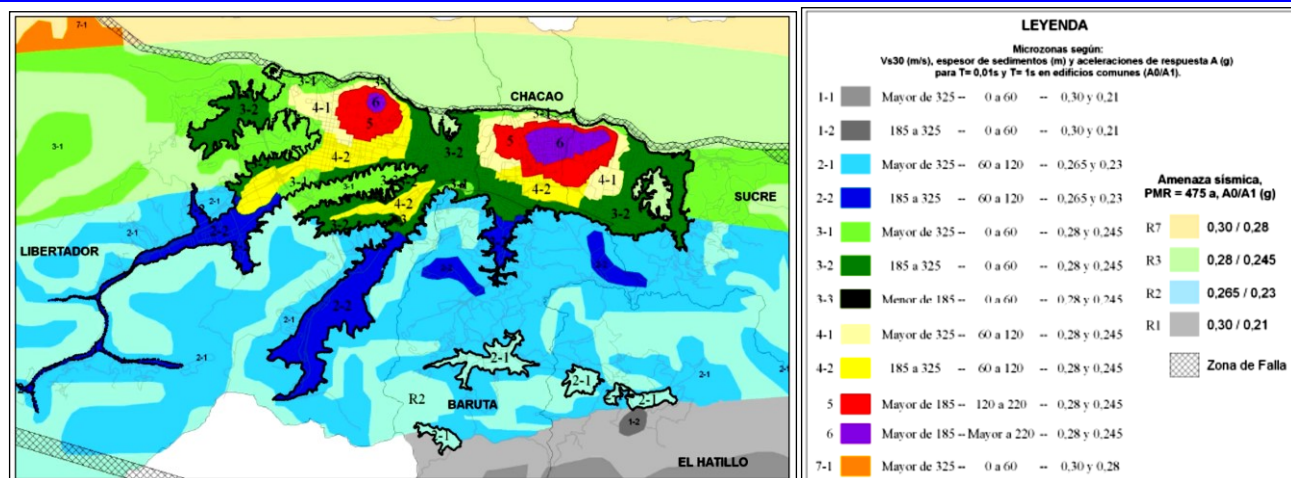


Figura 8-12: Microzonas seleccionadas en el valle de Caracas y alrededores, superpuestas a las macrozonas.
(Fuente: Schmitz et al., 2011).

8.5.3. Espectros 2D de topografía

Para estimar los efectos 2D topográficos, se tomaron como guía las recomendaciones AFPS (1990) tanto para la definición de situaciones, como para los valores de amplificaciones de periodos cortos, las cuales se reducen para periodos largos (Hernández y Schmitz, 2009b). En lugar de una interpolación continua de amplificaciones en laderas y cimas de colinas, se ha optado por diferenciar dos casos representativos de efectos topográficos, denominados -T1 y -T2: **a)** tipo -T1 para colinas con laderas de pendientes entre 40% y 75% (22° a 37°), incluyendo la mitad superior de la ladera y la zona de la cima distante de la cresta menos de la altura de la ladera; **b)** tipo -T2 para colinas con laderas de pendientes superiores a 75% (> 37°), incluyendo la mitad superior de la ladera y la zona de la cima a una distancia de la cresta menor a la altura de la ladera.

Los sitios que no caen dentro de estos casos se definen como cuasi-planos (-T0) si son de roca sana ($V_{s30} > 650$ m/s) y se les asignan los espectros de amenaza sísmica en roca sin alteraciones, o como GP-03 si son de roca meteorizada ($V_{s30} \leq 650$ m/s). El espectro S1 de la norma vigente es superior al de roca sana en sitio cuasi-plano (-T0) pero inferior a los que incluyen efectos topográficos (-T1 y -T2). El espectro de roca meteorizada (GP-03) envuelve a todos los de roca del PMSC (incluyendo aquellos con efectos topográficos) hasta periodo 0.3 s y luego los supera, pero todos coinciden para periodos muy largos (> 3 s).

8.5.4. Espectros de diseño para las microzonas

Los espectros corregidos y ajustados con efectos 2D para cada microzona, válidos para PMR = 475 años, se suavizan a efectos de su empleo para análisis y diseño estructural. Para otros PMR se hacen factorizaciones posteriores. Como modelo de suavizado de aquellos espectros elásticos ($\xi = 5\%$), se adoptó una variante consistente en cinco ramas (Figura 8-13).

Las expresiones expuestas en esta figura son función de: **a)** A0, aceleración pico en afloramiento rocoso cuasi-plano para PMR = 475 años, igual a 0.30, 0.265, 0.28 y 0.30 g para las macrozonas Sur, Centro-Sur, Centro-Norte y Norte, respectivamente (Figura 8-12), según el estudio de amenaza sísmica; **b)** las amplificaciones ϕ y β ; **c)** los exponentes m, p y 2; y **d)** los periodos T_A , T_0 , T^* , T_D y T. Estos parámetros dependen de cada microzona/macrozona específicas y se presentan en Hernández y Schmitz (2009b).

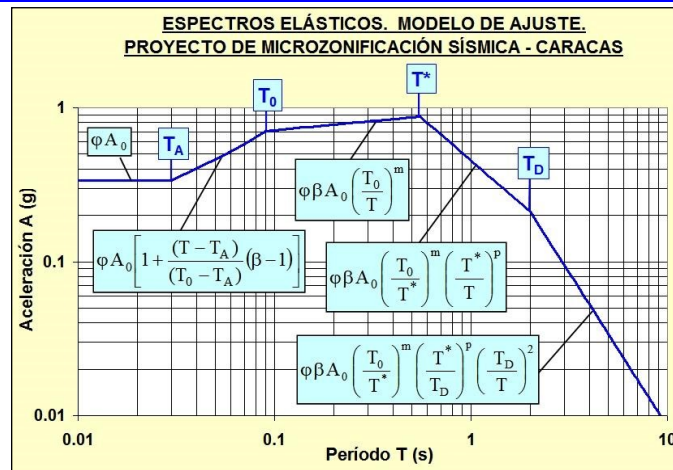


Figura 8-13: Modelo de suavizado de espectros elásticos.
(Fuente: Hernández et al., 2011).

En la **Figura 8-14 a)** se presenta el conjunto de espectros suavizados (PMR = 475 a) para las microzonas del valle sedimentario de Caracas ($A_0 = 0.28$ g), a partir de los espectros ajustados de la **Figura 8-10 b)**. En las **Figura 8-14 b), c) y d)**, respectivamente, se presentan los espectros para suelos suaves, intermedios y rígidos, comparándolos con los espectros S3, S2 y S1 de la norma sísmica vigente, la cual presenta déficit de respuesta en varios casos. Puede apreciarse la consistencia lograda de las variaciones entre los espectros según el espesor del depósito; los depósitos someros amplifican más la respuesta para periodos cortos y los profundos lo hacen para periodos largos.

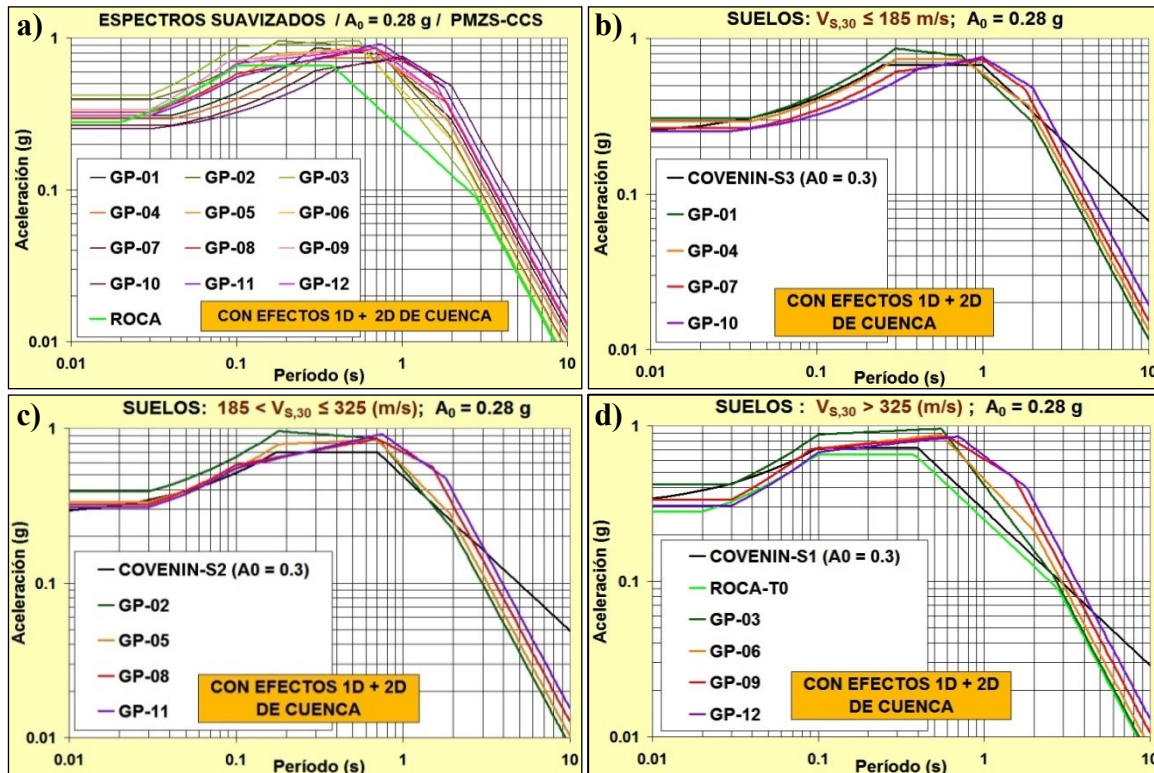


Figura 8-14: Espectros suavizados + COVENIN-Sn: **a)** Conjunto en el valle; **b)** Suelos suaves en el valle + S3; **c)** Suelos intermedios en el valle + S2; **d)** Suelos rígidos en el valle y roca sana en sitio cuasi-plano + S1.
(Fuente: Hernández et al., 2011).

Para edificaciones esenciales y masivas, grupos de uso A y B1 de la norma, se construyeron espectros elásticos a partir de los anteriores mediante factores de importancia α . Pero en lugar de los valores fijos de la norma (1.3 y 1.15) se definieron factores variables con el periodo según $\alpha(T) = \alpha_0 e^{0.06T} \leq \alpha_{\text{máx}}$ para el grupo A, a partir del estudio de amenaza sísmica con PMR = 975 años. Para el grupo B1 se promedia $\alpha(T)$ con 1. El valor mínimo α_0 varía entre 1.28 y 1.35 y el máximo $\alpha_{\text{máx}}$ entre 1.5 y 1.7, según las macrozonas (Hernández y Schmitz, 2009b).

8.6. PELIGROS DE DESLIZAMIENTOS

En Caracas, la presión excesiva de urbanismo ha conducido a la utilización de laderas naturales o de taludes de corte, a menudo inestables. Con frecuencia se han reportado dañinos deslizamientos desencadenados tras intensas lluvias. Además, en el terremoto Mw = 6.6 de 1967 ocurrieron varios deslizamientos de laderas al norte de la capital. Igualmente se conoce de derrumbes causados por los grandes terremotos de 1900 (Mw ~ 7.7) y 1812 (Singer et al., 1983; Grases et al., 1999; Altez, 2006).

La estimación del peligro de deslizamientos de laderas, tanto por lluvias como por sismos, ha admitido diversos enfoques en la práctica mundial. La *International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering* los califica como métodos de grado 1, 2 y 3 (ISSMFE, 1993). Los dos primeros son empíricos y combinan índices particulares mientras que los de grado 3 son de carácter analítico con mayor soporte físico. Dentro de esta problemática suele diferenciarse entre susceptibilidad y peligro; la primera ofrece un panorama de la tendencia de las laderas a deslizarse, lo cual ocurre tras la acción de los factores desencadenantes, lluvia o sismo, configurando el peligro probable.

8.6.1. Caracterización geotécnica y susceptibilidad

Siguiendo recomendaciones de un panel geotécnico, en una primera fase se revisaron métodos de grado 2, unos de origen japonés, más el de Mora & Vahrson (1994), en varios sectores del AMC (Zambrano y Hernández, 2005). El segundo método recibió un examen más detallado en la zona de afectación del túnel Corral de Piedra (línea del Metro Las Adjuntas - Los Teques), concluyéndose que los índices originales necesitaban adaptarse al área de estudio para estimar bien los procesos de remoción de masa observados (Valleé, 2006). El método de Mora & Vahrson usa tres índices para asignar la susceptibilidad con valores entre 0 y 5: a) St asociado al terreno (litología); b) Sr asociado al relieve (clinometría); c) Sh asociado a la humedad del terreno según la historia de lluvias. Como detonantes adopta dos índices: a) Tp de precipitación prevista, con valores 1 a 5; b) Ts de sismo según la intensidad Mercalli esperada, con valores 1 a 10. Calcula la susceptibilidad como $S = St \cdot Sr \cdot Sh$, y la “amenaza” como $H = S \cdot (Tp + Ts)$, calificándola en seis clases entre muy baja a muy alta por rangos del producto H. Como es notorio, se trata de un cálculo empírico sin mecanismo físico involucrado, con clases de peligro derivadas de observaciones de eventos locales en Costa Rica.

En una segunda fase se emprendió una amplia caracterización geotécnica en el Sector Central de Caracas, con base en estudios geológicos, geomorfológicos y geotécnicos, desarrollados a escala 1:10000 (Feliziani et al., 1985) de modo que condujera a mapas de susceptibilidad aceptables mediante la metodología adoptada. A tal fin, se calibraron variantes de prueba en una Zona Piloto ubicada en las urbanizaciones de Alto Prado y Lomas de Prado a escala 1:2500 (**Figura 8-15**). En dicha zona se han observado diversos procesos de inestabilidad que indican las laderas de mayor susceptibilidad real.

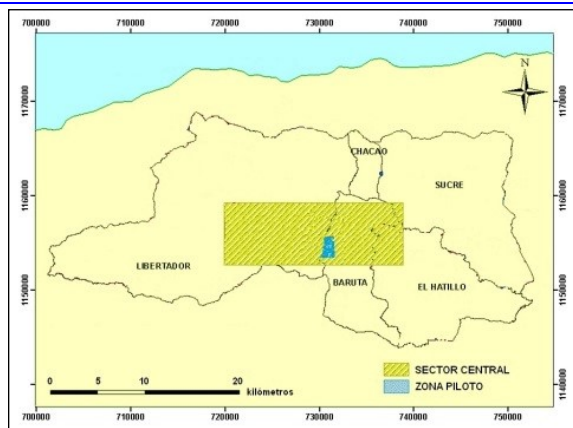


Figura 8-15: Ubicación geográfica de la zona de estudio (los 5 municipios del AMC a escala 1:25000), del Sector Central (escala 1:10000) y de la Zona Piloto (escala 1:2500).
(Fuente: Hernández et al., 2008).

Las variables consideradas en la caracterización geotécnica fueron: *litología*, de acuerdo a estudios petrográficos y geotécnicos; *clinometría*, pendientes de las laderas; *estabilidad geométrica*, en función de la orientación de la foliación de la roca con respecto a las pendientes; y *geodinámica externa*, correspondiente a procesos dinámicos, vinculados o no con acciones antrópicas (cárcavas, deslizamientos incipientes, etc.). A cada variable se le asignó un grado de influencia relativa para definir finalmente cinco clases geotécnicas según la tendencia creciente de inestabilidad (Valleé et al., 2009). Como metodologías se exploraron diversas modificaciones del método de Mora & Vahrson con resultados infructuosos al no lograrse evidenciar con ellas los procesos de inestabilidad existentes en la Zona Piloto. Una corroboración de la ineficacia de dicho método fuera de Costa Rica se expone en Bommer & Rodríguez (2002). Se decidió, entonces, emplear métodos de grado 3 para las evaluaciones.

Un parámetro técnicamente bien sustentado para estimar la estabilidad estática de una ladera es el factor de seguridad al deslizamiento derivado de la relación entre las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes promedios. La susceptibilidad puede definirse como el inverso del factor de seguridad (FS) en condición normal (parcialmente saturada) y así se adoptó. Se calcula como:

$$FS = \frac{c'}{\gamma \cdot t \cdot \text{sen} \alpha} + \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha} \cdot \left(1 - \frac{m \cdot \gamma_a}{\gamma}\right) \quad (8-1)$$

dónde: α es el ángulo de la pendiente de la ladera; t el espesor del suelo deslizante; c' la cohesión efectiva; ϕ' el ángulo de fricción efectivo; γ el peso específico promedio del suelo; γ_a el peso específico del agua; y m la fracción de saturación del espesor de suelo.

Para aplicarlo se asignaron valores representativos de γ , ϕ' y c' a cada una de las clases geotécnicas definidas (Hernández et al., 2008), a semejanza de trabajos extranjeros (e.g. Miles & Keefer, 2001). El espesor de la capa deslizante (t) se estableció en 3 m (Keefer, 1984; Miles & Keefer, 2001; Jibson et al., 1998). La fracción de saturación (m) se tomó entre 25% y 75%, según el tipo de intervención antrópica. Se definen grados de susceptibilidad según rangos de FS. Se obtuvo una buena coincidencia entre los mayores grados y los procesos observados en la Zona Piloto (Figura 8-16 a), validando la metodología. La aplicación al Sector Central mostró también un buen acuerdo con laderas inestables conocidas.

8.6.2. Peligros de deslizamientos: metodología

En el caso de lluvias el deslizamiento ocurre por reducción de las fuerzas resistentes de las laderas por efecto de la mayor saturación del terreno. El peligro de deslizamiento puede estimarse con un nuevo factor de seguridad FS' mediante la expresión (1) con $m = 1$, suponiendo una total saturación del terreno por precipitaciones continuas. El grado de peligro puede calificarse en 6 tipos por rangos de FS' . En la **Figura 8-16 b)** se observa los resultados para la Zona Piloto. Para el Sector Central el procesamiento e integración de los datos se llevó a cabo utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG).

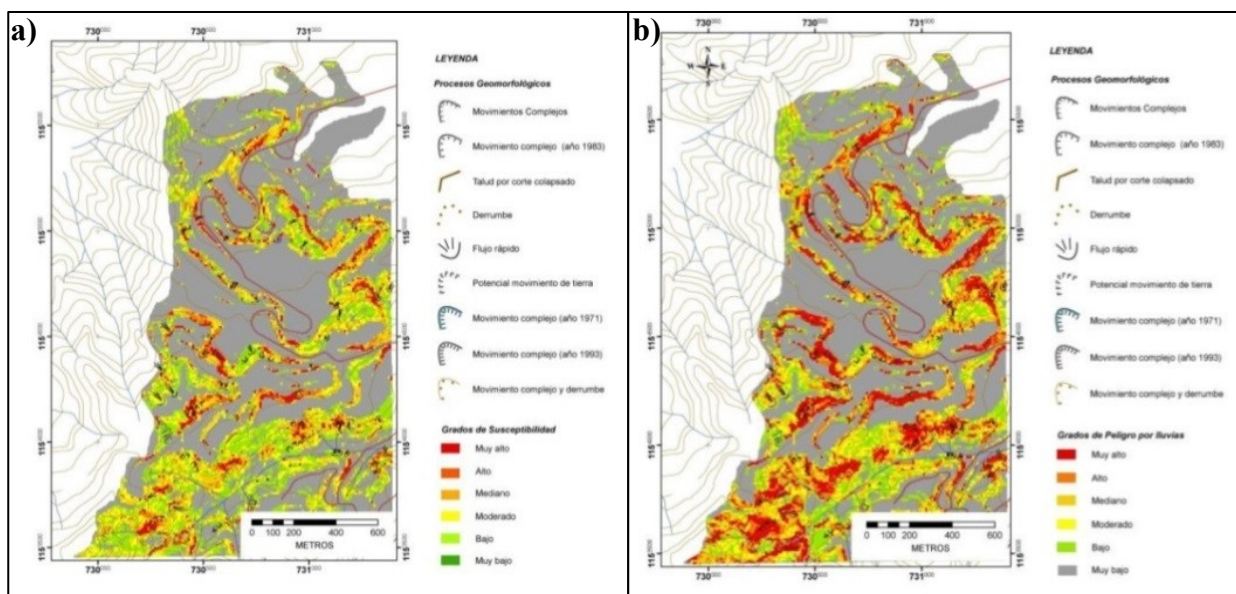


Figura 8-16: a) Mapa de susceptibilidad de deslizamientos en la Zona Piloto; b) Mapa de peligro de deslizamientos por lluvias en la Zona Piloto.

(Fuente: Valleé et al., 2009).

En el caso de sismos se trata de un problema dinámico que se asocia a las deformaciones que sufre la ladera en forma creciente. Se ha simulado con un factor de seguridad pseudo-estático ante un par de fuerzas (horizontal y vertical) adicionales a la gravedad, derivadas de aceleraciones sísmicas equivalentes; sin embargo, los resultados son inexactos pues no se toma en cuenta la variación temporal. Un método más preciso fue sugerido por Newmark (1965); con un modelo rígido-plástico del terreno define la aceleración crítica a_c , a partir del factor de seguridad estático FS :

$$a_c = g \cdot (FS - 1) \cdot \text{sen} \alpha; \quad (g = \text{aceleración de gravedad}) \quad (8-2)$$

Las deformaciones permanentes del terreno ante un acelerograma ocurren cada vez que se supera a_c y se acumulan hasta la máxima deformación de Newmark (D_n) probable, cuyo valor permite estimar el peligro de deslizamiento. Para un empleo geográfico intensivo se han obtenido para California correlaciones entre los desplazamientos de Newmark, las aceleraciones críticas y las intensidades sísmicas de Arias I_a , con cientos de acelerogramas (Jibson et al., 1998) y validadas en Italia (Romeo, 2000):

$$\log D_n = 1.521 \cdot \log I_a - 1.993 \cdot \log a_c - 1.546 \quad (8-3)$$

$[D_n \text{ en cm}; I_a \text{ en } \frac{m}{s}; a_c \text{ en términos de } g]$

Para el PMSC se efectuó una evaluación de amenaza sísmica en términos de I_a para una recurrencia de 700 años (asociada al grupo B1 de la norma sísmica) mediante un programa de computación ad-hoc (Hernández, 2007). Integrando los mapas de pendientes, susceptibilidad y amenaza sísmica, se obtienen mapas de D_n aplicando las Ecuaciones (8-2) y (8-3). La valoración de las deformaciones obtenidas sigue criterios mundiales (Blake et al., 2002) y pueden asociarse a probabilidades de fallas (Jibson et al., 1998) lo que permite definir una gradación cualitativa (Hernández et al., 2009d).

8.6.3. Peligros de deslizamientos en el AMC

La metodología expuesta anteriormente en el estudio de susceptibilidad del Sector Central de Caracas fue extendida al conjunto del AMC, con algunas modificaciones, debido a una menor disponibilidad de información. La caracterización geotécnica se derivó desde: a) *Litología*: el atlas geológico 1:25000 (Urbani y Rodríguez, 2004) más Feliziani et al., (1985); b) *Clinometría*: un modelo de elevación digital del terreno de la base cartográfica del IGVSB/GDF (1984); c) *Estabilidad geométrica de las laderas*: los mapas de Urbani y Rodríguez (2004), con 63 bloques estructurales agrupados con base a la foliación y a las estructuras principales del área de estudio, más el esquema utilizado para el Sector Central; d) *Geodinámica externa*: la imagen satelital multiespectral SPOT path 659 row 329 (09/12/2007), identificando 5 zonas diferenciadas según la intervención antrópica, la cobertura vegetal y la topografía.

De la misma manera que para el Sector Central, se diferenciaron clases geotécnicas y se le asignaron parámetros físicos. Los peligros de deslizamientos por lluvias y por sismos se calcularon de la manera expuesta en la sección anterior. Las **Figura 8-17 a)** y **Figura 8-18** presentan los mapas obtenidos para los peligros de deslizamiento por lluvias y por sismos para el AMC, respectivamente. En el sur del AMC existen zonas con mayor peligro de deslizamientos por lluvias que por sismos de diseño. Esto se explica por el hecho de que ahí la amenaza sísmica es moderada. En las zonas más al norte se observa el fenómeno contrario, dado que sufren un mayor grado de amenaza sísmica. Se considera que el procedimiento seguido tiene suficiente confiabilidad y cumple con las expectativas planteadas en el proyecto de microzonificación para la orientación de políticas de mitigación de riesgo. Un evento de lluvias fuertes ocurrido en el municipio Baruta en noviembre de 2008 permitió constatar una buena coincidencia entre los sitios de los deslizamientos ocurridos y las zonas de alto y muy alto peligro de deslizamientos del mapa elaborado previamente, del que se muestra una ampliación (**Figura 8-17 b)**; Valleé et al., 2009).

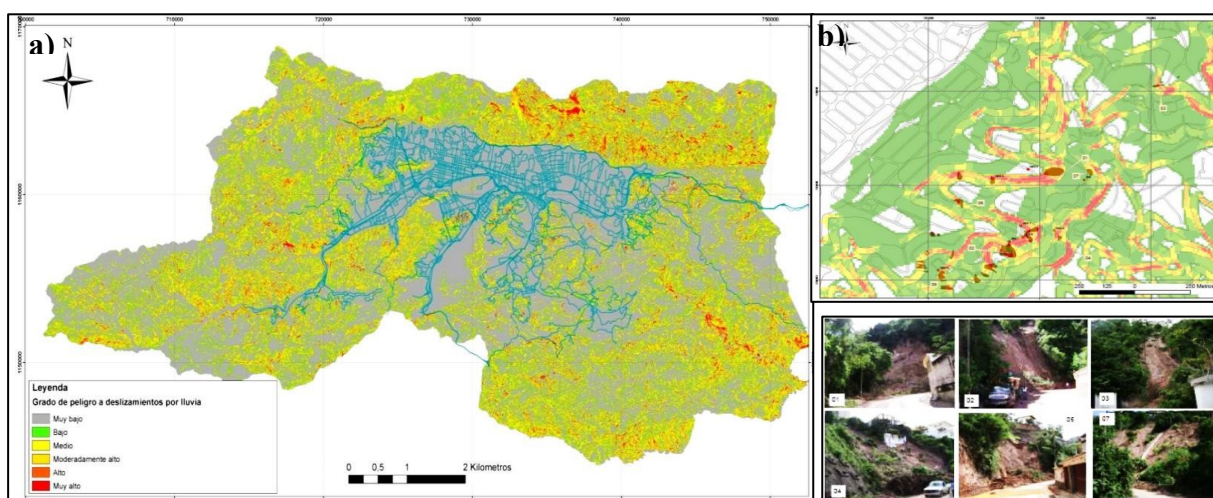


Figura 8-17: (a) Mapa de peligro de deslizamientos por lluvias en el AMC. (b) Detalle del mapa y deslizamientos ocurridos en Baruta en 2008 tras lluvias fuertes.
(Fuente: Valleé et al., 2009).

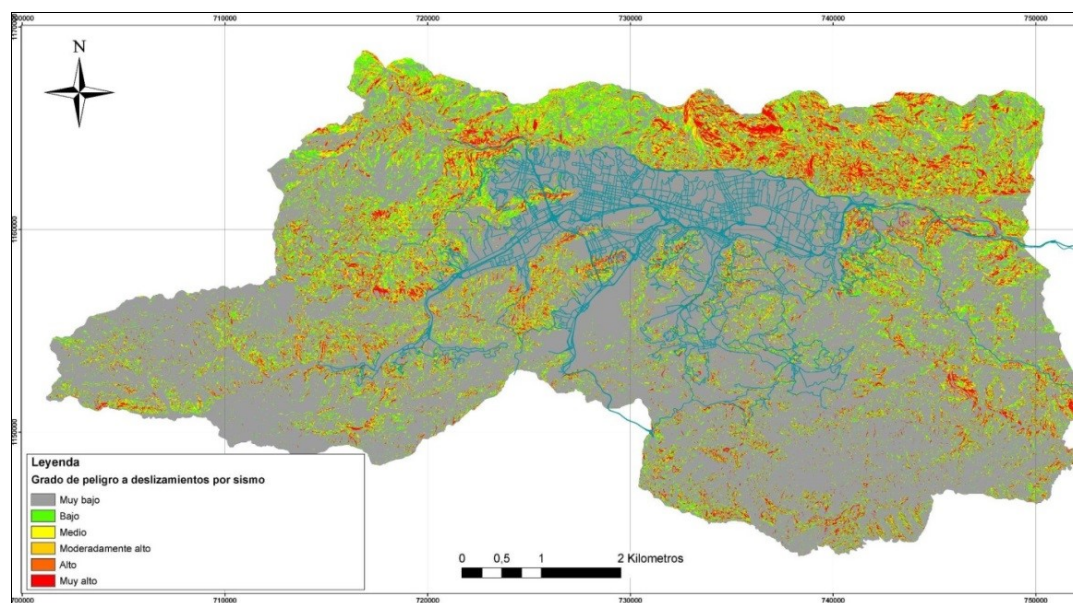


Figura 8-18: Mapa de peligro de deslizamientos por sismos en el AMC.
(Fuente: Hernández et al., 2008).

8.7. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

8.7.1. Influencias de las condiciones locales en los daños observados en el terremoto de 1967

La distribución de daños ocasionados en el valle de Caracas por el terremoto de 1967 evidenció correlaciones entre su ubicación geográfica y el tipo de estructuras afectadas (**Figura 8-19**). Dado que la práctica del diseño estructural era bastante uniforme y se regía por la Norma MOP 1955, vigente para la fecha, y que las distancias al foco sísmico son casi las mismas para todas las zonas de la ciudad, es claro que fueron las propiedades de los suelos las que ocasionaron las diferencias en la respuesta dinámica de las edificaciones afectadas. Ella es influida por la respuesta del depósito donde se asienta, la cual depende del espesor de sedimentos hasta el basamento rocoso. Este fue el parámetro que se pudo relacionar mejor con la distribución de daños (Grases, 1968; Whitman, 1969; Seed et al., 1970). Para aquella época ya había indicios de este fenómeno a escala mundial y este terremoto lo hizo más claro.

La Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo (CPES) encomendó investigaciones de prospección geofísica orientadas a la obtención de los espesores de sedimentos en la cuenca de Caracas (Murphy et al., 1969). Sirvieron de base para estudios efectuados por Seed et al. (1970) que presentaron la relación entre la profundidad de la roca basal en el valle y los daños. Muestran una gran correlación entre la altura de las edificaciones dañadas y la profundidad de los depósitos (H), los cuales inducen grandes amplificaciones dinámicas cuando su período propio es cercano al fundamental de las edificaciones. Por tanto, para el diseño debe tomarse en cuenta la relación entre éste (muy dependiente de la altura de la construcción) y el del depósito sobre el que se sitúa, lo cual es bien tratado mediante espectros de respuesta, a lo cual atiende el PMSC.

8.7.2. Confiabilidad estructural de edificaciones existentes

La capacidad sismorresistente de las edificaciones depende en gran medida de las acciones de análisis y el detallado de diseño, el cual condiciona su capacidad inelástica. Estos factores afectan al promedio de las edificaciones de cada época, mientras que otros factores tales como irregularidades son propios de cada edificación y corresponderá evaluarlos en la etapa de intervención específica. En tal sentido se distinguieron las normas sísmicas aplicadas en el país entre 1939 y 2009 en conexión con las normas de diseño para concreto armado: 8 variantes de normas sísmicas y 7 reglamentos de diseño para concreto armado que generan 13 combinaciones de prácticas de proyectos, las cuales se indican en la **Tabla 8-1** como parejas de ambos tipos de normas. Se les asignan factores de reducción de respuesta R de acuerdo con su usual reserva inelástica, desde $R = 1.5$ para las prácticas más antiguas hasta $R = 6$ para las recientes, pasando por $R = 3$ para ambas normas MOP-67, entre otros casos.

198

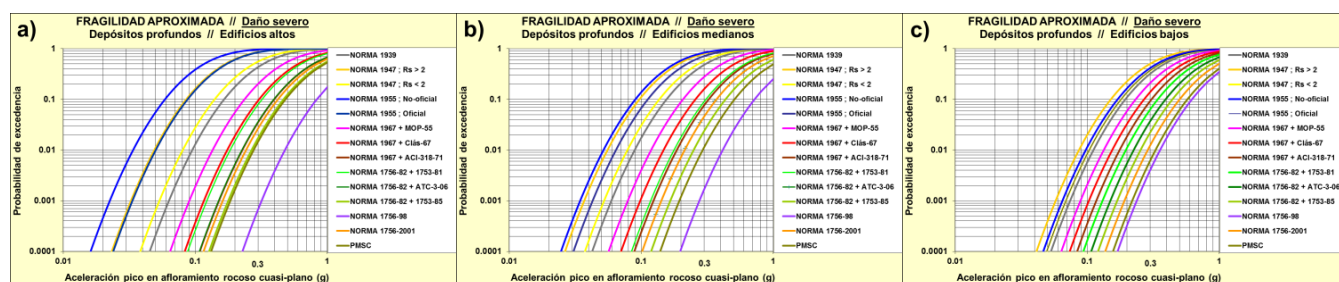
aumentos de coeficientes sísmicos necesarios superan el valor 4 y pueden llegar a 16, para las segundas sólo llegan hasta 3 en el peor caso. Además se observó que las demandas en las microzonas con $H \leq 120$ m son semejantes entre sí, al igual que lo son las asociadas a $H > 120$ m, justificando una ulterior división de casos en torno a ese valor de H .

Posteriormente se realizó un análisis de fragilidad enmarcado en la teoría de confiabilidad estructural (e.g. Freudenthal, 1962; Borges, 1981; Thoft-Christensen & Baker, 1982). Dadas las variables aleatorias demanda de ductilidad D y capacidad dúctil C , supuestas con distribuciones log-normales, calculamos la probabilidad de falla $P_f = \text{Prob}[C < D]$, a partir de los valores centrales de ambas variables, $\bar{D}$ y $\bar{C}$, y sus coeficientes de variación, ρ_D y ρ_C . Se define como índice de confiabilidad β al valor tal que $\text{Prob}[C < D] = \Phi(-\beta)$, donde Φ es la función de distribución acumulada de la variable de seguridad $\ln(C/D)$ normalizada (Gart, 1982). Es decir, β es el número de desviaciones estándar que refiere la situación de falla ($C < D$), equivalente a $C/D < 1 \rightarrow \ln(C/D) < 0$, respecto a la situación media $\bar{C}/\bar{D}$.

La demanda de ductilidad media se tomó del previo análisis de coeficientes sísmicos para $A_0 = 0.28$ (situación para la que se calcularon), con variaciones lineales para otros A_0 . La capacidad dúctil se definió para grados de daño, moderado, intermedio, severo y total.

El valor medio se asoció a daño moderado; su relación con la capacidad nominal (asociada al factor R) se calibró con los daños del terremoto de 1967 (Briceño et al., 1978; Grases, 1968; Espinosa & Algermissen, 1972); su relación con los daños intermedio, severo y total se calibró con el análisis de la escuela derrumbada en Cariaco, 1997 (López et al., 2007); los coeficientes de variación de la demanda y la capacidad se tomaron de investigaciones mundiales (Hwang & Jaw, 1990) calibrándolos igualmente. Así se le dio soporte empírico al estudio, superando estudios teóricos sin calibración. Adicional validación para las diversas clases de vulnerabilidad que representan las referidas prácticas estructurales se efectuó mediante la Escala Macrosísmica Europea (Grünthal, 2003).

Se analizaron grupos de edificios bajos (1 a 5 pisos), medianos (6 a 14 pisos) y altos (15 a 20 pisos) para dos tipos de depósitos, someros ($H \leq 120$ m) y profundos ($H > 120$ m), promediando las demandas para las distintas alturas y para las microzonas de cada rango de H , obteniendo valores de β y sus respectivas probabilidades de excedencia (plasmadas en curvas de fragilidad) para los 4 citados grados de daño, ante A_0 entre 0.01 g y 1 g. En la **Figura 8-20** se observan las curvas de fragilidad para daño severo de edificios altos, medianos y bajos sobre depósitos profundos con distintas prácticas estructurales, añadiendo la aplicación del PMSC. Nótese las grandes probabilidades de excedencia de los edificios pre-1967 aún ante sismos pequeños y la disminución paulatina con su modernidad.



Mundialmente se considera que un grado de daño intermedio aceptable ante sismos se puede asociar a $\beta \sim 1.75$ (Ellingwood et al., 1980). En este estudio se asociaron 6 rangos de β (para tal daño) con los grados de riesgo:

- muy alto riesgo: $\beta < -1$;
- alto riesgo: $-1 \leq \beta < 0$;
- riesgoso: $0 \leq \beta < 0.6$;
- algún riesgo: $0.6 \leq \beta < 1.5$;
- seguro/económico: $1.5 \leq \beta < 2.5$;
- sobre-seguro: $\beta \geq 2.5$.

Para cada A0 al valor de β asociado corresponde a determinadas probabilidades de excedencia, con las cuales se pueden obtener pérdidas probables esperadas ante ese A0, integrando todos los tipos de daños tras asignarles un costo promedio típico; para las pérdidas caben 6 rangos semejantes a los de β . Luego pueden integrarse las pérdidas ante todos los A0 mediante la evaluación de amenaza sísmica para obtener probabilidades anuales de ruina, asignándoles igualmente 6 rangos asociados con el riesgo.

Para los grupos de alturas de edificaciones indicados, cada rango de profundidad de depósito y cada práctica estructural (añadiendo la aplicación del PMSC) se obtuvieron los índices de confiabilidad β ante A0 = 0.28 g y otros valores, junto con las pérdidas esperadas, más las probabilidades anuales de ruina para todos los escenarios posibles. Los valores obtenidos clasifican los edificios en los 6 grados de riesgo indicados, entre muy alto y sobre-seguro. A cada grado de riesgo se le asignó una prioridad de intervención supuesto que el edificio sea regular, para un total de 5 clases: muy prioritaria, prioritaria, obligatoria, conveniente e innecesaria (ésta es válida para los dos menores grados de riesgo) (Hernández, 2009c).

Tabla 8-1: Recomendaciones de prioridades de intervención de edificios regulares en Caracas.
(Fuente: Hernández, 2009c).

NORMA DE CONCRETO ARMADO	NORMA SÍSMICA	DEPÓSITOS SOMEROS			DEPÓSITOS PROFUNDOS			
		Edif. bajos	Edif. medianos	Edif. altos	Edif. bajos	Edif. medianos	Edif. altos	
MOP-39	MOP-39	O	O	O	O	P	O	
MOP-47	MOP-47	Rs > 2 kgf/cm²	P	MP	P	P	MP	MP
		Rs ≤ 2 kgf/cm²	O	O	O	O	P	P
MOP-55	MOP-55	No oficial	O	MP	MP	O	MP	MP
		Oficial	O	P	MP	O	MP	MP
MOP-67	MOP-67		O	C	C	O	O	O
		C	C	I	C	C	C	
COVENIN 1753-81		C	I	I	C	C	I	
ACI 318-80	COVENIN 1756-82		C	I	C	C	C	
			C	I	I	C	C	C
COVENIN 1753-85 o ACI 318-post-95			I	I	I	I	I	I
	COVENIN 1756-98	I	I	I	I	I	I	
	COVENIN 1756:2001	I	I	I	I	C	I	
	PMSC	-	-	-	-	-	-	

MP: muy prioritaria; P: prioritaria; O: obligatoria; C: conveniente; I: innecesaria.

En la **Tabla 8-1** se aprecian las recomendaciones inferidas para las edificaciones regulares; para las irregulares se sugiere que se les asigne el tipo de intervención inmediatamente más exigente al de las regulares del mismo caso. Es notable el enorme riesgo a que están sometidas las edificaciones diseñadas con las normas antiguas, asunto que señala la importancia de reforzarlas antes de la nueva ocurrencia de un gran terremoto. No se incluyó la problemática de las construcciones informales, sin aplicación de

normativas; en Caracas su comportamiento depende en gran medida de la estabilidad de las laderas, ya que la mayoría se ubica en ellas.

8.8. RIESGO SÍSMICO EN EL MUNICIPIO CHACAO

Dada la ubicación del Municipio Chacao sobre la parte más profunda de la cuenca del valle con un elevado riesgo sísmico, Padrón et al. (2011) discuten el aporte de los resultados del PMSC conjuntamente con procesos de gestión urbana, para su mitigación. Con base en la evaluación de la confiabilidad de las edificaciones existentes en Caracas (Hernández, 2009c) y datos de edificios del Municipio Chacao según la metodología del Plan de Desarrollo Urbano Local de Chacao (City Plan C.A., 2011), Jiménez (2013) generó escenarios potenciales ante eventos sísmicos y por aludes torrenciales en el Municipio Chacao como apoyo a la formulación de planes de emergencia y rehabilitación para el Instituto de Protección Civil y Ambiente de Chacao. Recomienda la formulación de Planes de Emergencia y Rehabilitación con visión integral, que no permita la re-construcción de riesgos, con la prioridad de atención de la población y al rápido restablecimiento de vías; evaluando las edificaciones más vulnerables y estableciendo acuerdos con los responsables de las instalaciones de salud y escuelas. Además se reiteran las medidas sugeridas por el Plan de Desarrollo Urbano Local, como atender las edificaciones informales en sectores populares. Para la construcción de nuevas edificaciones y políticas de renovación urbana plantea observar de manera estricta los parámetros de diseño de la microzonificación sísmica de Caracas (Schmitz et al., 2011).

Basado en datos existentes, en una evaluación de la vulnerabilidad de edificios en Chacao (Safina et al., 2008) y en los resultados del estudio de microzonificación sísmica de Caracas, se aplicó para el Municipio Chacao una metodología para el estimado probabilista del riesgo de desastres, denominada “*Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment*” (CAPRA) que incluyó la capacitación de personal técnico en la metodología (Cardona, 2014; CIMNE et al., 2014). Uno de los resultados refiere a las “Pérdidas Anuales Esperadas” para el municipio como medida del riesgo sísmico. Esta documentación, aparte de la definición de escenarios específicos de riesgo, ha servido de base para el adiestramiento en el uso de la herramienta CAPRA en las instituciones científicas venezolanas, así como del personal técnico de los municipios. Basado en estos resultados se puede decir que se requiere de un plan integral de evaluación y reforzamiento de edificaciones en el municipio Chacao que permita reducir el riesgo sísmico a niveles aceptables en las zonas en que es mayor.

8.9. IMPLEMENTACIÓN

Con el fin de lograr la implementación de los resultados del PMSC, se estudió la incorporación de estos resultados en los instrumentos legales existentes en el ámbito municipal en Venezuela (Coronel et al., 2011). La planificación urbana en Venezuela de desarrolla en torno a la Ley Orgánica de Ordenación Urbanística (Gaceta Oficial N° 33.868 del 16 de diciembre de 1987) y su respectivo Reglamento extraordinario (Gaceta Oficial N° 4.175 del 30 de Marzo de 1990) y la Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (Gaceta Oficial N° 39.095 del 9 de enero de 2009). La implementación de recomendaciones técnicas mediante ordenanzas municipales representa una expresión local y una mejora sustancial de la Norma para Edificaciones Sismorresistentes (COVENIN, 2001) basados en los resultados del PMSC (Schmitz et al., 2011).

Del diagnóstico actual de las Ordenanzas sobre Arquitectura, Urbanismo y Construcciones y de Zonificación Urbana de algunos municipios, se concluye que no incluyen controles sísmicos adecuados, y más bien suelen promover configuraciones estructurales generadoras de vulnerabilidad sísmica, como el adosamiento de edificios y el diseño de plantas bajas libres (Guevara y Paparoni, 1996). Con respecto a la revisión de proyectos estructurales en las oficinas de Control Urbano o Ingeniería Municipal, se observa que existe escaso o ningún control de los aspectos sismorresistentes.

La comparación de los espectros del PMSC con los de la norma sísmica vigente (COVENIN, 2001) muestra que en varios casos (sobre todo para roca, así como para suelos suaves sobre depósitos poco profundos) aquellos espectros son menos exigentes que los respectivos de la norma. La implementación de las recomendaciones del PMSC permitirá un ahorro en los costos de construcción en esos sitios. Sin embargo, para las microzonas de suelos intermedios y rígidos sobre depósitos profundos y muy profundos, los espectros recomendados en este estudio son más severos que los espectros normativos, para períodos largos entre 0.2 y 2.5 s, y sobre todo los períodos de 1 a 2 s. Esto implica un fuerte peligro generalizado para edificaciones típicas entre 5 y 36 pisos, aproximadamente.

El aporte fundamental del PMSC para las autoridades municipales es la identificación de los efectos de cuenca generados. En el marco de las ordenanzas municipales pueden implementarse los espectros para cada microzona mediante una aplicación en línea (**Figura 8-21**), que permite calcular para cada punto del mapa el correspondiente espectro a aplicarse (Gómez et al., 2014); se ha integrado toda la información en un SIG que permitirá el acceso a la información y la ubicación de las parcelas en las respectivas microzonas. Este SIG está accesible en la página web de FUNVISIS (<http://www.funvisis.gob.ve/microzonas/>).

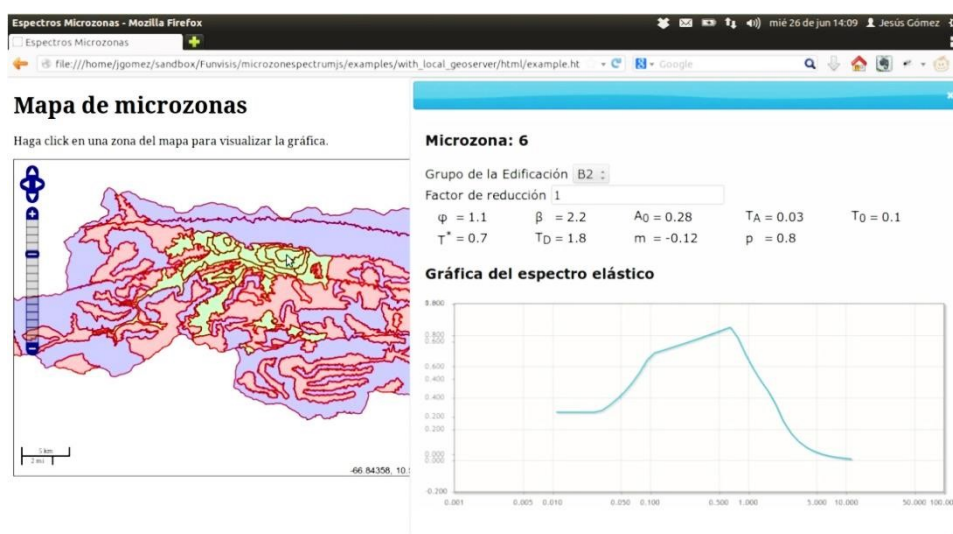


Figura 8-21: Impresión de la herramienta en línea para la definición de los espectros de diseño en cada sitio (Fuente: Gómez et al., 2014).

Para la parte profunda de la cuenca, pueden tomarse medidas de restricción de altura en combinación con requerimientos especiales para los ingenieros estructurales, tal como se propone para las zonas de San Bernardino y Los Palos Grandes – Los Dos Caminos en las propuestas de ordenanza sísmica y Plan de Desarrollo Urbano Local (PDUL) en los municipios Libertador y Chacao, respectivamente. En los sitios ubicados en las cimas de cerros o colinas y en sus laderas, se elaboraron espectros de respuesta, considerando efectos topográficos de manera aproximada. Consideraciones especiales se proponen en la cercanía de las fallas activas identificadas en el mapa de microzonas, con el fin de evitar daños por deformaciones permanentes. Adicionalmente, se proponen herramientas de gestión que permiten a los funcionarios municipales verificar el cumplimiento de los requisitos exigidos para el diseño de las edificaciones.

Fuera de las zonas sedimentarias, el peligro de deslizamientos estimado en laderas tiene carácter indicativo con respecto a los diversos grados de peligro en el AMC, pero no excluyen la posibilidad de situaciones excepcionales que no pueden reconocerse ahora por insuficiencia de datos de detalle. En las

zonas calificadas como de mayor peligro, se espera que ocurran deslizamientos en mayor cantidad o en mayor proporción, por tanto merecen más cuidado y atención preventiva. Se considera que los resultados obtenidos son suficientemente confiables para servir de guía a la toma de decisiones por parte de las autoridades municipales, entre ellas las de priorizar la realización de estudios conjuntos de geotecnia e ingeniería sísmica más detallados, y establecer limitaciones para el desarrollo en las zonas de mayor peligro. Sobre todo en zonas con desarrollos informales, donde la alteración del suelo por deficiencias en la canalización de aguas blancas y negras acentúa el peligro de deslizamientos, los mapas de peligro de deslizamientos pueden ayudar a identificar zonas, donde no deberían concentrarse esfuerzos de consolidación. En la propuesta de ordenanza sísmica desarrollada en el municipio Libertador (Coronel et al., 2011), se proponen actuaciones urbanas acorde con el nivel de peligro de deslizamiento determinado en el presente estudio. Se incluyen procedimientos para la gestión de las necesidades de evaluación detallada y el eventual reforzamiento de estructuras existentes según la priorización señalada en la **Tabla 8-1**.

De igual manera, se sugiere para la gestión del riesgo sísmico, establecer mecanismos de gestión para la evaluación y el reforzamiento de estructuras esenciales, como por ejemplo las escuelas, para las cuales ya existe una valoración cuantitativa de su vulnerabilidad (López, 2011).

En la actualización de norma sísmica, en este momento en desarrollo, se propone que se deban considerar las especificaciones de los estudios de microzonificación sísmica en varios aspectos, tales como el espesor de los sedimentos y la Vs30, lineamientos sobre deslizamientos de laderas y potencial de licuación, así como la cercanía de las fallas. De esta manera, la norma COVENIN 1756 puede reforzar las acciones de las ordenanzas sísmicas y viceversa, con el fin de crear una mayor conciencia sobre los aspectos sísmicos para las edificaciones.

8.10. CONCLUSIONES

El desarrollo del PMSC fue motivado por los fuertes efectos de sitio causados por el terremoto de 1967 y la falta de consideración de los parámetros que los controlan, como el espesor de sedimentos y la geometría de la cuenca, en la norma sísmica. Durante su ejecución se empleó una metodología multidisciplinaria para la evaluación de la respuesta sísmica en diferentes zonas de Caracas, obteniendo espectros en superficie, basados en modelos genéricos del subsuelo, según Vs30 y los espesores de sedimentos. Los espectros resultantes se calibraron con diferentes criterios (perfiles reales del suelo, mediciones de ruido ambiental, resultados de estudios y normas internacionales, entre otros), agregando los efectos de cuenca 2D, 3D y topográficos.

Se asignan espectros de respuesta en diferentes microzonas de Caracas, en complemento de las prescripciones de la norma venezolana. Estos resultados pueden implementarse por las municipalidades, pues la norma sísmica permite que estudios especiales autorizados, como los correspondientes al PMSC, sustituyan parcialmente a sus especificaciones. Se formularon además recomendaciones para la priorización de intervenciones en edificaciones existentes, según rangos de espesores de sedimentos en las microzonas en las que se ubican.

El PMSC incluye una evaluación del peligro de deslizamientos por terremotos y por lluvias; se estudió la susceptibilidad de deslizamientos, la inestabilidad por saturación a causa de lluvias y el probable deslizamiento por movimientos sísmicos, considerando intensidades de Arias. Los mapas resultantes podrán usarse en la definición de zonas de mayor peligrosidad, prioritarias para la intervención. El objetivo es la identificación de las zonas más peligrosas ante deslizamientos pero no de intervenciones locales

inmediatas. En ellas convendrá que se realicen estudios y proyectos detallados de carácter multidisciplinario, conjuntamente por profesionales de las ingenierías geológica, geotécnica y sísmica.

Se han hecho adelantos para la incorporación de los resultados del PMSC en las ordenanzas municipales o Planes de Desarrollo Urbano Locales (PDUL) de varios municipios del AMC apoyados por una aplicación en la página web de FUNVISIS para la identificación del espectro de diseño correspondiente a cada parcela. En el municipio Libertador la propuesta de ordenanza se encuentra actualmente en discusión en Cámara Municipal y deberá ampliarse a todo el ámbito metropolitano para la evaluación y reforzamiento de edificaciones nuevas y el diseño de nuevas construcciones. En paralelo, se refuerza esta actividad con la incorporación de aspectos relevantes de la microzonificación sísmica en la actualización de la norma sísmica nacional.

AGRADECIMIENTOS

Los demás miembros del Grupo de trabajo del Proyecto Microzonificación Sísmica de Caracas son: A. Aguilar, I. Aguilar, L. Alvarado, E. Amarís, F. Anzola, J. Araque, F. Audemard, J. Azuaje, P.Y. Bard, H. Cadet, V. Cano, E. Caraballo, A. Castillo, L. Colmenárez, C. Cornou, É. Delavaud, J. Domínguez, P. Feliziani, Y. Flores, K. García, J. González, M. González, J. Guzmán, A. Hernández, A. Justiniano, V. Leal, R. López, W. Marín, D. Molina, J. Moncada, C. Morales, R. Ollarves, J. Oropeza, M. Palma, B. Quintero, H. Rendón, V. Rocabado, J. Rodríguez, L. Rodríguez, G. Romero, J. Sánchez, A. Singer, M. Tagliaferro, F. Urbani, R. Vásquez, M. Valleé, M. Villar, J.-P. Vilotte, A. Zambrano, H. Zambrano, J. Zamora. El financiamiento fue proporcionado por el “Proyecto de Microzonificación Sísmica en las Ciudades Caracas y Barquisimeto” (FONACIT–BID II 2004000738). La realización del proyecto fue posible gracias al incentivo de N. Orihuela y G. Malavé.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

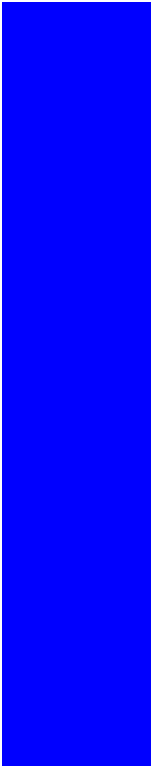
- Abeki, N., Seo, K., Matsuda, I., Enomoto, T., Watanabe, D., Schmitz, M., Rendón, H., Sánchez, A., 1998. Microtremor observations in Caracas city, Venezuela. In: Irikura et al. (ed.). *The Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, Rotterdam, AA Balkema, p. 619-624.
- Abrahamson, N., Silva, W., 1997. Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes. *Seismol. Res. Lett.*, 68 (1), 94-127.
- AFPS, 1990. Recommendations of the French Association for Earthquake Engineering for the redaction of rules relative to structures and installations built in regions prone to earthquakes. Association Française du Génie Parasismique, Saint-Rémy-lès-Chevreuse, France.
- Allen, T., Wald, D., 2009. On the use of high-resolution topographic data as proxy for seismic site conditions (Vs30). *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 99, (2A), 935-943.
- Altez, R., 2006. El desastre de 1812 en Venezuela: sismos, vulnerabilidades y una patria no tan boba. Universidad Católica Andrés Bello, Fundación Polar, Caracas.
- Amaris, E., Schmitz, M., Murphy, V., 2011. Sediment thickness as primary input for the Caracas Seismic Microzoning Project. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Santiago de Chile, Paper Nr. MOSAM, 12 pp.
- Azuaje, J., Hernández, J.J., 2005. Análisis de amenaza sísmica para Caracas, incluyendo efectos de sitio. IV Coloquio de Microzonificación Sísmica, Barquisimeto. Serie Técnica N° 1-2005, FUNVISIS.
- Bard, P.Y., 1999. Microtremor measurements: a tool for site effect estimation? In: Irikura, K., Kudo, K., Okada, H., Sasatani, T. (eds.), *The Effects of Surface Geology on Seismic Motion - Recent progress and new Horizon on ESG Study*, vol. 3, Balkema, Rotterdam, p. 1251-1279.
- Bard, P.Y. & Bouchon, M., 1985. The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 75, 519–541.
- Blake, T., Hollingsworth, R., Stewart, J., 2002. Recommended procedures for implementation of DMG Special Publication 117. Guidelines for analyzing and mitigating landslide hazards in California. Southern California Earthquake Center, <http://www.scec.org/resources/catalog/hazardmitigation.html>.
- Bommer, J., Rodríguez, C., 2002. Earthquake-induced landslides in Central America. *Engineering Geology*, 63, 189– 220.
- Borcherdt, R.D., Gibbs, J.F., 1976. Effects of local geological conditions in the San Francisco Bay region on ground motions and the intensities of the 1906 earthquake. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 66, 467-500.
- Borges, J.F., 1981. Structural safety in seismic regions. III Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Caracas. *Memorias*: p. 1262-1273.
- Briceño, F., Sanabria, J., Azpúrua, P., Planchart, M., Castellanos, S., Olivares, A., Lustgarten, P., Kelemen, J., García, J., González de J., C., Carrillo, P., Pérez, H., Seed, H., Whitman, R., Murphy, V., Linehan, D., Turcotte, T., Steinbrugge, K., Espinosa, A., Algermissen, S., Arcia, J., Puig, J., Schmidt, L., González, J.V., Martínez, J., Knudson, C., Cran, C., Preshel, M., Holoma, S., Gómez, J., J. Luchsinger, J., Silva, M., Fortoul, C., Lamar, S., Grases, J., Vignieri, L., Valladares, E., Suárez, J., Gómez, G., Azpúrua, J., Paparoni, M., Ramos, C., Romero, A., Delgado, J., Azopardo, P., Grinsteins, V., Isaacura, J., Castellanos, H., Vargas, J., 1978. Segunda fase del estudio del sismo ocurrido en Caracas el 29 de julio de 1967. Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo, Ministerio de Obras Públicas, FUNVISIS, editor, Caracas, 2 volúmenes, 1281 pp.
- BSSC, 2003. NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures (FEMA 450). Building Seismic Safety Council (BSSC), NIBS, Washington.
- Cadet, H., 2007. Utilisation combinée des méthodes basées sur le bruit de fond dans le cadre du microzonage sismique, Thèse de Doctorat, Joseph Fourier Université, Grenoble, France, 301 pp.
- Campos, A., 2004. Definición de las relaciones entre parámetros geofísicos y geotécnicos en pozos disponibles a lo largo de la línea 4 del metro de Caracas. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, inédito, 250 pp.
- Campbell, K., 1997. Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra. *Seismol. Res. Lett.*, 68 (1), 154-179.
- Cardona, O.D., 2014. Modelación probabilista, métricas de riesgo y uso de resultados. Informe final al IDB (ATN/MD-13402-RG), PARTE 1, INGENIAR, CIMNE.
- CEN, 2003. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. European Standard, English version, Comité Européen de Normalisation (CEN), Brussels.
- CIMNE, ITEC, INGENIAR, EAI, 2014. Evaluación probabilista de riesgo sísmico y por Inundación para los municipios Chacao y Libertador. Informe final al IDB (ATN/MD-13402-RG), PARTE 2.
- City Plan CA, 2011. Estudios para la elaboración del Plan de Desarrollo Urbano Local del Municipio Chacao.
- Cornell, A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 58, 1583-1606.

- Cornou, C., Cadet, H., Rocabado, V., Schmitz, M., Rendón, H., Causse, M., Wathelet, M., 2011. Shear-wave velocities in Caracas inferred from inversion of phase velocities and ellipticities of Rayleigh waves. *Revista de la Facultad de Ingeniería UCV*, 25 (2), 153–159.
- Coronel D., G., Schmitz, M., Olbrich, F., Mendes, K., Morales, C., Medina, C., Coro, R., Muentes, F., 2011. Propuesta de ordenanza para edificaciones sismorresistentes del Municipio Bolivariano Libertador basada en la microzonificación sísmica de Caracas. I Congreso Internacional de Ingeniería Estructural y Sismorresistente, Valencia, 12pp.
- COVENIN, 2001. Edificaciones Sismorresistentes: Norma Venezolana COVENIN 1756:2001. Comisión Venezolana de Normas Industriales, FONDONORMA, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Infraestructura, FUNVISIS, Caracas.
- Delavaud, É., 2007. Simulation numérique de la propagation d'ondes en milieux géologiques complexes: application à l'évaluation de la réponse sismique du bassin de Caracas. PhD thesis, IPGP, France, 155 pp.
- Delaware (Seismographic Service Corporation of Delaware/ Tulsa, EEUU), 1950. Informe sobre investigaciones de aguas subterráneas del valle de Caracas. Unpublished, Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS), (Ministerio de Obras Públicas), 189 pp.
- Domínguez, J., Colmenárez, L., Hernández, J.J., Leal, V., Cano, V., 2009. Daños estructurales en el terremoto de 1967. Subcapítulo 5.1, Informe Técnico Final, Volumen 1, Caracas, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035a, p. 649-689.
- Duval, A.-M., Méneroud, J.-P., Vidal, S., Singer, A., 1998. Relation between curves obtained from microtremor and site effects observed after Caracas 1967 earthquake. 11th European Conference on Earthquake Engineering, Rotterdam, (CD), 9 pp.
- Ellingwood, B., Galambos, T.V., MacGregor, J.C., Cornell, C.A., 1980. Development of probability based load criteria for American National Standard A58. NBS Special Publication No. 577, National Bureau of Standards, US Department of Commerce, Washington, D.C.
- Enomoto, T., Schmitz, M., Matsuda, I., Abeki, N., Masaki, K., Navarro, M., Rocabado, V., Y Sánchez, A., 2000. Seismic risk assessment using soil dynamic characteristics in Caracas, Venezuela. 6th International Conference on Seismic Zonation, Palm Springs, CD-ROM, 6 pp.
- Espinosa, A.F., Algermissen, S.T., 1972. A study of soil amplification factors in earthquake damage areas, Caracas, Venezuela. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). NOAA Technical Report ERL 280-ESL 31. Boulder, Colorado. U.S.A.
- Feliziani, P., De Luca, P., Barrientos, C., Bastardo, S., Ramírez, R., 1985. Estudio geotécnico del Área Metropolitana de Caracas (Sector Central). VI Congreso Geológico Venezolano.
- Feliziani, P., Piscitelli, G., Castillo, A., 2004. Sistema de Información Geográfica aplicado al subsuelo del Área Metropolitana de Caracas – Proyecto SIGAMC. XVIII Seminario de Geotecnia, Caracas, Memorias.
- Freudenthal, A.M., 1962. Safety, reliability and structural design. Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol. 127, Part II, p. 304-323.
- García, K., Morales, C., Sánchez, J., Schmitz, M., 2006. Determinación de velocidades de ondas de corte (V_{s30}) en el Área Metropolitana de Caracas, a partir de conversión SPT-velocidad de ondas de cortes, análisis de ondas superficiales y sísmica de refracción. VIII Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Valencia, Memorias en CD, 9 pp.
- Gart, G.C., 1982. Uncertainty analysis, loads, and safety in structural engineering. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 224 pp.
- GISCA, 2006. Informe N°: ING-IP-P-050536-4 Rev. 1. Servicios de consultoría para la realización de estudios de exploración del subsuelo en la ciudad de Caracas. Geotecnia e Ingeniería Sísmica, Caracas.
- GLCF, 2008. Global Land Cover Facility. University of Maryland. SRTM data. [On line] www.landcover.org (última visita 08 de diciembre 2008).
- Gómez, J., Schmitz, M., Coronel, G., Morales, C., Santana, L.A., Bruguera, C., Rodríguez, A. 2014. Aplicación WEB para el cálculo de los espectros de diseño de las microzonas sísmicas de Caracas. VI Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Valencia, 5 pp.
- Götze, H.J., Lahmeyer, B., 1988. Application of three-dimensional interactive modeling in gravity and magnetism. *Geophysics*, 53 (8), 1096-1108.
- Grases, J., 1968. El sismo de Caracas de 1967. Estudios orientados hacia su interpretación a partir del comportamiento de estructuras; *Boletín IMME-UCV*, 23-24, 3-125.
- Grases, J., Altez, R., Lugo, M., 1999. Catálogo de sismos sentidos o destructores. Venezuela 1530-1998. Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales, Fac. de Ing., UCV, Caracas.
- Grünthal, G. (ed.), 2003. Escala macrosísmica europea 1998. EMS-98, versión en español. Comisión Sismológica Europea, Subcomisión de Ingeniería Sísmica. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxemburgo.
- Guevara T. and Paparoni M. 1996. Soft First Stories Treatment in the Municipal Ordinances of a Hazardous Sector of Caracas, Venezuela. 11th WCEE. Acapulco, México. Jun 23-28.
- Hartzell, S., Carver, D., Cranswick, E., Frankel, A., 2000. Variability of site response in Seattle, Washington. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90 (5), 1237–1250.

- Hernández, J.J., 2007. EASP. Evaluación de la Amenaza Sísmica Probable. Programa de computación en Plataforma Scilab (c) INRIA-ENPC.
- Hernández, J.J., 2009a. Revisión de la sismicidad y modelo sismogénico para actualización de las evaluaciones de amenaza sísmica en la región norcentral de Venezuela. IX Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Caracas, 12 pp.
- Hernández, J.J., 2009b. Incorporación de la información macrosísmica en modelo sismogénico de Venezuela con fines de evaluaciones de amenaza sísmica. V Jornadas Venez. de Sismología Histórica, Mérida, 5 pp.
- Hernández, J.J., 2009c. Confiabilidad sísmica-estructural de edificaciones existentes de Caracas. Proyecto Pensar en Venezuela, C.I.V., Jornadas 18 y 19 de septiembre de 2009, Caracas, 107 pp.
- Hernández, J.J., Domínguez, J., 2009. Evaluación de edificaciones tipificadas. Sub-capítulo 5.3, Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035a, 2007, p. 701-816.
- Hernández, J.J., Schmitz, M., 2009a. Evaluación actualizada de amenaza sísmica para la micro-zonificación de Caracas. V Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Caracas, 4 pp.
- Hernández, J.J., Schmitz, M., 2009b. Espectros de diseño para microzonas. Sub-capítulo 6.4, Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035a, p. 876-924.
- Hernández, J.J., Valleé, M., Feliziani, P., Schmitz, M., Oropeza, J., Tagliaferro, M., Castillo, A., Cano, V., 2008. Peligro sísmico de deslizamientos en laderas de Caracas. 50 Aniversario de la Sociedad Venezolana de Geotecnia (SVDG), 6 al 9 de noviembre 2008, Caracas, Memorias, 14 pp.
- Hernández, J.J., Schmitz, M., Molina, D., Azuaje, J., 2009a. Amenaza sísmica local. Sub-capítulo 2.4, Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035a, 2007, p. 131-149.
- Hernández, J.J., Domínguez, J., Hernández A., 2009b. Estudio paramétrico de respuestas 1D de sitio. Sub-capítulo 4.1, Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035a, p. 388-411.
- Hernández, J.J., Schmitz, M., Delavaud, E., Alvarado, L., Rocabado, V., Vilotte, J.-P., Rendón, H., 2009c. Efectos 2D y 3D de cuenca. Sub-capítulo 4.3, Informe Técnico Final, Volumen 1, Caracas, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035a, p. 503-539.
- Hernández, J.J., Valleé, M., Schmitz, M., Tagliaferro, M., Oropeza, J., Cano, V., 2009d. Peligro sísmico de deslizamiento en laderas. Sub-capítulo 4.5, Informe Técnico Final, Volumen 1, Caracas, Proyecto de micro-zonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035a, p. 601-648.
- Hernández, J.J., Schmitz, M., Delavaud, É., Cadet, H., Domínguez, J., 2011. Espectros de respuesta sísmica en microzonas de Caracas considerando efectos de sitio 1D, 2D y 3D. Rev. Fac. Ing. UCV, 26 (2), 49-66.
- Hwang, H., Jaw, J., 1990. Probabilistic damage analysis of structures. J. Struct. Eng., 116, 1992-2007.
- Idriss, I., 1993. Procedures for selecting earthquake ground motions at rock sites. Report to U.S. Department of Commerce, 1991, revised 1993.
- Imai, T., Yoshimura, M., 1970. Elastic Wave Velocity and Dynamics Characteristics of the Soft Ground. Soils and Foundation, 18 (1), 17-22.
- ISSMFE, 1993. Manual for zonation on seismic geotechnical hazards. Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering (ISSMFE). The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo.
- IGVSB/GDF, 1984. Mapas a escala 1:5000 del Distrito Federal. Base cartográfica del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB). Editados por la Gobernación del Distrito Federal (GDF), Caracas.
- Jibson, R., Harp E., & Michael, J., 1998. A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps: an example from the Los Angeles, California, area. Open-File Report 98-113. U.S. Geological Survey.
- Jiménez, V., 2013. Identificación de escenarios de impacto potencial ante amenazas sísmicas e hidrogeológicas-aludes torrenciales. Informe final, Componente 1, convenio IPCA – CIGIR 2013. 15 pp y 6 mapas.
- Joyner, W. & Chen, A., 1975. Calculation of nonlinear ground response in earthquakes. Bull. Seismol. Soc. Am., 65 (5), 1315-1336.
- Kantak, P., Schmitz, M., Audemard, F., 2005. Sediment thickness and a west-east geologic cross section in the Caracas Valley. Rev. Fac. Ing. UCV, 20, (4), 43-56.
- Keefer, D., 1984. Landslides caused by earthquakes. Geol. Soc. Am. Bull., 95, 406-421.
- Kramer, S., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- López, O.A., 2011. Reducción del Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela. Informe Técnico Final, IMME-UCV, FUNVISIS, FEDE, 1104 pp.
- López, O.A., Hernández, J.J., Del Re, G., Puig, J., Espinosa, L., 2007. Reducing seismic risk of school buildings in Venezuela. Earthquake Spectra, 23, 771-790.
- Marsh, J., 1992. Two dimensional nonlinear seismic ground studies. PhD Thesis, Univ. of Auckland, New Zealand.

- Miles, S., Keefer, D., 2001. Seismic landslide hazard for the cities of Oakland and Piedmont, California. Miscellaneous Field Studies MAP MF-2379, U.S. Geological Survey, Denver.
- Molina, D., Hernández, J.J., 2007. Curvas, espectros y mapas de amenaza sísmica uniforme para Caracas, más gráficas de desagregación. Documentos internos, Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas, FUNVISIS.
- Mora, C., Vahrson, W., 1994. Macrozonation methodology for landslide hazard determination. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 31 (1), 49– 58.
- Morales, C., Masy, J., Schmitz, M., Cataldi, A., Rojas, H., Ávila, J., Rojas, S., González, M., 2008. Aplicación de Métodos Geofísicos para la Caracterización de sitios en el estudio de Microzonificación Sísmica de Caracas. Conferencia 50 Aniversario de la Sociedad Venezolana de Geotecnia (SVDG), Caracas, 15 pp.
- Morales, C., Hernández, J.J., Schmitz, M., Cano, V., Tagliaferro, M., 2011. Distribución de velocidades de ondas de corte en los primeros 30 m de profundidad (Vs30), calibrados a partir de datos de relieve en la ciudad de Caracas. Rev. Fac. Ing. UCV, 26 (2), 161–168.
- Moncada, J., 2005. Modelado gravimétrico del basamento del Municipio Libertador, Distrito Metropolitano de Caracas. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Caracas, 128 pp.
- Murphy, V., Linehan, D., Turcotte, T., 1969. Seismic Investigations, Valley of Caracas and the Litoral Central. Weston Geophysical Engineers International, Inc., Weston, Massachusetts (para la Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo), 22 pp.
- Newmark, N., 1965. Effects of earthquakes on dams and embankments. Fifth Rankine Lecture, Géotechnique, 15 (2), 139-160.
- Ohta, Y., Goto, N., 1978. Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 6, 167-187.
- Padrón, C., Mendes, K.C., Schmitz, M., Hernández, J.J., 2011. La microzonificación sísmica en el proceso de planificación urbana. Caso de estudio: Municipio Chacao. Rev. Fac. Ing. UCV, 26 (2), 89–101.
- Papageorgiou, A., Kim, J., 1991. Study of the propagation and amplification of seismic waves in Caracas valley with reference to the 29 July 1967 earthquake: SH waves. Bull. Seismol. Soc. Am., 81 (6), 2214-2233.
- PEER, 2005. PEER NGA Database. Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), California.
- Risk Engineering Inc., 1998. EZ-FRISKTM user's manual, EZ-FRISKTM version 4.1.
- Rocabado, V., Schmitz, M., Malavé, G. y Enomoto, T., 2000. Períodos fundamentales del suelo de la ciudad de Caracas a partir de mediciones de ruido ambiental. X Congreso Venez. de Geofísica, Caracas, CD, 8 pp.
- Rocabado, V., Schmitz, M., Rendón, H., Villote, J.-P., Audemard, F., Sobiesiak, M., Ampuero, J.-P., Alvarado, L., 2006. Modelado numérico de la respuesta sísmica 2D del valle de Caracas. Rev. Fac. Ing. UCV, 21 (4), 81–93.
- Rocabado, V., Schmitz, M., Hernández, J.J., Morales, C., 2011. Relación entre período del suelo y profundidad de los sedimentos para la ciudad de Caracas. Rev. Fac. Ing. UCV, 26 (2), 141–151.
- Romeo, R., 2000. Seismically induced landslide displacements: a predictive model. Engineering Geology, 58, 337–351.
- Sadigh, K., Chang, C.Y., Egan, J.A., Makdisi, F., Youngs, R.R., 1997. Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. Seismol. Res. Lett., 68 (1), 180-189.
- Safina, S., Andrade, M., Schmitz, M., Jraige, C., Espinosa, L., 2008. Seismic response of reinforced concrete buildings in Caracas, Venezuela. 14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE), Beijing, October 12-17, 2008, 7 pp.
- Sánchez, J., Orihuela, N., Meza, R., Ambrosio, R., 2001. Modelado gravimétrico del basamento de la cuenca de Los Palos Grandes. Taller Internacional en el marco del proyecto: “Estudios de métodos y acciones para contrarrestar los efectos producidos por terremotos en Caracas (1999 – 2001)”. 2000: Agosto 24–25. Caracas, Venezuela. Serie Técnica 01/2001, FUNVISIS, 6 pp.
- Sánchez, J., Schmitz, M., Cano, V., 2005. Mediciones sísmicas profundas en Caracas para la determinación del espesor de sedimentos y velocidades sísmicas. Boletín Técnico del IMME, 43 (2), 49-67.
- Schmidt, S., Götze, H.J., 1998. Interactive visualization and modification of 3D models using GIS functions. Phys. Chem. Earth, 23 (3), 289-295.
- Schmitz, M., Sánchez, J., Rocabado, V., Enomoto, T., 2003. Geophysical investigations as the base for a seismic microzoning study in Caracas, Venezuela. International Conference Risk, Vulnerability & Reliability in Construction, Algiers, Actes Volume I, p. 123-131.
- Schmitz, M., Hernández, J.J., Morales, C., Domínguez, J., Rocabado, V., Valleé, M., Tagliaferro, M., Delavaud, É., Singer, A., Amarís, E., Molina, D., González, M., Leal, V. y el grupo de trabajo del proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas, 2011. Principales resultados y recomendaciones del proyecto de microzonificación sísmica en Caracas. Rev. Fac. Ing. UCV, 26 (2), 113–127.
- Schnabel, P., Lysmer, J., Seed, H., 1972. SHAKE - A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-72/12. University of California, Berkeley.
- Seed, B., Idriss, I., 1970. Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses. UCB/EERC-70/10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

- Seed HB, Idriss IM, Dezfulian H., 1970. Relationships between soil conditions and building damage in the Caracas earthquake of July 29, 1967. EERC-Report 70-2, Berkeley, California, 40 pp.
- Singer, A., Rojas, C., Lugo, M., 1983. Inventario nacional de riesgos geológicos. Estado preliminar. Departamento de Ciencias de la Tierra, FUNVISIS, Serie técnica 03-83, 126 pp. + 1 mapa.
- Singer, A., Zambrano, A., Oropeza, J., Tagliaferro, M., 2007. Cartografía de las unidades geológicas cuaternarias del Valle de Caracas a escala 1:25.000. IX Congreso Geológico Venezolano, Caracas, Octubre 2007, Memorias.
- Somerville, P, Smith, N., Graves, R., Abrahamson, N., 1997. Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity. *Seismol. Res. Lett.*, 68 (1), 199-222.
- Suárez, G., Nábělek, J., 1990. The 1967 Caracas Earthquake: fault geometry, direction of rupture propagation and seismotectonic implications; *J. Geophys. Res.*, 95, 17459-17474.
- Thoft-Christensen, P., Baker, M., 1982. Structural reliability theory and its applications. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, Germany, 267 pp.
- Urbani, F., Rodríguez, J.A., 2004. Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Edic. UCV y FUNVISIS, Caracas, 148 hojas geológicas a escala 1:25.000.
- Valleé, M., 2006. Generación de un modelo de susceptibilidad a movimientos de remoción en masa considerando la intensidad de las lluvias y la actividad sísmica como factores detonantes: aplicación al Sector del Túnel Corral de Piedra (Metro Las Adjuntas-Los Teques), Municipio Libertador, Distrito Capital. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar.
- Valleé, M., Tagliaferro, M., Feliziani, P., Castillo, A., Zamora, D., Anzola, F., Hernández, J.J., Schmitz, M., Oropeza, J., Aguilar, I., Zambrano, H., 2009. Caracterización de laderas. Subcapítulo 4.4, Proyecto de Microzonificación Sísmica en las ciudades de Caracas y Barquisimeto. Informe Final, FUNVISIS, Caracas.
- Vucetic, M., Dobry, R., 1991. Effect of soil plasticity on cyclic response. *J. Geot. Eng.*, 117 (1), 89-107.
- Whitman, R.V., 1969. Efecto de las condiciones del suelo en el daño producido a las estructuras por el terremoto de Caracas del 29 de Julio de 1967. Cambridge, Massachusetts, U.S.A.
- Yamazaki, Y., Audemard, F. Hernández, J.J. Orihuela, N., Safina, S., Schmitz, M., Altez, R., Tanaka, I., Kagawa, H., Jica Study Team Earthquake Disaster Group., 2004. Earthquake Scenarios in Caracas for Disaster Prevention. XVIII Seminario de Geotecnia, Caracas, Memorias en CD, 11 pp.
- Zambrano, H., Hernández, J.J., 2005. Susceptibilidad sísmica de deslizamientos de laderas en Caracas. IV Coloquio de Microzonificación Sísmica, Barquisimeto. Memorias en Serie Técnica N° 1-2005, FUNVISIS, Caracas



9. VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS POPULARES EN CARACAS

**Autores: Oscar A. López
 Valentina Páez
 Gustavo Coronel D.**

RESUMEN

Se inspeccionaron 626 viviendas populares en 15 barrios de la Gran Caracas a los fines de determinar sus características estructurales y evaluar la vulnerabilidad ante sismos. El tipo estructural más común es un sistema mixto de pórticos de concreto armado y mampostería de baja calidad de construcción. Se obtuvieron índices de vulnerabilidad sísmica catalogados como elevados a muy elevado, del mismo orden que los de edificios formales derrumbados en los sismos de Caracas (1967) y Cariaco (1997). Se estima un total de 224.323 edificaciones populares en Caracas que representan un 69,9% del total de edificaciones de la ciudad, de las cuales un 75,6% tienen el tipo estructural mixto. Se presenta la simulación de la respuesta estructural inelástica de cuatro viviendas populares que fueron construidas en un barrio y sometidas a carga lateral estática hasta alcanzar daño estructural severo. Se indica que el uso de modelos de plasticidad concentrada en rótulas permite reproducir satisfactoriamente las principales características de la respuesta medida durante los ensayos. De inspecciones detalladas hechas en varias viviendas se identificaron materiales, geometría y secciones de elementos estructurales, con las cuales se definieron configuraciones típicas para una determinación detallada de la vulnerabilidad. Mediante análisis estático no lineal se determinaron curvas de capacidad, curvas de fragilidad para varios estados de daño y curvas de vulnerabilidad para viviendas con alturas comprendidas entre dos y cinco niveles y cuatro condiciones de sitio. Se presenta una expresión para calcular la pérdida económica esperada en función de la aceleración del terreno en roca. Se pone de manifiesto la mayor vulnerabilidad de las viviendas de mayor altura especialmente cuando están localizadas en depósitos de sedimentos. Una eventual repetición del sismo de Caracas de 1967 produciría daño completo en un 2% del total de 169.576 edificaciones del tipo estructural mixto de la ciudad, 6.482 víctimas fatales y una pérdida del 6% del valor económico de las viviendas populares. Se concluye que las viviendas populares poseen un elevado riesgo sísmico que amerita la puesta en acción de medidas de mitigación.

9.1. INTRODUCCIÓN

9.1.1. Motivación y Objetivos

Las principales ciudades de Venezuela están localizadas en zonas de elevada amenaza sísmica. Un porcentaje importante de la población habita en viviendas construidas sin el cumplimiento de las normas técnicas de diseño y construcción. El último censo nacional indica que en el área metropolitana de Caracas un 58 % de las *unidades* de vivienda son casas y ranchos de carácter popular asociados a construcciones informales (INE, 2011). El terremoto de Haití de 2010 ocasionó unas 250.000 víctimas fatales, la mayoría producto del derrumbe de viviendas populares lo que destaca la elevada vulnerabilidad de las construcciones hechas sin criterios técnicos de construcción sismorresistente. Esta investigación tiene como objetivo identificar las características estructurales y determinar la vulnerabilidad ante movimientos sísmicos de viviendas populares en Caracas.

9.1.2. Antecedentes

La vulnerabilidad estructural a sismos de las viviendas populares en Venezuela ha sido considerada en diversos trabajos los cuales se citan a continuación, discriminándolos ordenadamente entre trabajos de campo, ensayos en laboratorio y estudios teóricos de vulnerabilidad y riesgo.

Palladino y Perna (1983) como parte del proyecto iniciado en el IMME de la Facultad de Ingeniería de la UCV sobre las viviendas de mampostería, recopilaron algunas características estructurales de viviendas ubicadas en zonas sísmicas por medio de inspecciones en algunos barrios de Caracas. Rosas (1988) describe tres etapas constructivas de las viviendas en los barrios de Caracas, denominadas “Ranchos” que

usa materiales de desecho, “Mejora de Vivienda” que reemplaza los materiales precarios por bloques de arcilla, losa de tabloneros y elementos de concreto armado, y “Ampliación de Vivienda” en la cual la estructura crece en planta o elevación según el contexto donde se encuentra ubicada. Bolívar (1993) describe las características estructurales de un conjunto de viviendas populares en el barrio Santa Cruz de las Adjuntas, Parroquia Macarao y en los barrios Carpintero y Valle Alto, Municipio Sucre. Cano (2003) caracteriza los problemas estructurales típicos de las viviendas en el barrio de la Quebrada Anaúco en Caracas y presenta propuestas de reforzamiento de estas edificaciones. En Rosas et al. (2008) se caracterizaron las tipologías constructivas de las viviendas de los barrios de Caracas y se describieron las fases constructivas y los materiales de uso frecuente.

A partir de la década de 1980 se inició en el IMME-FI-UCV un programa de investigación de la vivienda de mampostería (López et al., 1986). Castilla (1998) estudió la resistencia a compresión y a corte de 9 muros de bloques de concreto de 15 cm de espesor, confinados por machones y vigas de corona. Las propiedades mecánicas de las paredes de mampostería confinada de bloques de arcilla se presentan en Castilla (1994) y Castilla et al. (1995); se ensayaron 10 muros de 15 cm de espesor, variando la esbeltez y la carga axial. El estudio de muros de mampostería confinada de ladrillos de arcilla (piezas sin huecos) de 12 cm de espesor se presenta en (Lafuente y Genatios, 2000); se ensayaron 10 muros a escala reducida. Marinilli (2007) determina las propiedades de 4 muros de bloques de concreto de 15 cm de espesor, variando el número de paños (1 a 3) y el número de machones confinantes. En Fernández y Marinilli (2004) se determinó la resistencia en bloques, ladrillos, pilas y muros, tanto de arcilla como de concreto, considerando diversos espesores comerciales de uso en el país. Como parte del Proyecto JICA (2004) se construyeron cuatro viviendas populares en un barrio de Caracas las cuales fueron ensayadas a carga lateral simulando la acción sísmica hasta alcanzar daño estructural considerable.

Mebarki y Valencia (2003) proponen una metodología de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de construcciones informales en mampostería. El proyecto JICA (2004) evaluó el desempeño sísmico de edificaciones en el área metropolitana de Caracas, incluyendo viviendas populares. La simulación del sismo de Caracas de 1967 indica que un 3,9 % de las viviendas de barrio serían severamente dañadas. Castillo et al. (2011) estudiaron el riesgo sísmico de un asentamiento informal urbano en la ciudad de Mérida mediante el método del Índice de Vulnerabilidad Italiano. En un escenario sísmico de intensidad IX, más del 32% de los edificios sufrirán daño extenso o mayor. Bendito et al. (2014) estimaron pérdidas probables para la ciudad de Mérida utilizando el modelo de HAZUS. El tipo de edificación de mampostería no reforzada el cual corresponde al 70% de las construcciones del Estado Mérida es el que presenta mayores daños; el 15% de estos edificios sufre daño completo para un sismo de 0,37 g con periodo de retorno de 475 años y magnitud 7,5. Guerrero y Zeoli (2011) determinaron índices de vulnerabilidad sísmica de 63 viviendas populares del Barrio Telares de Palo Grande en Caracas; posteriormente Fuentes y Palacios (2014) estudiaron detalladamente una vivienda del barrio y cuantificaron su vulnerabilidad y riesgo sísmico. Páez (2016) estudia el desempeño sísmico de viviendas informales en Caracas y desarrolla curvas de fragilidad para tipologías estructurales típicas.

9.2. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS VIVIENDAS POPULARES

9.2.1. Metodología a partir de inspecciones rápidas

En esta sección se particulariza para viviendas populares el método de inspección rápida de edificaciones. La información que se resume en la **Tabla 9-1** se recopila en campo con una planilla física o dispositivo móvil (celular o tableta), a partir de la cual se calcula el Índice de Vulnerabilidad (I_V) que se define por:

$$I_V = \sum_{i=1}^6 \alpha_i \cdot I_i \quad (9-1)$$

Donde I_i es el Índice de la Vulnerabilidad específica “i” y α_i es su peso relativo (**Tabla 9-1**). Cada índice I_i tiene una cota superior de 100, por lo que I_V está también acotado a 100. Una descripción detallada del procedimiento se puede ver en López et al. (2014).

Tabla 9-1: Índices de vulnerabilidad específica (I_i) y pesos relativos (α_i).

I_i	Vulnerabilidad asociada a:	α_i
I_1	Antigüedad y norma utilizada	0,25
I_2	Tipo estructural	0,35
I_3	Irregularidad	0,25
I_4	Profundidad del depósito	0,07
I_5	Topografía y drenajes	0,04
I_6	Grado de deterioro	0,04

El índice I_1 atiende a la edad de la construcción y a la norma de diseño utilizada. Para viviendas construidas sin cumplimiento de normas de diseño, se adopta $I_1 = 100$. El índice I_2 atiende al tipo estructural. Aun cuando el método de inspección rápida define 15 tipos estructurales posibles, solo se muestran en la **Tabla 9-2** los 7 tipos característicos en las zonas de viviendas populares.

Tabla 9-2: Valores del índice de vulnerabilidad asociado al tipo estructural (I_2)

Tipo Estructural	Descripción	I_2
2	Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques	40
10	Muros de mampostería confinada	70
11	Muros de mampostería no confinada	100
12	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos	90
13	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos.	95
14	Viviendas de bahareque de un piso	90
15	Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.)	100

El índice de irregularidad (I_3) aumenta la vulnerabilidad intrínseca de una edificación que posea irregularidades o deficiencias estructurales significativas. Si hay dos o más entrepisos del tipo estructural 11, $I_3 = 100$. Las irregularidades penalizadas son discontinuidad de columnas o paredes portantes, pisos blandos, ausencia de vigas, columnas cortas, asimetría en planta, adosamiento y esbeltez excesiva.

El Índice de profundidad del depósito (I_4) vale 100 si la vivienda tiene más de 6 pisos y está sobre sedimentos de profundidad mayor a 120 metros, y vale 0 en los otros casos. El índice I_5 identifica situaciones de vulnerabilidad asociadas a construcciones hechas en laderas, penalizando además la

ausencia de un sistema formal de drenaje de aguas. El índice I_6 cuantifica el grado de deterioro y mantenimiento de la vivienda.

El índice de Vulnerabilidad I_V dado por la Fórmula 1 se califica entre 0 y 100. Edificaciones diseñadas con normas sísmicas modernas, sin irregularidades estructurales y en buen estado de mantenimiento tienen valores no mayores de 20. Los cuatro edificios formales que se derrumbaron en Caracas en 1967 y las dos escuelas derrumbadas en Cariaco en 1997 tenían valores de I_V entre 54 y 69 (López et al., 2014).

9.2.2. Inspecciones realizadas

Se realizaron inspecciones en 626 viviendas de sectores populares de Guarenas-Guatire del Estado Miranda y de Caracas siguiendo el procedimiento de inspección rápida descrito en la sección anterior. La **Tabla 9-3** muestra la localización y el número de viviendas inspeccionadas en cada barrio. Las inspecciones se desarrollaron bajo la coordinación de FUNVISIS con la participación de estudiantes de la Universidad Central de Venezuela (UCV) y de la Universidad Nacional Experimental de las Fuerzas Armadas (UNEFA) y con el apoyo del grupo de ingenieros del Convenio de cooperación Cuba-Venezuela.

Tabla 9-3: Localización y número de viviendas inspeccionadas.

Guarenas y Guatire		Caracas	
Barrio	N° de viviendas	Barrio	N° de viviendas
Brisas de Campo Alegre	1	Camboya	66
El Jabillo	58	Casco Histórico	2
Guacarapa	15	La Candelaria	1
La Guairita	59	La Silsa	89
Las Casitas	84	Pajaritos	34
Ochoa	14	Telares	63
Ruiz Pineda	8	Maripérez	3
Terrazas del Araguañey	8	Santa Rosa	77
Valle Verde	28	-	-
Zulia	6	-	-
Zumba	10	-	-
Total	291	Total	335

A continuación se sintetiza la información recopilada en cinco barrios, uno en Guatire, otro en Guarenas y tres en Caracas. Una descripción detallada de las inspecciones se puede encontrar en (Páez, 2016). La **Figura 9-1** muestra dos viviendas en el Barrio El Jabillo ubicado en Guatire, Municipio Zamora; las primeras casas del barrio son de la década de 1970. Se encuentra en ladera de montaña con pendiente entre los 20° y 45°. Las viviendas son de baja altura, 40 son de un nivel, 16 de dos niveles y 2 son de tres niveles. El 72 % de las viviendas es del tipo estructural mixto (Tipos 12 y 13, **Tabla 9-2**). La mayoría de las viviendas (67 %) no cuenta con un sistema formal de drenajes de aguas servidas y de lluvia. El esquema de planta (59 %) es regular al igual que el esquema de elevación, entre las irregularidades comunes encontramos la discontinuidad de ejes de columnas, la ausencia de vigas en una dirección y adosamiento.

a) Sistema estructural mixto.

b) Vivienda de mampostería sin vigas de corona y techo liviano.



Figura 9-1: Viviendas típicas en el Barrio El Jabillo, Guatire.⁴⁶

El barrio Ruiz Pineda tiene su origen en la década de 1970 y está ubicado en Guarenas, Municipio Plaza, una parte en planicie y otra parte en ladera de montaña de pendiente entre los 20° y 45°. Un 88 % de las viviendas son de 1 o 2 pisos. El tipo estructural característico es el mixto (50 %), sin embargo un 38 % son de construcción precaria. Un 75 % carece de un sistema formal de drenaje. Un 63 % y un 75 % tienen esquemas regulares de planta y de elevación, respectivamente. La ausencia de vigas y muros en una dirección, el adosamiento y la discontinuidad de ejes de columnas son las irregularidades observadas. La **Figura 9-2** muestra dos viviendas características del sector.

a) Vivienda de construcción precaria.

b) Vivienda del tipo estructural mixto



Figura 9-2: Viviendas típicas en el Barrio Ruiz Pineda, Guarenas.

El barrio Pajaritos ubicado en el municipio Chacao en Caracas se originó en la década de 1960 y se encuentra en una planicie sobre sedimentos de gran profundidad. Se inspeccionaron todas las viviendas del barrio; los tipos estructurales predominantes son el mixto (38 %) y el de mampostería no confinada

⁴⁶ N.d.E: Las fotografías, tablas y figuras de este artículo son de los autores, a menos que se indique lo contrario

(38 %), cada uno con 13 de las 34 viviendas del barrio. 5 viviendas son de un nivel, 17 de dos niveles y 12 de tres o más niveles. El 65 % carece de sistema formal de drenaje de aguas servidas y de lluvia. Los esquemas de planta y elevación son regulares. El adosamiento (97 %) y la asimetría de masas (35 %) son las irregularidades comunes. Un 67 % carece de un sistema formal de drenaje de aguas servidas y de lluvia. La **Figura 9-3** muestra viviendas características del sector.

a) Vivienda de tipo estructural mixto.



b) Vivienda de mampostería no confinada.

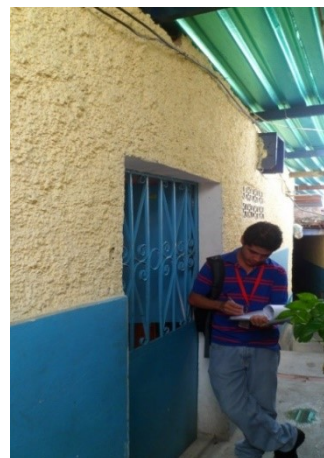


Figura 9-3: Viviendas características del Barrio Pajaritos, Municipio Chacao, Caracas.

El Barrio Telares de Palo Grande ubicado en la parroquia Caricuao del municipio Libertador en Caracas, surge en la década de 1970 y se encuentra en ladera de montaña con pendiente que oscila entre los 20° y 45°. La distribución de altura es la siguiente: 11 viviendas son de un nivel, 26 de dos niveles y 26 de tres o más niveles. El tipo estructural predominante es el mixto. Predominan esquemas irregulares de planta (56 %) y de elevación (68 %). La discontinuidad de ejes de columnas (48 %) y el adosamiento entre viviendas (45 %) son características estructurales comunes. Un 83 % tiene un sistema formal de drenajes de aguas servidas y de lluvia en sus viviendas. La **Figura 9-4** muestra viviendas características del barrio.

a) Tipo estructural mixto de 2 niveles.



b) Tipo estructural mixto de 3 niveles.



Figura 9-4: Viviendas típicas del Barrio Telares de Palo Grande, Municipio Libertador, Caracas.

El barrio Santa Rosa del Municipio Libertador de la parroquia El Recreo en Caracas se inició en la década de 1960 y se encuentra sobre una planicie. Los tipos estructurales predominantes son la mampostería no

confinada y el sistema mixto, 37 y 35 de las 77 viviendas inspeccionadas, respectivamente. El 73 % de las viviendas son de 1 o 2 pisos. La mayoría de los esquemas de elevación y de planta son regulares. Las irregularidades predominantes son el adosamiento (75 %) y la ausencia de vigas en una dirección (38 %). Un 55 % carece de sistema formal de drenaje. La **Figura 9-5** muestra algunas viviendas del sector.

a) Vivienda de mampostería no confinada.



b) Vivienda de tipo estructural mixto.



Figura 9-5: Viviendas típicas del Barrio Santa Rosa, Municipio Libertador, Caracas.

9.2.3. Tipologías y características estructurales de la vivienda popular

Con la información recopilada de las 626 viviendas se identificaron cinco tipos estructurales característicos los cuales se describen en la **Tabla 9-4** con su porcentaje correspondiente. Se identifica allí el Tipo Estructural asociado según las definiciones de la **Tabla 9-2**. En la **Figura 9-6** se presentan imágenes características de estos cinco tipos estructurales. El tipo estructural predominante es el sistema mixto constituido por pórticos de concreto armado y mampostería de baja calidad constructiva (Tipos 12 y 13) con un 60,4%, seguido de la mampostería no confinada (Tipo 11) con un 24,6%. El sistema mixto (Tipos 12 y 13) se corresponde con el Tipo (e) identificado por Rosas (2008) y definido como “Edificaciones construidas combinando mampostería y esqueleto estructural”.

La distribución porcentual del número de pisos se muestra en la

Tabla 9-5. Predominan las viviendas de un piso con un 44,5 % y las de dos pisos con un 33,4%. No se observaron viviendas mayores a 6 pisos. Las viviendas de 4, 5 y 6 pisos representan un 3,9%. Un 58 % de la muestra de viviendas no posee drenajes y un 42 % si cuenta con ellos. Un 72 % se encuentran ubicadas en laderas de las montañas, un 26 % se encuentran en planicie y el 2 % restante en la cima de las montañas.

De mediciones efectuadas en un grupo de viviendas (sistema mixto de pórticos y de mampostería) se observó que presentan similitudes en la geometría y materiales (Páez, 2016); la sección típica de las vigas es de 20 cm x 20 cm y la de las columnas de 20 cm x 20 cm en las viviendas de 1 o 2 pisos y de 25 cm x 25 cm en las de mayor altura. La distancia entre ejes de columnas tiene valores predominantes alrededor de los 3 metros y la altura característica de entrepiso es de 2,40 m. Predominan las paredes de bloques de arcilla, con bloques de 15 cm de espesor. Los bloques de concreto más comunes son de 20 cm de espesor, principalmente empleados para la construcción de paredes en contacto con el terreno. La losa de entrepiso más utilizada es la de tabelones (bloques de arcilla) con perfiles IPN 80. El concreto es usado para construir fundaciones, machones y columnas, vigas de corona y losetas de entrepiso o techo. La mezcla más común es de un saco de cemento, seis latas de arena lavada gris, tres latas de piedra picada N°1 (o en su defecto N° ¾) y cuatro a cinco latas de agua. De los ensayos de núcleos de concreto extraídos en

viviendas del barrio Telares se obtuvieron resistencias entre 78 y 210 con una media de 131 kg/cm². El diámetro del refuerzo longitudinal más usado es de 1/2" pero pueden también ser de 1/4" o 5/8", con estribos y ligaduras de superficie lisa de 1/8" de diámetro.

(a) Construcción precaria.



(b) Bahareque.



(c) Mampostería no confinada.



(d) Mampostería confinada.



(e) Sistema mixto.



(f) Sistema mixto.



Figura 9-6: Tipologías estructurales típicas de las viviendas populares.

Tabla 9-4: Descripción y distribución porcentual de tipologías estructurales.

Tipo Estructural (Tabla 9-2)	Descripción	%
13	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos. (Figura 9-6 e).	47,6
12	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos. (Figura 9-6 f).	12,8
11	Vivienda de mampostería no confinada: Estructura compuesta por muros de bloques trabados y unidos por mortero (Figura 9-6 c).	24,6
15	Vivienda de construcción precaria: Estructura constituida por materiales de desecho tales como láminas de zinc, madera, cartón piedra, tierra y otros. (Figura 9-6 a).	8,5
10	Vivienda de mampostería confinada: Estructura compuesta por muros de bloques trabados unidos por mortero, enmarcados por elementos de concreto armado denominados machones (elementos verticales) y vigas de corona (elementos horizontales) (Figura 9-6 d).	6,0
14	Vivienda de bahareque: Estructura constituida por caña brava entretrejida y barro, con paredes frisadas en la mayoría de los casos (Figura 9-6 b).	0,5

Tabla 9-5: Distribución porcentual del número de pisos de las viviendas.

Número de pisos	1	2	3	4	5	6
%	44,5	33,4	18,0	3,0	0,8	0,1

9.2.4. Índices de vulnerabilidad y riesgo

Se calculó el Índice de Vulnerabilidad (I_v) dado por la Fórmula (1) para cada una de las 626 viviendas inspeccionadas. Los índices de vulnerabilidad varían entre 50 a 93, con una media de 73. Un 8% tienen vulnerabilidad elevada y un 92% muy elevada. Como referencia se tiene que el Liceo Raimundo Martínez Centeno y la escuela Valentín Valiente, edificios escolares de construcción formal que se derrumbaron ante el sismo de Cariaco de 1997, poseían índices de vulnerabilidad de 50 y 60, respectivamente. El edificio Mijagual derrumbado en el sismo de Caracas de 1967 tenía un índice de 67 (López et al, 2014).

9.2.5. Inventario de las edificaciones populares en Caracas

De los resultados del Censo nacional de población y vivienda del año 2011 se tienen 2.904.376 personas en el AMC repartidas en 912.869 unidades de vivienda de las cuales 55% fueron identificadas como casas, 36,8% apartamentos en edificios, 5,2% quintas y 3% ranchos (INE, 2011). A partir de estos resultados se han asociado las casas y ranchos (529.464 unidades de vivienda, 58 %) a las viviendas populares de los barrios de Caracas. Sin embargo, estas unidades de viviendas pueden estar ubicadas en un número menor de edificaciones (en una edificación puede haber más de una unidad de vivienda), por lo que es necesario usar fuentes adicionales de información para estimar la cantidad de edificaciones populares.

Como antecedente se tiene el inventario de edificaciones en el Plan Básico de Prevención de Desastre de Caracas (JICA, 2004), donde se estimó el número de edificaciones a partir de polígonos de las manzanas en las zonas urbanas, polígonos del contorno de los barrios que sumaban 4.341 Hectáreas (Has) y polígonos de edificios. Se estimaron 296.287 edificaciones de uso residencial con 205.983 (69,5%) en zonas de barrios. En dicho estudio no se discrimina la tipología de las edificaciones de barrio, pero sí se discrimina la pendiente del terreno con 52,2% en pendiente menor a 20° y 47,8% mayor a 20°. Posteriormente en el año 2014 y con base a imágenes de *Google Earth* se estimó un total de 242.657 edificaciones en barrios, en 4.472 Has con un total de 1.385.042 personas, lo cual representa un crecimiento de 2,58 veces de edificaciones, 3,35 veces de área construida y 2,72 veces de población en relación a los datos de 1966 (Enlace Arquitectura, 2015). Dicho trabajo no tiene información de la altura de las edificaciones ni discrimina las tipologías estructurales.

En este trabajo el número y la tipología de edificaciones populares en barrios se estima a partir de los recientes resultados de Coronel (2016) quien presentó una metodología para el desarrollo de un modelo de exposición de las edificaciones de Caracas, basada en: 1) Definición de zonas homogéneas asociadas al tipo de vivienda predominante (casa, quinta, edificio o rancho) con el uso de imágenes satelitales de *Google Earth* del 2016; 2) Inspecciones rápidas para identificar tipologías y clases de edificios; 3) Estimación del valor expuesto en términos económicos y sociales. Esta metodología permite estimar la cantidad de edificaciones y su tipología estructural. Se definieron 932 polígonos de zonas homogéneas en donde se estimó un total de 320.697 edificaciones de uso predominantemente residencial, a partir de los polígonos de edificios usados en JICA (2004) que fueron complementados con la imagen satelital del 2016. En las zonas de barrios se definieron 218 zonas que abarcan una superficie de 4.871 Has, que se muestran en la **Figura 9-7**. Se estiman 224.323 edificaciones populares que representan un 69,95% del total de la ciudad, cantidad que pudiera ser un poco mayor dado que puede haber otras aisladas en algunas

zonas urbanas. Esta estimación de 224.323 edificaciones es consistente con las 529.464 unidades de vivienda de tipo casa y rancho determinadas en el censo (INE, 2011), lo cual representa en promedio unas 2,36 unidades de vivienda por edificación popular.

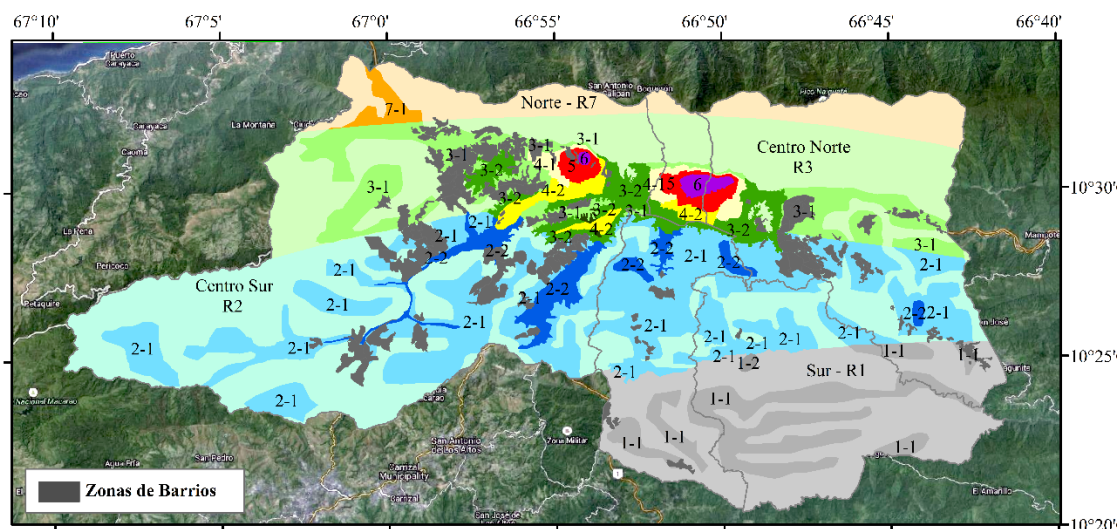


Figura 9-7: Zonas de barrio (color gris) y su relación geográfica con las microzonas sísmicas de Caracas.

La información anterior se correlaciona con la microzonificación sísmica de Caracas (FUNVISIS, 2009) en la **Figura 9-7**: De las 224.323 edificaciones populares se estima que un 47,4% están en la zona Centro Norte (R3), un 50,7% en la zona CentroSur (R2) y un 1,9% en la zona Sur (R1). Un 93,3% estarían sobre roca sana (R1, R2 y R3) o en las microzonas de roca meteorizada (1-1, 1-2 y 2-1), un 5,8% sobre suelos de profundidad somera (microzonas 2-2, 3-1, 3-2, 4-1 y 4-2) y un 0,9% sobre suelos profundos (microzonas 5 y 6).

De las 224.323 edificaciones populares, un 75,6% (169.576 edificaciones) son sistemas mixtos de pórticos y mampostería, de las cuales un 66,2% tienen 1 o 2 pisos y un 33,8% tienen 3 o más pisos. Otros tipos estructurales identificados son mampostería no confinada con 14,6%, mampostería confinada con 7,1% y construcciones precarias con 2,7%, estas últimas con alturas entre 1 y 2 pisos (Coronel, 2016).

9.3. SIMULACIÓN DE LA RESPUESTA NO LINEAL DE UNA VIVIENDA

Se presenta la simulación mediante el uso de un modelo de plasticidad concentrada, de la respuesta inelástica de cuatro prototipos de viviendas populares construidas y ensayadas a carga lateral en un barrio de Caracas. Las pruebas fueron efectuadas por el IMME como parte del Proyecto JICA y FUNVISIS. Las viviendas se construyeron en el Barrio Minas de Baruta y ensayadas a carga lateral hasta alcanzar daño estructural severo (JICA, 2004; IMME, 2004). La **Figura 9-8** muestra las cuatro viviendas de 2 pisos en un terreno con pendiente pronunciada (40%), las cuales fueron hechas por personas del barrio. Primero se construyó el esqueleto de vigas y columnas de concreto armado y posteriormente se añadieron las paredes de bloques de arcilla. Las viviendas se denominan así:

- Vivienda 1: Estructura original tal como la hicieron los constructores populares, sin paredes en el entrepiso inferior.
- Vivienda 2: Estructura reforzada con vigas de riostra en todo el perímetro;
- Vivienda 3: Estructura reforzada con vigas de riostra más paredes de bloques de arcilla en el entrepiso inferior;

- d) Vivienda 4: Estructura reforzada con vigas de riostra más paredes de mampostería de bloques de concreto en el entrepiso inferior.

La **Figura 9-9** muestra un esquema de la planta y de los pórticos longitudinales. Detalles se encuentran en el informe JICA (2004). La planta es rectangular de lados 3,80 m x 2,80 m con dos pórticos (A y B) en la dirección longitudinal y dos pórticos (1 y 2) en dirección transversal. Los pórticos A y B poseen una columna larga (Eje 1) y una columna corta (Eje 2) de luz libre igual a 0,60 m. Cada una de las cuatro viviendas fue sometida a una carga lateral aplicada en el primer nivel (**Figura 9-9**) en dirección longitudinal la cual aumentó progresivamente hasta alcanzar un estado de daño considerable.

La falla predominante en la Vivienda 1 fue por flexión de las columnas del primer nivel de la fachada principal y fallas combinadas de flexión y corte en las columnas de la fachada posterior. La falla predominante en la Vivienda 2 fue por corte de las columnas del primer nivel en la fachada principal. La Vivienda 3 presentó falla por corte en los segmentos de columnas del primer nivel de la fachada principal acompañados también de falla local de los muros de mampostería, principalmente en las zonas más próximas a estas columnas. La Vivienda 4 presentó falla por corte de los segmentos de columna del primer nivel de la fachada principal y falla local de los muros de mampostería en las zonas cercanas a estas columnas.

a) Fachada principal

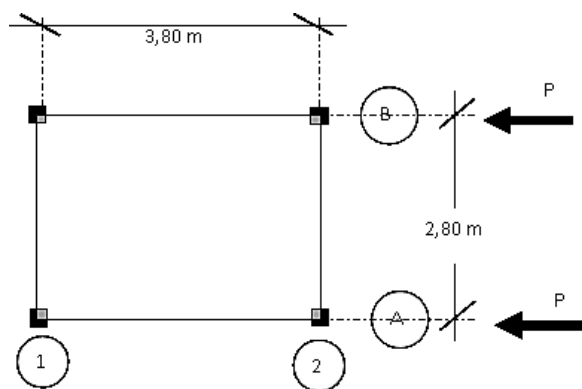


b) Fachada posterior



Figura 9-8: Fotografías de las cuatro viviendas ensayadas.
(IMME, 2004).

a) Planta del Nivel 1 indicando ejes y cargas.



b) Elevación: Pórtico A = Pórtico B

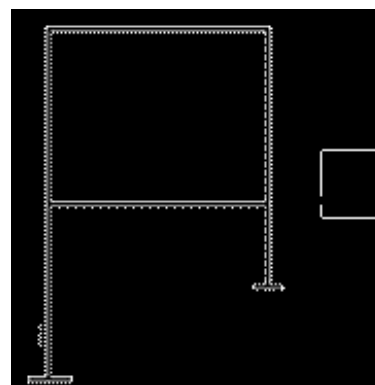


Figura 9-9: Esquema de la planta del Nivel 1 y de los pórticos A y B de la Vivienda 1.

Las resistencias de los materiales se tomaron de los valores medios de los ensayos. Las paredes de bloques de arcilla del entrepiso superior se modelan elásticamente dado que no mostraron indicios de daño durante las pruebas. Las paredes del entrepiso inferior se modelan mediante barras diagonales trabajando a compresión que representan la rigidez y la resistencia de las mismas (FEMA, 1998). El uso del modelo de biela es congruente con el comportamiento observado en los ensayos que indican separación de la pared del pórtico en los extremos traccionados y compresión a lo largo de la diagonal. Se utilizó un ancho efectivo de 43,1 cm para la biela en la pared de bloques de arcilla y de 42,0 cm para la de concreto. Los valores del período fundamental de vibración son 0,21, 0,15, 0,16 y 0,12 s para las viviendas 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

Se utilizó un modelo de plasticidad concentrada mediante la definición de rotulas plásticas en vigas, columnas y paredes de refuerzo del entrepiso 1. En líneas generales se siguieron los procedimientos recomendados en los documentos ASCE 41-13 (ASCE, 2014) y FEMA 306 (FEMA, 1998) con la variante de aumentar los valores de la rotación plástica de las columnas para poder ajustar los resultados del modelo a los del ensayo y tomando en cuenta que el ensayo es estático y no es dinámico. Los análisis se efectuaron con el programa SAP2000 (CSI, 2011). Detalles del análisis se presentan en López et al. (2016). La curva carga-desplazamiento lateral de cada vivienda se muestra en la [Figura 9-10](#), siendo E1, E2, E3 y E4 los resultados de los ensayos en las viviendas 1, 2, 3 y 4, respectivamente, y S1, S2, S3 y S4 los de la simulación numérica.

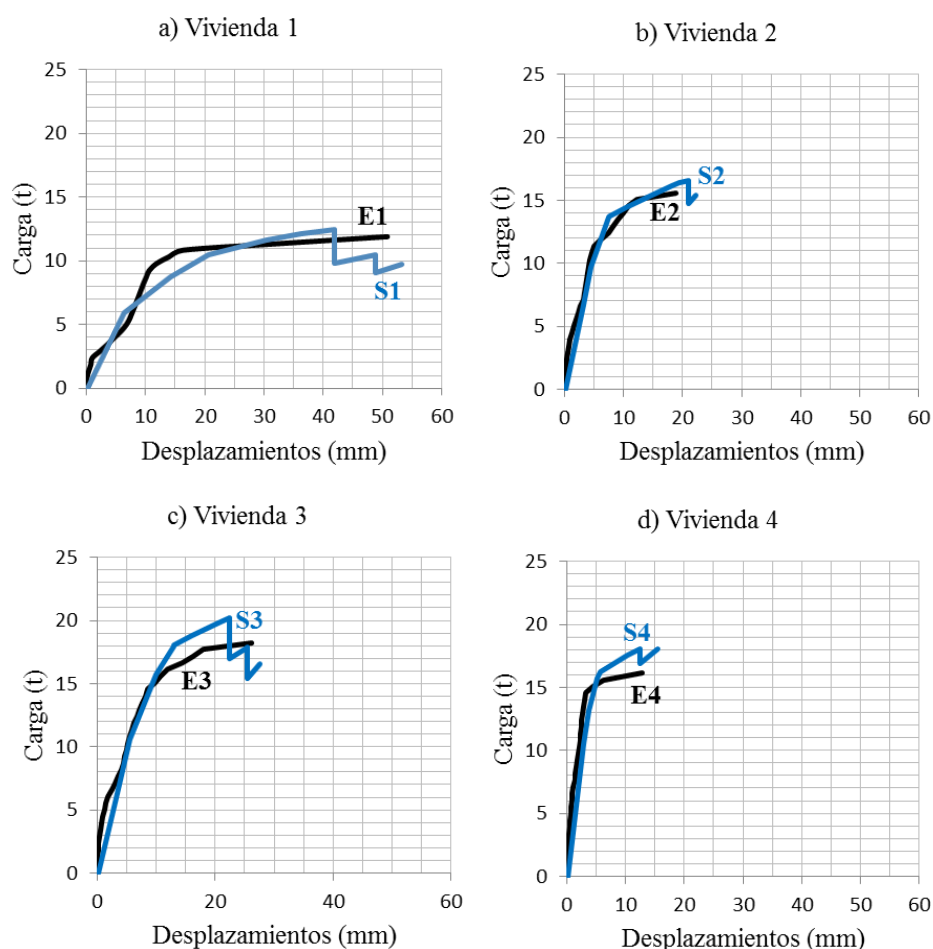


Figura 9-10: Comparación de los resultados de los ensayos (E) y de la simulación numérica (S).

Se aprecia que la simulación reproduce en líneas generales las principales características de rigidez, resistencia y ductilidad observadas en los ensayos, a saber:

- La Vivienda 1 (sin reforzar) posee menos rigidez y mayor desplazamientos que las otras;
- La adición de las vigas de riostra y las paredes de refuerzo (Viviendas 2, 3 y 4) aumentan la resistencia y la rigidez de las viviendas en relación a la Vivienda 1;
- La inclusión de las paredes de bloques de arcilla (Vivienda 3) no produce un aumento en la rigidez en relación a la Vivienda 2 pero sí produce un aumento en la resistencia;
- La sustitución de las paredes de bloques de arcilla (Vivienda 3) por bloques de concreto (Vivienda 4) aumenta la rigidez pero disminuye la resistencia.
- Los modos de falla de la simulación son consistentes con los observados en las pruebas.
- Se concluye que el modelo de plasticidad concentrada en rótulas permite reproducir satisfactoriamente las principales características de la respuesta medida durante los ensayos.

9.4. FRAGILIDAD DE VIVIENDAS DE DIFERENTES ALTURAS Y CONDICIÓN TOPOGRÁFICA

Se presenta en esta sección el análisis detallado de la vulnerabilidad sísmica de una configuración determinada de viviendas populares de 2 a 5 pisos de altura. La vivienda de 3 pisos se muestra en la **Figura 9-11**. Las viviendas de 2, 4 y 5 pisos son similares; quitándole el último piso a las viviendas de la **Figura 9-11** se obtiene la de 2 pisos. Las de 4 y 5 pisos se obtienen de la de 3 pisos siguiendo el mismo patrón alternado de las ventanas (**Figura 9-11**). Se definieron dos sitios de ubicación para cada vivienda, uno en terreno plano y otro en pendiente pronunciada (**Figura 9-11**). La estructura es de tres vanos con longitudes de 2,70 metros y alturas de entrepiso de 2,4 metros, valores representativas del tipo estructural identificado en la primera parte de este trabajo como sistema mixto. Información detallada del análisis se da en López et al. (2016).

Las losas son de tabelones con un peso de 185 kg/m^2 . Las paredes son frisadas por una cara con bloques de arcilla de 15 cm de espesor. Para las viviendas de 2 pisos las columnas y las vigas son de sección 20 cm x 20 cm. Para las viviendas de 3, 4 y 5 pisos las columnas son de 30 cm x 30 cm y las vigas de 25 cm x 20 cm. El acero longitudinal de vigas y columnas es de $4 \phi 1/2''$ y el acero transversal de $1/8''$ cada 20 cm. Se consideró una resistencia media del concreto de 130 kg/cm^2 y un valor nominal de la resistencia cedente del acero igual a 4.200 Kg/cm^2 con un valor medio de 5.250 Kg/cm^2 , una resistencia a compresión de la mampostería de bloques de arcilla de 12 Kg/cm^2 y un módulo de elasticidad de 6.000 Kg/cm^2 .

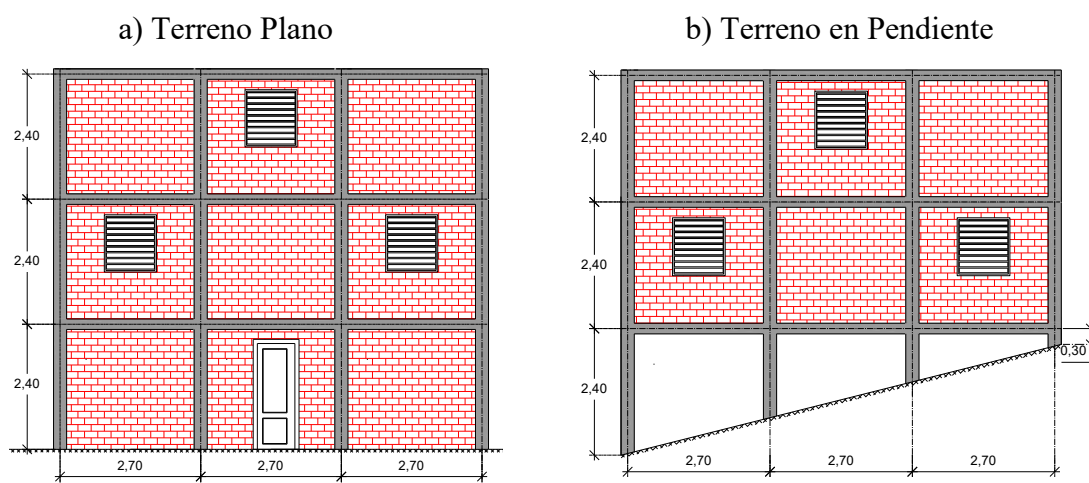


Figura 9-11: Viviendas de 3 pisos.

9.4.1. Idealización Estructural

El peso propio de losa y paredes y una carga variable de 175 kg/m^2 conduce a un peso de 555 kg/m^2 de losa en todos los niveles menos el techo. En la **Tabla 9-6** se indica el peso sísmico (W) de cada vivienda, incluyendo peso de vigas y columnas, así como la altura total (H). Se consideró un 50% de junta rígida en las intersecciones de los elementos estructurales, columnas empotradas a nivel de las fundaciones, un recubrimiento de 3 cm en los elementos de concreto armado y una rigidez efectiva en vigas, columnas y paredes igual al 50% de la rigidez de las secciones gruesas.

Las paredes de bloques de arcilla se modelan mediante barras diagonales trabajando a compresión y articuladas en sus extremos en su contacto con el pórtico. Solo se consideran barras diagonales en las paredes que no poseen aberturas (puertas y ventanas). La rigidez de la biela se obtuvo siguiendo las recomendaciones del ASCE 41-13 (ASCE, 2014). El ancho efectivo de las bielas es de 35 cm y su espesor es de 15 cm, igual al espesor de la pared. En la **Tabla 9-6** se muestran los valores de período del modo fundamental de vibración los cuales se consideran como períodos efectivos al incorporarse la sección agrietada de los miembros. Los valores más pequeños de los períodos de las viviendas en pendiente provienen de la mayor rigidez que introducen las columnas cortas.

Tabla 9-6: Altura (H), peso (W) y período efectivo de vibración (T_e) de las viviendas.

N° de pisos	H (m)	Terreno plano		Terreno en pendiente	
		W (t)	T_e (s)	W (t)	T_e (s)
2	4,8	20,0	0,35	19,3	0,22
3	7,2	35,6	0,51	34,8	0,37
4	9,6	51,4	0,70	49,9	0,55
5	12,0	64,7	0,90	64,5	0,76

Se utilizó un modelo de plasticidad concentrada mediante la asignación de rotulas plásticas en vigas, columna y paredes, siguiendo los procedimientos recomendados en el ASCE 41-13 (ASCE, 2014) con la variante de permitir una caída gradual de la resistencia consistente con lo observado en pruebas de laboratorio y de campo tal como la descrita en la **Sección 9.3**. Los valores de la deformación plástica de la biela se determinaron de manera tal de aproximar la deriva de la pared a la deriva última recomendada en el ASCE 41-13. Se añadieron rótulas de corte en columnas, con un desempeño frágil al alcanzar el cortante último.

9.4.2. Análisis Estático No lineal

Las estructuras fueron analizadas para un empuje lateral progresivo aplicado estáticamente. El patrón de carga lateral sigue la forma del primer modo de vibración de la estructura. El análisis estático no lineal se efectuó con el programa SAP2000 (CSI, 2011). En las **Figura 9-12** y **Figura 9-13** se muestra la curva de capacidad para cada vivienda, en trazo discontinuo, la cual describe la relación entre la fuerza cortante en la base y el desplazamiento en el último nivel de la estructura. Sobre cada curva de capacidad se grafica también con trazo continuo una curva bilineal simplificada determinada con el criterio de mantener la rigidez efectiva inicial y balancear las aéreas comprendidas entre ambas curvas. El punto último en cada caso corresponde a aquel en el cual han ocurrido al menos dos caídas significativas de resistencia o una única caída del 35 % de la resistencia máxima. El punto último se asocia en este trabajo a un estado de daño estructural no reparable.

En la **Figura 9-14** se presentan las curvas bilineales de capacidad en forma adimensional. En las ordenadas se indica el cortante en la base dividido entre el peso y en las abscisas se indica la deriva normalizada dada por el cociente entre el desplazamiento del último piso y la altura total de la vivienda. Las viviendas ubicadas en terreno con pendiente resisten menos y se desplazan menos que las que se encuentra en terreno plano. Un aumento del número de pisos disminuye la resistencia normalizada de las viviendas.

9.4.3. Acción sísmica

La acción sísmica se describe por las formas espectrales de aceleraciones para cuatro condiciones de sitio correspondientes a la microzonificación sísmica de la ciudad de Caracas: R3-T0 es roca sin efectos topográficos (pendiente menor a 22°), R3-T2 es roca con pendiente mayor o igual a 37° con efectos topográficos, 4-2 es un depósito somero con VS30 entre 185 m/s y 325 m/s y profundidad entre 60 a 120 metros y 6-2 es un depósito profundo con los mismos valores de VS30 y profundidad mayor que 220 metros. En la **Figura 9-15** se muestran las cuatro formas espectrales; la amplitud de aceleraciones en las gráficas corresponde a un período de retorno de 475 años. Las viviendas localizadas en terreno plano se considera que pueden estar asentadas en cualquiera de los sitios R3-T0, 4-2 o 6-2. Las viviendas ubicadas en terreno con pendiente se considera que están ubicadas sobre una ladera de pendiente pronunciada por lo que se les evalúa con el tipo R3-T2. La aceleración del terreno en roca con efectos topográficos (R3-T2) es 1,4 veces la asociada al terreno en roca sin efectos topográficos (R3-T0) (FUNVISIS, 2009).

9.4.4. Fragilidad para viviendas de 2, 3, 4 y 5 pisos

Las curvas de fragilidad describen la probabilidad de alcanzar o exceder un determinado estado de daño estructural dado que ocurre un movimiento sísmico de determinada intensidad. El movimiento sísmico se describe mediante un espectro de aceleraciones. El parámetro para caracterizar la intensidad del movimiento sísmico es la aceleración del terreno en la roca. El efecto local de sitio, ya sea del material de suelo, de la profundidad del depósito o de la topografía del mismo, se incorpora dentro de la forma del espectro de aceleraciones (**Figura 9-15**), por lo tanto es considerado en la curva de fragilidad. La demanda de desplazamientos que impone la acción sísmica sobre la estructura se determina mediante el método de los coeficientes (ASCE, 2014).

Se consideraron 4 estados de daño, calificados como Leve, Moderado, Severo y Completo, cada uno de ellos asociado a determinados valores del desplazamiento en el último nivel de la estructura (Figuras 12 y 13). El daño Leve ocurre cuando se alcanza un desplazamiento mayor que 0,7 veces el desplazamiento cedente (u_y) pero sin exceder éste. El daño completo se define al alcanzarse o excederse el desplazamiento último (u_u). El daño Moderado se corresponde con desplazamientos entre u_y y $u_y + 0,25(u_u - u_y)$. El daño Severo se corresponde con desplazamientos entre $u_y + 0,25(u_u - u_y)$ y u_u . La probabilidad de excedencia del estado de daño d_i se calcula a partir de una distribución lognormal (McGuire, 2004):

$$P[d \geq d_i, a] = \Phi\left[\frac{1}{\beta} \ln \frac{a}{a_{mi}}\right] \quad (9-2)$$

Donde $P[d \geq d_i, a]$ es la Probabilidad de que el daño “d” exceda el daño “ d_i ” dada una aceleración “a” del terreno sobre suelo rocoso; d_i es el estado de daño i, donde i puede ser leve, moderado, severo o completo; Φ es la función normal de distribución acumulada de la aceleración del terreno “a”; a_{mi} es la media de la aceleración “a” para la cual la estructura alcanza el inicio del daño d_i ; β_i es la desviación estándar del logaritmo natural de la aceleración “a” para el estado de daño “ d_i ”. Se adoptan valores numéricos de β_i igual a 0,42, 0,45, 0,45 y 0,50 para daño Leve, Moderado, Severo y Completo, determinados a partir de un

análisis probabilístico con el método de los estimadores puntuales considerando variables aleatorias de rigidez, resistencia y plasticidad en viviendas populares (Páez, 2016).

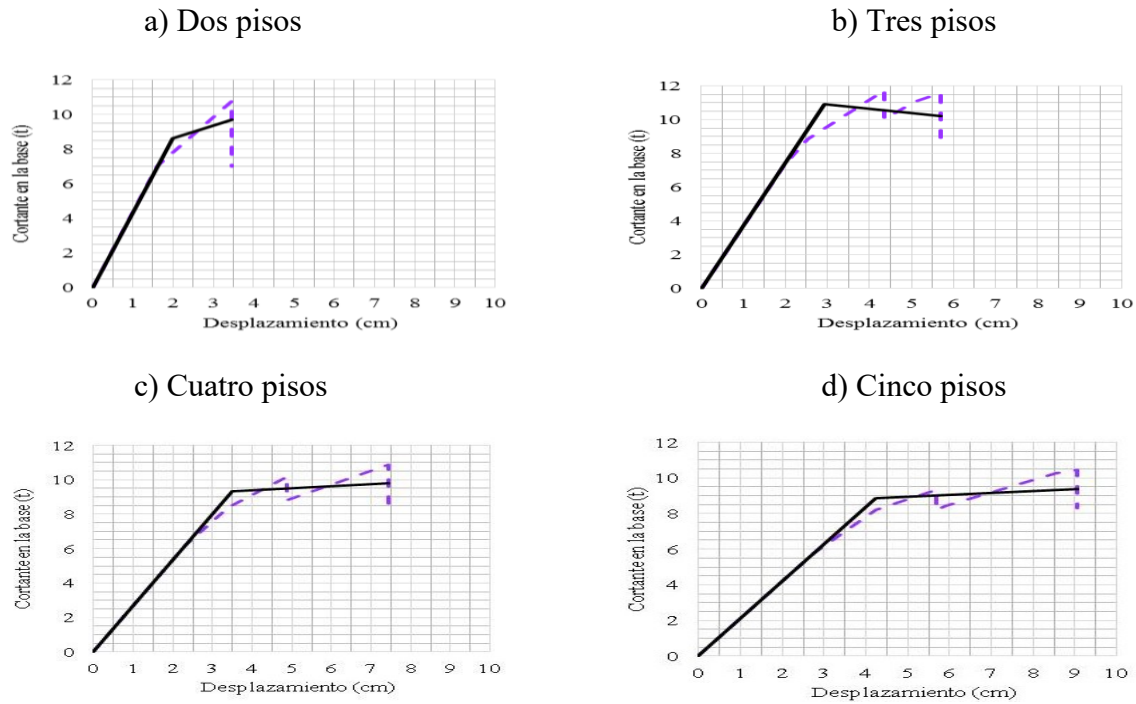


Figura 9-12: Curva de Capacidad e idealización bilineal. Viviendas en terreno plano.

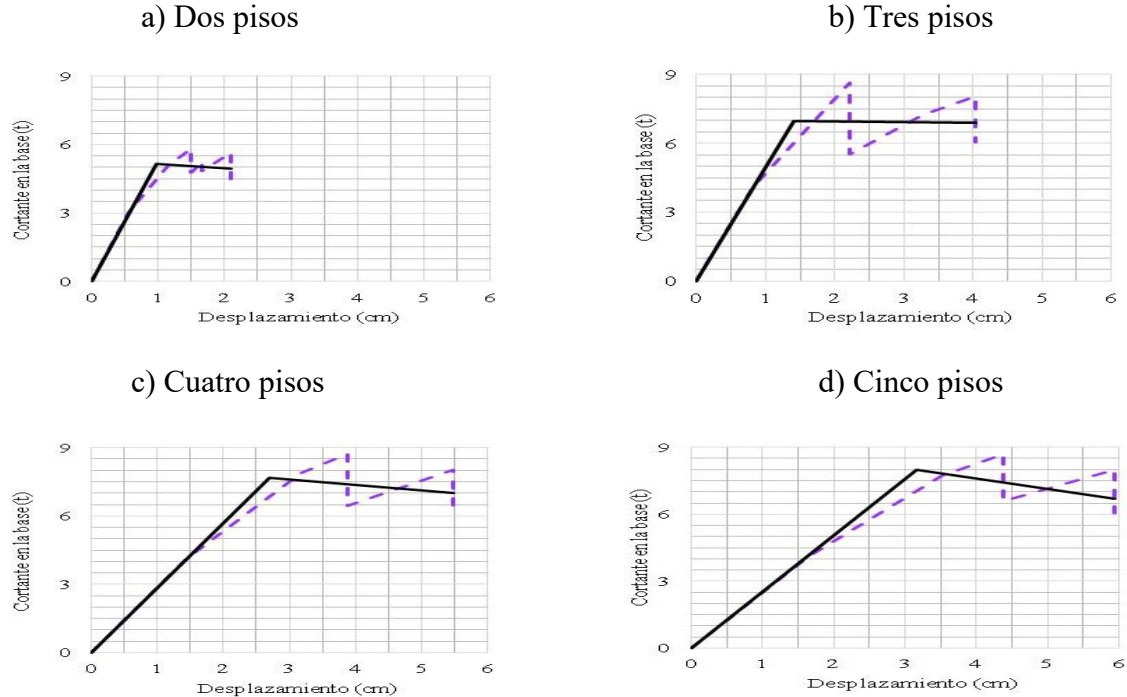


Figura 9-13: Curva de capacidad e idealización bilineal. Viviendas en terreno inclinado.

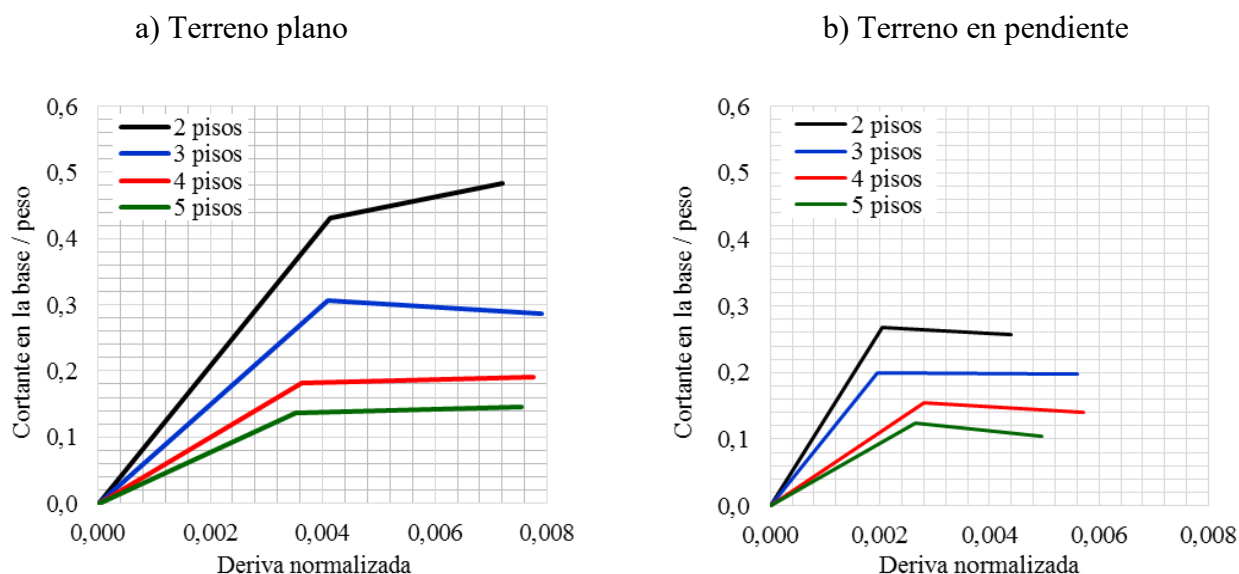


Figura 9-14: Curvas bilineales de capacidad en forma adimensional.

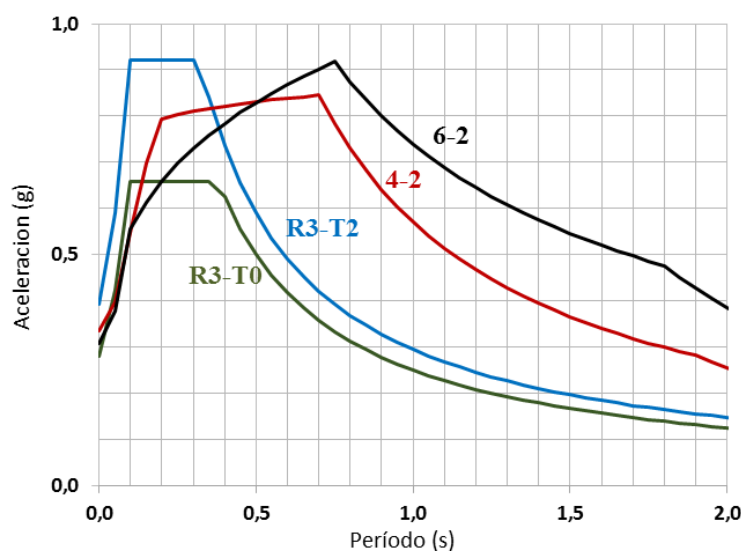


Figura 9-15: Espectros de aceleraciones para cuatro condiciones de sitio.

Las curvas de fragilidad determinadas con la Fórmula 9.2 y las Figura 9-12 y Figura 9-13 se calcularon para todas las viviendas y condiciones de sitio. (López et al., 2016). Resultados seleccionados de muestran en las Figura 9-16 y Figura 9-17 para depósitos someros y terrenos en pendiente, respectivamente. Se grafica la probabilidad de alcanzar o exceder determinado estado de daño contra la aceleración del terreno en la roca sin efectos topográficos. El efecto de la pendiente del terreno rocoso se incorpora en la forma espectral (Figura 9-15).

En la Tabla 9-7 se presentan los valores de la aceleración media en la roca (a_{mi}) para el inicio de cada estado de daño de las viviendas en terreno plano para las tres condiciones de sitio. La aceleración media es aquella con un 50% de probabilidad de excedencia en las curvas de fragilidad (Figura 9-16 y Figura 9-17). Se aprecia una aceleración entre 0,34 g y 0,38 g para el daño completo de las viviendas ubicadas en roca. Las viviendas son más vulnerables cuando están sobre depósitos de sedimentos (Sitios 4-2 y 6-2). El

caso más crítico corresponde a la vivienda de 5 pisos sobre terrenos de depósitos profundos en donde se tiene una aceleración de 0,12 g para el daño completo.

Las dos últimas columnas de la **Tabla 9-7** muestran la probabilidad de excedencia para los estados de daño Leve y Moderado, respectivamente, cuando ocurre una aceleración de 0,10 g en roca. Para las viviendas sobre suelos profundos (6-2), promediando los valores indicados en la penúltima columna para el número de pisos 2, 3, 4 y 5 se tiene un valor medio de 71 % para el daño leve, el cual podemos interpretar como que se esperarían daños Leves en 71 de cada 100 viviendas populares. Este valor se compara con la estadística reportada de daños observados en viviendas formales de baja altura (3 a 5 pisos) en la zona de Los Palos grandes localizada en Caracas sobre depósitos de sedimentos profundos, similares al tipo 6-2, durante el sismo de 1967. La aceleración estimada en roca en la zona es de 0,10 g para este evento (ver Sección 9.6).

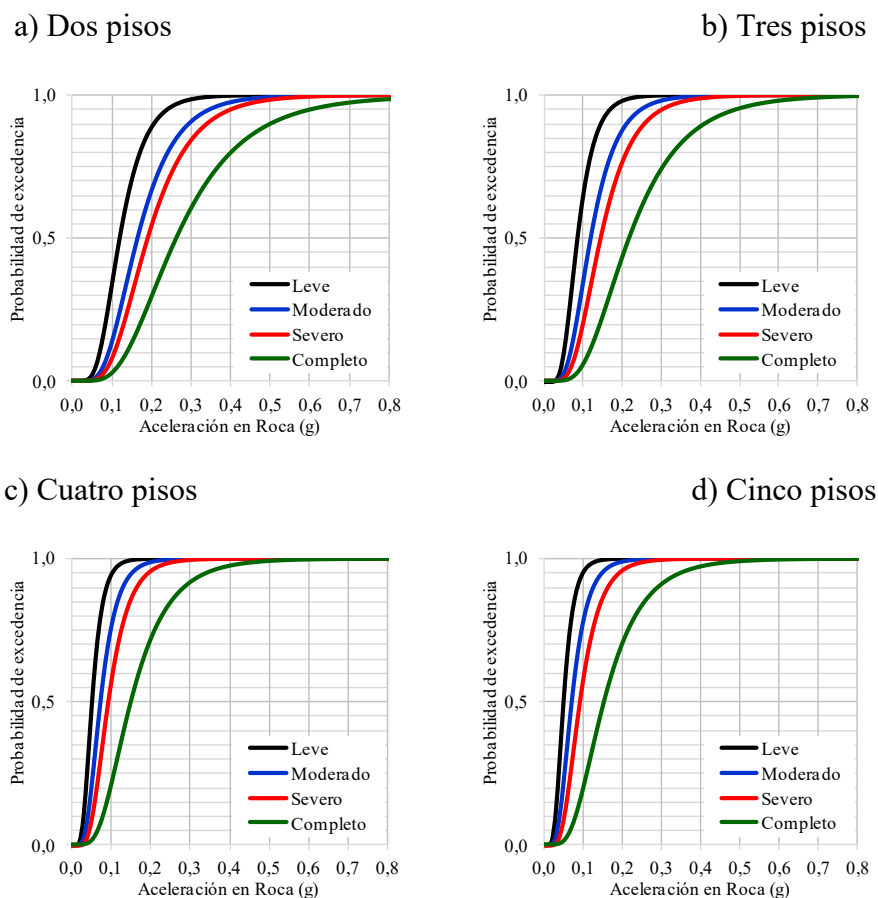


Figura 9-16: Curvas de fragilidad para las viviendas en terreno plano. Suelo 4-2 (Depósito somero).

En el Capítulo X del informe de la Comisión Presidencial para el Estudio del sismo de Caracas de 1967 (CPES, 1978) se reportan 28 de un total de 59 viviendas en este rango de alturas (3-5 pisos) en la zona, con daño catalogado como 01, caracterizado por grietas solo en paredes. No se reportan viviendas con niveles mayores de daño. Este número de 28/59 representa un 47 % de viviendas con daño leve, las cuales asociamos con viviendas formales que fueron diseñadas bajo el marco de las normas técnicas del MOP de la época. El informe no hace mención al desempeño de las viviendas populares de la zona aun cuando con base a las inspeccionadas descritas en la Sección 2 de este trabajo se conoce que en ese año de 1967 ya había 21 viviendas populares construidas en el barrio Pajaritos en esta zona de Los Palos grandes. Aun

cuando el valor medio obtenido en este trabajo de 71% de viviendas populares con daño leve es mayor al valor de 47% reportado para las viviendas formales en 1967, el resultado es consistente con el hecho de admitir una mayor vulnerabilidad de la vivienda popular en relación a la vivienda formal.

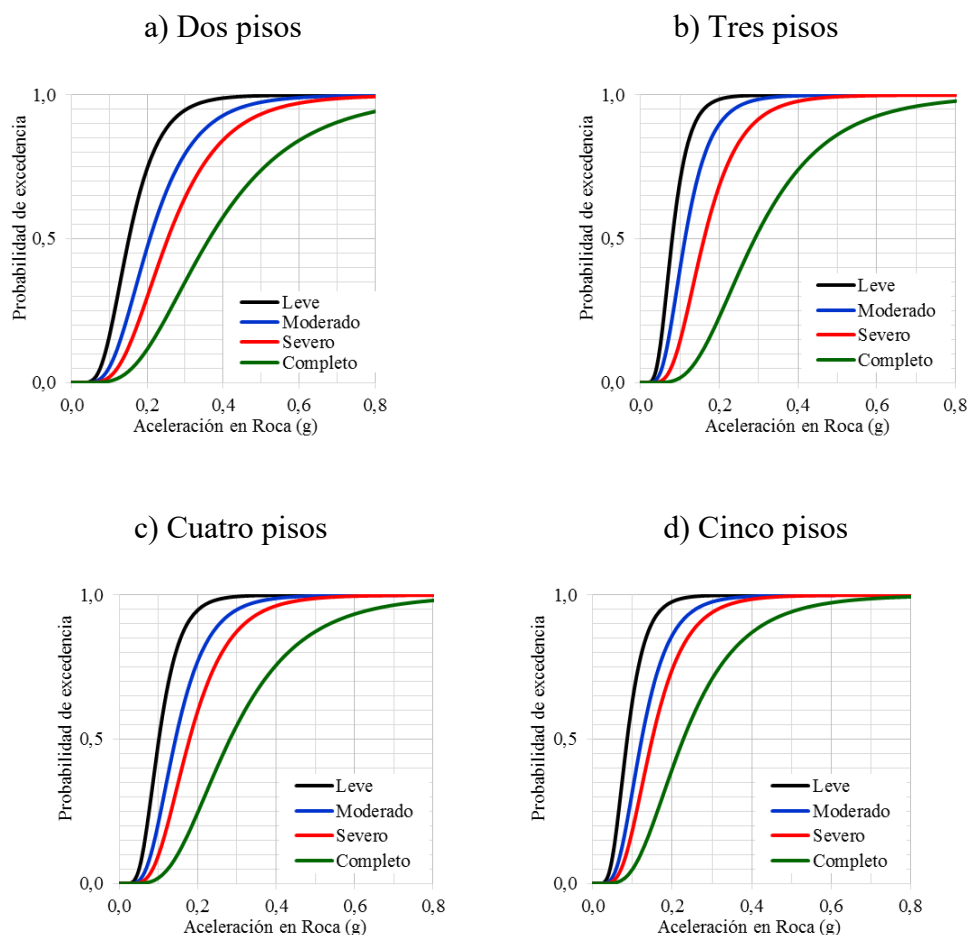


Figura 9-17: Curvas de fragilidad para las viviendas en terreno en pendiente (R3-T2).

Tabla 9-7: Vivienda en terreno plano. Aceleración media en roca a_{mi} (g) para el inicio de cada estado de daño y probabilidad de excedencia (P_e) para una aceleración en roca de 0,10 g.

Vivienda	Condición de Sitio	Aceleración media en roca (g)				Pe (0,10 g) Daño Leve	Pe (0,10 g) Daño Moderado
		a _{mi}					
		Daño Leve	Daño Moderado	Daño Severo	Daño Completo		
2 pisos	Roca (R3-T0)	0,15	0,21	0,24	0,34	0,18	0,054
	Somero (4-2)	0,12	0,17	0,19	0,26	0,32	0,13
	Profundo (6-2)	0,13	0,18	0,21	0,28	0,26	0,10
3 pisos	Roca (R3-T0)	0,14	0,20	0,25	0,38	0,21	0,062
	Somero (4-2)	0,084	0,12	0,14	0,22	0,66	0,36
	Profundo (6-2)	0,087	0,12	0,15	0,22	0,66	0,36
4 pisos	Roca (R3-T0)	0,12	0,17	0,22	0,36	0,32	0,11
	Somero (4-2)	0,052	0,073	0,093	0,15	0,94	0,76
	Profundo (6-2)	0,048	0,068	0,087	0,14	0,96	0,80
5 pisos	Roca (R3-T0)	0,11	0,16	0,21	0,36	0,37	0,14
	Somero (4-2)	0,050	0,071	0,092	0,15	0,95	0,78
	Profundo (6-2)	0,040	0,057	0,073	0,12	0,98	0,90

En la **Tabla 9-8** se presentan los valores de la aceleración media en roca (a_{mi}) de las viviendas en terreno con pendiente. Debe señalarse que al estar en pendiente las viviendas con columnas cortas (**Figura 9-11**), el nivel inferior está restringido de desplazarse libremente por lo que el número de niveles con plena libertad de desplazamiento es un número menor que el indicado por el número de pisos. Los valores de la **Tabla 9-8** indican que en término medio las viviendas de 4 y 5 pisos son un poco más vulnerables que las de 2 y 3 pisos. El efecto de la pendiente se evidencia al comparar los valores de las **Tabla 9-7** y **Tabla 9-8**. La presencia de la vivienda en un terreno con pendiente da lugar a un aumento en la intensidad del espectro (R3-T2) en relación al espectro en terreno plano (R3-T0) (ver **Figura 9-15**) y a un desempeño estructural más frágil debido a las fallas por cortante que se genera en las columnas cortas. Comparando los valores de las **Tabla 9-7** y **Tabla 9-8** se pone de manifiesto que en término medio las viviendas en terreno rocosos con pendiente son más vulnerables que las localizadas en terreno rocoso plano.

Al comparar el efecto del número de pisos en las **Tabla 9-7** y **Tabla 9-8** debe tenerse presente que las viviendas de 3, 4 y 5 pisos tienen columnas (25 cm x 25 cm) y vigas (25 cm x 20 cm) de mayor tamaño que las de las viviendas de 2 pisos (columnas y vigas de 20 cm x 20 cm).

En las viviendas en terreno en pendiente (**Tabla 9-8**) se aprecia una tendencia clara de que las estructuras son más vulnerables a medida que aumenta el número de pisos. En las viviendas en terreno plano (**Tabla 9-7**) se observa la tendencia de aumentos ligeros de vulnerabilidad con el número de pisos en las viviendas de 3, 4 y 5 pisos, aun cuando la vivienda de 2 pisos no es la menos vulnerable debido a la reducción del tamaño de sus elementos estructurales.

Tabla 9-8: Vivienda en terreno con pendiente. Aceleración media en roca a_{mi} (g) para el inicio de cada estado de daño.

Vivienda	Condición de Sitio	Daño Leve	Daño Moderado	Daño Severo	Daño Completo
2 pisos	Roca en pendiente (R3-T2)	0,15	0,21	0,25	0,36
3 pisos	Roca en pendiente (R3-T2)	0,066	0,093	0,12	0,18
4 pisos	Roca en pendiente (R3-T2)	0,10	0,14	0,18	0,28
5 pisos	Roca en pendiente (R3-T2)	0,086	0,12	0,15	0,23

9.4.5. Fragilidad para dos rangos de altura

Con el propósito de generar recomendaciones prácticas para estudios de riesgo de viviendas populares del tipo estructural sistema mixto, se presentan a continuación los parámetros de fragilidad para dos rangos de altura, de 1 y 2 pisos (bajas) y de 3 a 5 pisos (medianas). Los valores seleccionados de aceleración media (a_{mi}) para cada estado de daño se presentan en la **Tabla 9-9** para los sitios en terreno plano o pendiente menor a 22°. Los valores para el rango 1-2 pisos se tomaron iguales a los calculados para las viviendas de 2 pisos que se mostraron en la **Tabla 9-7**. Los valores para el rango 3-5 pisos se tomaron iguales al promedio para 3, 4 y 5 pisos (**Tabla 9-7**). Los valores de aceleración media en roca para las viviendas en terreno con pendiente mayor a 37° se muestran al final de la **Tabla 9-9**. Tomando en consideración que en las viviendas en pendiente el nivel inferior está limitado de desplazarse libremente (**Figura 9-11**) los valores de la **Tabla 9-9** para las viviendas de 1 a 2 pisos se obtuvieron promediando los valores de la **Tabla 9-8** para 2 y 3 pisos, mientras que para las viviendas de 3 a 5 pisos se obtuvieron promediando los valores de la **Tabla 9-8** para las de 4 y 5 pisos. Los valores de la desviación estándar (β_i) se adoptan como 0,40, 0,45, 0,45 y 0,50 para daño leve, moderado, severo y completo, respectivamente.

Tabla 9-9: Vivienda en terreno con pendiente. Aceleración media en roca a_{mi} (g) para el inicio de cada estado de daño.

Nº de Pisos	Sitio	Daño Leve	Daño Moderado	Daño Severo	Daño Completo
1-2 pisos	Roca (R3-T0) Terreno plano o con pendiente menor o igual a 22°	0,15	0,21	0,24	0,34
3-5 pisos		0,12	0,18	0,23	0,37
1-2 pisos	Depósito somero (4-2)	0,12	0,17	0,19	0,26
3-5 pisos		0,062	0,082	0,11	0,17
1-2 pisos	Depósito profundo (6-2)	0,13	0,18	0,21	0,28
3-5 pisos		0,058	0,07	0,10	0,16
1-2 pisos	Roca (R3-T2) Terreno con pendiente mayor o igual a 37°	0,12	0,16	0,20	0,32
3-5 pisos		0,10	0,13	0,17	0,25

9.5. VULNERABILIDAD DE LAS VIVIENDAS POPULARES

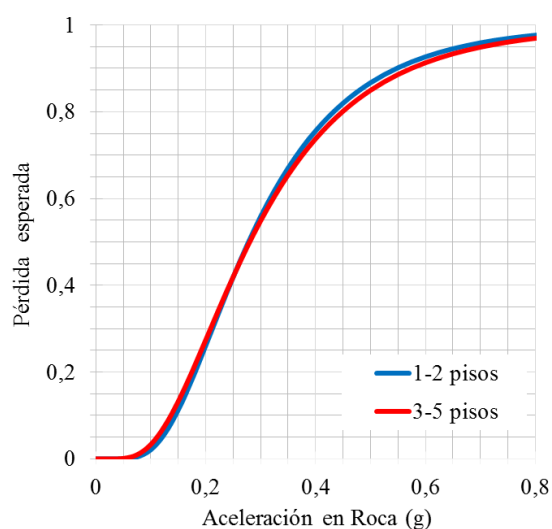
Las funciones de vulnerabilidad representan la variación de la pérdida económica de la vivienda con la aceleración del terreno. Se define P como la pérdida esperada dada la ocurrencia de un sismo con una aceleración conocida en roca. Se determina a partir de la siguiente expresión:

$$P = \sum_{i=1}^4 \Delta P_i F_i \quad (9-3)$$

Donde ΔP_i es la probabilidad de ocurrencia del estado de daño “i” dado un movimiento sísmico con determinada aceleración en roca. El valor ΔP_i se extrae de las curvas de fragilidad (Fórmula 9.2) restando las probabilidades de excedencia correspondientes. Los valores $i=1, 2, 3$ y 4 , representan los estados daño leve, moderado, severo y completo, respectivamente. F_i es el Factor de Pérdida asociada a cada estado de daño, el cual se puede interpretar como la pérdida en valor monetario dividida entre el valor total de la construcción. Se adoptan factores de pérdida F_i de 0,02, 0,10, 0,50 y 1,00 para los casos de daño leve ($i=1$), moderado ($i=2$), severo ($i=3$) y completo ($i=4$), respectivamente (FEMA-NIBS, 2009). Por tanto, la pérdida esperada P varía entre 0 y 1, representando una pérdida económica comprendida entre 0 % y 100 % del valor de la construcción, respectivamente.

Las curvas de vulnerabilidad se expresan graficando la pérdida P contra la aceleración del terreno en roca. En la **Figura 9-18** se muestran las curvas de vulnerabilidad para las viviendas populares localizadas en terreno rocoso, para las dos condiciones de sitio de terreno plano y en pendiente y para los dos grupos de altura, de 1 a 2 pisos y de 3 a 5 pisos. Se aprecia la mayor vulnerabilidad que introduce la pendiente del terreno. En la **Figura 9-19** se muestran las curvas de vulnerabilidad para los sitios planos sobre depósitos someros (4-2) y depósitos profundos (6-2), para los dos rangos de altura. Se observa la mayor vulnerabilidad de las viviendas localizadas en suelos profundos. Las viviendas de mayor altura son en general más vulnerables que las de menor altura, con la excepción de aquellas sobre roca en terreno plano donde la diferencia entre ellas es despreciable.

a) Terreno rocoso plano (R3-T0).



b) Terreno rocoso en pendiente (R3-T2).

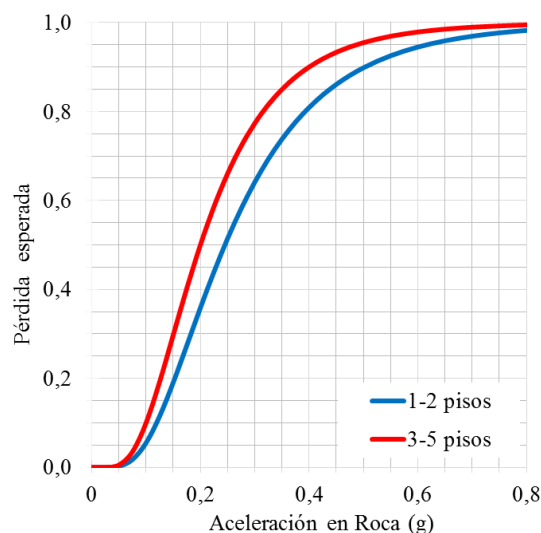
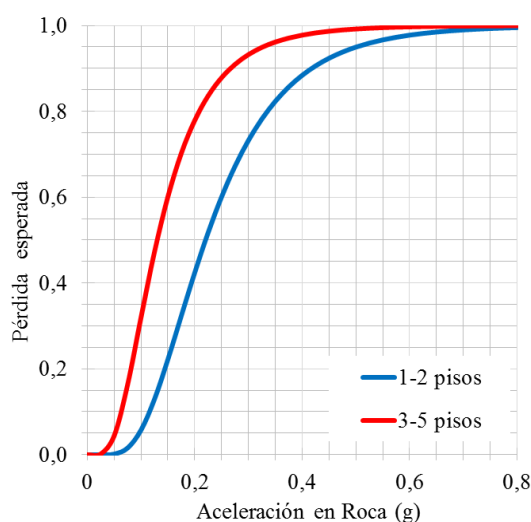


Figura 9-18: Curvas de vulnerabilidad para viviendas populares en sitios rocosos, plano y en pendiente.

a) Depósitos someros (Suelo 4-2)



b) Depósito profundos (Suelo 6-2)

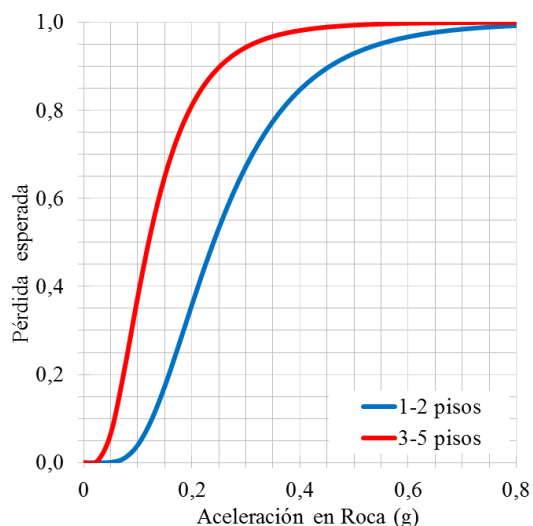


Figura 9-19: Curvas de vulnerabilidad para viviendas populares en terreno plano sobre depósitos de sedimentos.

Las curvas de vulnerabilidad indicadas en las [Figura 9-17](#) y [Figura 9-18](#) fueron ajustadas con una función lognormal:

$$P(a) = \Phi\left[\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{a}{a_m}\right)\right] \quad (9-4)$$

Dónde $P(a)$ es la pérdida esperada dada una aceleración “ a ” del terreno sobre roca; Φ es la función normal de distribución acumulada de la aceleración del terreno “ a ”; a_m es la media de la aceleración “ a ”; β es la desviación estándar del logaritmo natural de la aceleración “ a ”. Los parámetros a_m y β que describen las

curvas de vulnerabilidad se muestran en la **Tabla 9-10** para cada vivienda y cada condición de sitio. Para efectos prácticos se consideran como depósitos profundos aquellos mayores de 120 m.

Tabla 9-10: Valores de aceleración media y desviación estándar para construir las funciones de vulnerabilidad de las viviendas populares.

Nº de Pisos	Sitio	Aceleración media a_m (g)	Desviación Estándar β
1-2 pisos	Roca Terreno plano o con pendiente menor o igual a 22°	0,28	0,52
3-5 pisos		0,28	0,56
1-2 pisos	Depósitos someros VS30 entre 185 m/s y 325 m/s y profundidad entre 60 a 120 metros	0,22	0,50
3-5 pisos		0,13	0,56
1-2 pisos	Depósitos profundos VS30 entre 185 m/s y 325 m/s y profundidad mayor que 120 metros	0,24	0,50
3-5 pisos		0,12	0,58
1-2 pisos	Roca Terreno con pendiente mayor o igual a 37°	0,24	0,56
3-5 pisos		0,20	0,54

Para viviendas en terreno con pendiente intermedia se puede interpolar la aceleración media entre los valores de terreno plano y terreno con pendiente mayor a 37° de la **Tabla 9-10**. La curva de vulnerabilidad ajustada para cada vivienda se determina con la Fórmula 4 y los parámetros de aceleración media y desviación estándar de la **Tabla 9-10**. Si se mostrasen los gráficos de estas curvas, prácticamente se superpondrían ellas con las curvas originales indicadas en las **Figura 9-18** y **Figura 9-19**.

9.6. DAÑOS Y PÉRDIDAS EN UNA REPETICIÓN DEL SISMO DE 1967

Se presenta a continuación una estimación de los daños y las pérdidas que pudieran esperarse en viviendas populares del tipo estructural predominante (sistema mixto de pórticos y mampostería), en caso de ocurrir un sismo similar al de Caracas del año 1967 que provocó el derrumbe de 4 edificios de un total aproximado de 1.333 edificios de la ciudad. En la **Figura 9-20** se presentan los resultados de la simulación del sismo de Caracas de 1967, adoptando una magnitud $M_w=6,6$ para los 4 subeventos (Suárez y Nábělek, 1990), una profundidad focal de 14 km, un ancho de ruptura de 10,5 km y ubicando la falla según Hernández (2009). La aceleración en roca ($V_{s30} = 760$ m/s) se determinó en cada sitio del promedio de los 5 modelos de atenuación de la NGA 2014 (EERI, 2014). La **Figura 9-20** muestra la aceleración (g) en roca observándose que las zonas de barrios estarían sujetas a valores entre 0,07 g y 0,13 g.

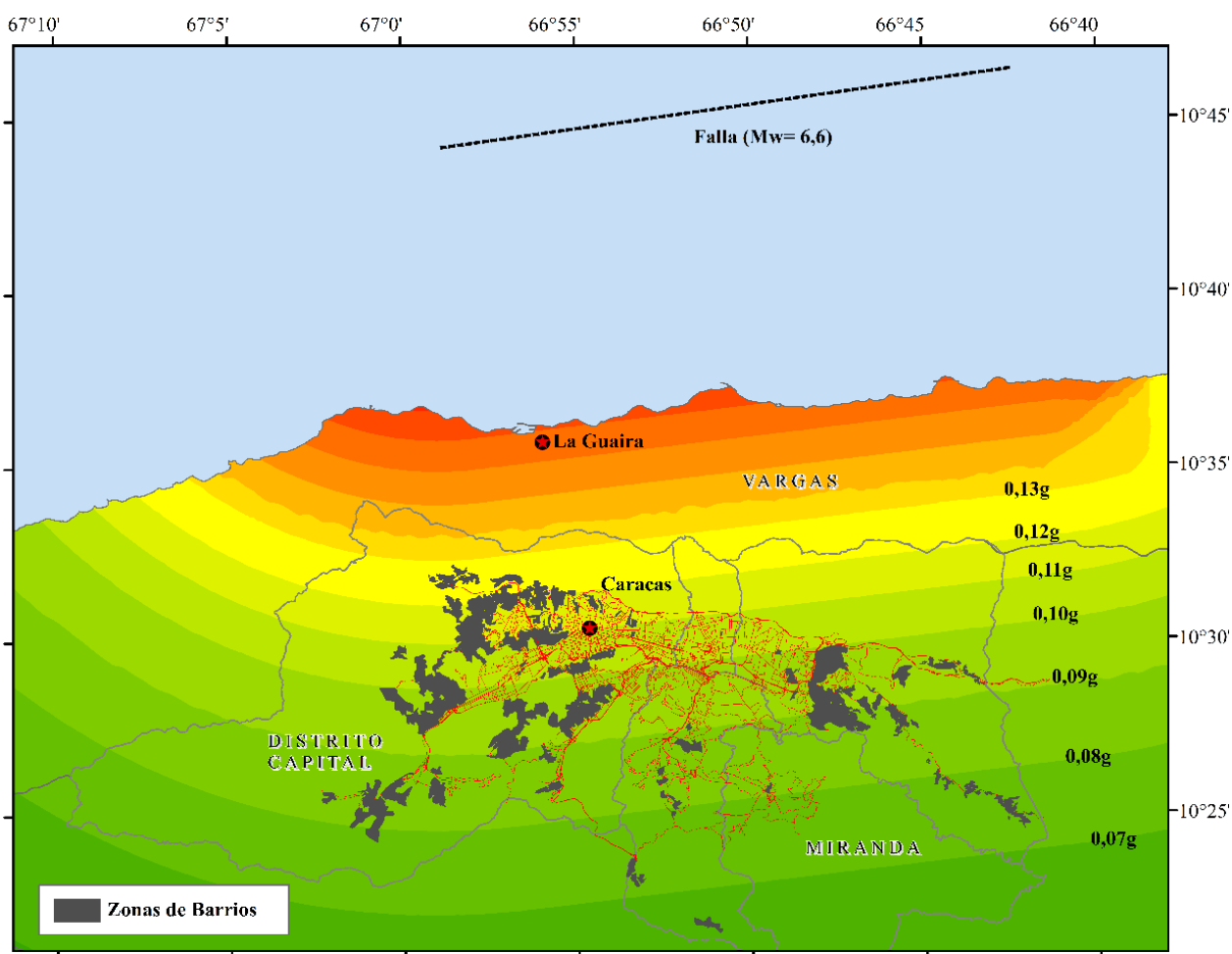


Figura 9-20: Distribución de la aceleración en roca (g) en una repetición del sismo de 1967 y localización de las zonas de barrios (color gris) en Caracas.

En la **Tabla 9-11** se muestra el número de edificaciones y la aceleración media en roca a la cual están expuestas las 169.576 edificaciones populares de la tipología mixta de mampostería y pórticos (9.2.5). Se discrimina el número de edificaciones según la condición de sitio (roca, depósitos someros, depósitos profundos) y el número de pisos. La aceleración media se presenta en tres rangos comprendidos entre 0,07 y 0,09 g (media de 0,08), entre 0,09 y 0,11 g (media de 0,10) y entre 0,11 y 0,13 g (media de 0,12). Para considerar la pendiente se ha tomado en cuenta que 47,8% de las edificaciones se encuentran en promedio sobre una pendiente mayor a 20° (JICA, 2004).

Con la aceleración media (**Tabla 9-10**) y las curvas de fragilidad se determinaron las probabilidades de alcanzar o exceder el daño completo durante el sismo. Las viviendas sobre roca de menor pendiente tienen una probabilidad menor del 1% pero este valor se eleva a 3% en las de 3-5 pisos ubicados en pendiente mayor a 20°. Las mayores probabilidades de alcanzar el daño completo corresponden a las viviendas de 3-5 pisos sobre depósitos someros y profundos con 24% y un 28%, respectivamente. Un 2% (3.433 edificaciones) de las 169.576 edificaciones populares (tipología mixta) alcanzarían el daño completo, de las cuales 2.004 están en el rango de 3 a 5 pisos. La mayor densidad de daño completo estaría en las viviendas de 3 a 5 pisos sobre los depósitos profundos.

Tabla 9-11: Número de edificaciones populares (tipología mixta) en Caracas según sitio, número de pisos y la aceleración en roca en una simulación del sismo de 1967.

Sitio	N° de Pisos	Aceleración Media en Roca			Total de Edificaciones
		0,08g	0,10g	0,12g	
Roca en pendiente menor a 20°	1-2 pisos	12.761	31.793	10.100	82.552
	3-5 pisos	6.520	16.201	5.177	
Roca en pendiente mayor a 20°	1-2 pisos	11.685	29.113	9.249	75.593
	3-5 pisos	5.970	14.835	4.741	
Depósitos someros (menor a 120 m)	1-2 pisos	0	208	6.249	9.832
	3-5 pisos	0	119	3.256	
Depósito profundos (mayor a 120 m)	1-2 pisos	0	10	1.047	1.599
	3-5 pisos	0	5	537	
Total		36.936	92.284	40.356	169.576

Aceptando en promedio 2,36 unidades de vivienda por edificación (Sección 9.2.5), las 3.433 edificaciones con daño completo pudieran representar 8.102 unidades de vivienda las cuales pudieran estar ocupadas por 32.408 personas aproximadamente. Aceptando las pérdidas humanas para un estado de daño completo dadas por el ATC-13 (ATC, 1985), 2/5 de los ocupantes resultarían heridos leves, 2/5 heridos graves y 1/5 fallecidos, lo que se traduce en 12.963 personas con heridas leves, un número igual de heridos graves y 6.482 víctimas fatales en viviendas populares de este clase en una eventual repetición del sismo de 1967.

Las curvas de vulnerabilidad suministran la pérdida esperada o fracción del costo de la construcción que se pierde durante el evento. Con la información de la **Tabla 9-10** y de las **Figura 9-18** y **Figura 9-19** se tiene en promedio una pérdida esperada de 6% para todas las viviendas populares de esta clase, obtenido de ponderar las pérdidas en cada sitio y para los dos niveles de altura. Las viviendas más afectadas serían las de 3 a 5 pisos con pérdidas esperadas de 3%, 10%, 44% y 50% si estuviesen en roca de baja pendiente, roca con pendiente mayor a 20°, sedimentos someros o sedimentos profundos, respectivamente. Las viviendas de 1 y 2 pisos tendrían pérdidas de 2%, 6%, 11% y 8%, respectivamente. En la interpretación de estos resultados debe tenerse presente que cuando ocurrió el evento de 1967 las viviendas eran de menor altura y su número era aproximadamente 2,6 veces menor. Se destaca además que el costo de reposición representaría para el estado una inversión mayor al valor monetario asociado a la pérdida de las viviendas populares.

9.7. CONCLUSIONES

- De la inspección de 626 viviendas populares pertenecientes a 15 barrios de las ciudades de Caracas, Guarenas y Guatire se infiere que el tipo estructural más común es el sistema mixto de pórticos y mampostería de baja calidad constructiva (60,4 %) seguido del de mampostería no confinada (24,6%), construcciones precarias de diversos materiales (8,5%), mampostería confinada (6%) y bahareque (0,5%). Se aprecian valores predominantes de altura de entrepiso de 2,40 m, secciones de elementos de concreto armado de 20 x 20 y 25 x 25 cm y distancias entre ejes de columnas con valores predominantes alrededor de los 3 m. La media del índice de vulnerabilidad sísmica es de 73 el cual se cataloga como muy elevado y supera los valores de edificaciones derrumbadas en los sismos de Caracas (1967) y Cariaco (1997).
- Se estima un total de 224.323 edificaciones populares en Caracas que representan un 69,9% del total de edificaciones de la ciudad, de las cuales un 75,6% resultan ser estructuras con sistemas

mixtos de pórticos y mampostería de baja calidad constructiva. Un 66,2% tienen 1 o 2 pisos y un 33,8% tienen 3 o más pisos. Un 93% están sobre roca o en las microzonas de roca meteorizada, un 6% sobre suelos de profundidad somera y un 1% sobre suelos profundos.

- c) Se presentó la simulación de la respuesta estructural no lineal de cuatro viviendas ensayadas a carga lateral en un barrio de Caracas. De la comparación entre las curvas carga-desplazamiento lateral obtenidas del análisis y del ensayo de cada vivienda, se encuentra que el modelo de plasticidad concentrada simula satisfactoriamente la respuesta estructural.
- d) Mediante análisis estático no lineal se determinaron curvas de capacidad y curvas de fragilidad para varios estados de daño en viviendas con alturas comprendidas entre dos y cinco niveles y cuatro condiciones de sitio. En término medio las estructuras son más vulnerables a medida que aumenta el número de pisos; las localizadas en terreno rocoso con pendiente son más vulnerables que las localizadas en terreno rocoso plano. Las viviendas de mayor vulnerabilidad son las de mayor altura cuando están sobre depósitos de sedimentos profundos.
- e) Se presentó un procedimiento para calcular la pérdida esperada en viviendas populares durante un sismo, mediante el uso de una función lognormal con valores medios dependientes del número de pisos y de la condición del sitio. En una eventual repetición en Caracas del evento sísmico de 1967, un 2% (3.433 edificaciones) de las 169.576 edificaciones populares (tipología mixta) alcanzarían el daño completo con un estimado de 6.482 víctimas fatales y una pérdida del 6% del valor económico de las viviendas. Las viviendas más afectadas serían las de 3 a 5 pisos localizadas en suelos suaves profundos.
- f) Las viviendas populares son vulnerables y en zonas de elevada amenaza como Caracas están sujetas a un elevado riesgo sísmico que amerita la urgente puesta en acción de medidas de mitigación. Se recomienda el desarrollo de programas de evaluación detallada y reforzamiento estructural progresivo de viviendas populares y sustitución de las más vulnerables..

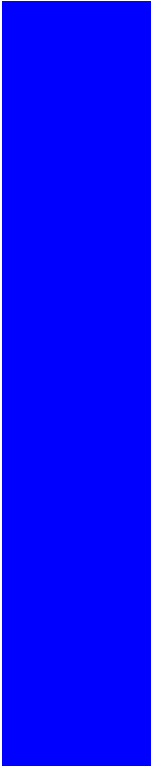
AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al FONACIT Proyecto N° 2011000716 desarrollado en FUNVISIS como Proyecto SismoCaracas con el apoyo del IMME de la Facultad de Ingeniería de la UCV y al Convenio entre la Fundación GEM y FUNVISIS en el marco del proyecto *South America Risk Assessment* (SARA), por el financiamiento aportado para esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASCE (2014). Seismic rehabilitation of existing buildings. ASCE 41-13. American Society of Civil Engineering. Virginia, EEUU.
- ATC (1985). Earthquake Damage Evaluation Data for California. ATC-13. Applied Technology Council, Redwood City, California. USA.
- Bendito A., Rozelle J., Bausch D. (2014). Assessing Potential Earthquake Loss in Mérida State, Venezuela, Using Hazus. Int J Disaster Risk Sci, www.ijdrs.com, www.springer.com/13753.
- Bolívar T. (1993). Densificación y Vivienda en los Barrios Caraqueños. Informe Técnico IDEC.
- Cano P. (2003). Rehabilitación de viviendas en zonas de barrios: Caracterización, diagnóstico y propuestas de Reforzamiento estructural. Aplicación a un caso de estudio en el sector 11 de agosto, Quebrada Anaúco, Caracas. Trabajo De Grado de M. Sc., IDEC-FAU-UCV.
- Castilla E. (1994). Recomendaciones para el Diseño Sismorresistente de Paredes de Mampostería Confinada de Bloques Huecos de Arcilla. En: Contribuciones Recientes a la Ingeniería Estructural y Sismorresistente, Editores López, Castilla, Lafuente, Genatios y Cerrolaza. SVMNI.
- Castilla E. (1998). Evaluación de la Respuesta de Muros Confinados de Bloques de Concreto contra Ciclos Severos de Carga Lateral. Tesis Doctoral, IMME-FI-UCV.
- Castilla E., Lafuente M y Genatios C. (1995). Sobre el Comportamiento Sismorresistente de Estructuras de Muros de Mampostería. III Congreso Internacional Energía, Ambiente e Innovación Tecnológica. Caracas, 5 al 11 de noviembre de 1995.
- Castillo A., Lopez-Almansa F. y Pujades L. G. (2011). Seismic Risk Analysis of Urban Non-Engineered Buildings: Application to an Informed Settlement in Merida, Venezuela. Nat Hazards, 59: 891-916.
- Coronel D., G. (2016). Exposición a la Amenaza Sísmica de las Edificaciones Residenciales en el Área Metropolitana de Caracas. Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería (JIFI), Caracas, 14 al 18 de noviembre 2016.
- CPES (1978). Segunda Fase del Estudio del Sismo Ocurrido en Caracas el 29 de Julio de 1967. Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo. FUNVISIS. Volumen A y Volumen B.
- CSI (2011). SAP 2000. Berkeley, California, USA.
- EERI (2014). NGA West 2, Earthquake Spectra, Volume 30, No 3, pp 973-987, August 2014.
- Enlace Arquitectura (2015). CABA – Cartografía de los Barrios de Caracas 1966-2014. Caracas.
- FEMA (1998). Evaluation of earthquake-damaged concrete and masonry wall buildings: Basic procedures manual, FEMA 306, ATC-43 Project for FEMA, Washington, DC.
- FEMA-NIBS (2009). Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS-MH MR4. Federal Emergency Management Agency & NIBS. Washington D.C.
- Fernández N. y Marinilli A. (2004). Evaluación de Muros Portantes del Proyecto de Investigación Desarrollo de Sistema de Muros de Mampostería Estructural Confinada de Rápido Montaje para la Vivienda de Bajo Costo. Informe N° 209790-A, IMME-UCV.
- Fuentes J. y Palacios L. (2014). Evaluación Sísmica de Viviendas Populares del Barrio Los Telares de Palo Grande. TEG de Grado de Ing. Civil, IMME-FI-UCV. Tutor: Oscar A. López.
- FUNVISIS (2002). La Investigación Sismológica en Venezuela. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.
- FUNVISIS (2009). Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, Proyecto de Microzonificación Sísmica en las Ciudades Caracas y Barquisimeto. Descargable desde <http://www.funvisis.gob.ve>.
- Guerrero A. y Zeoli G. (2011). Efectos de los Terremotos sobre las Viviendas Populares de un Sector del Barrio Telares de Palo Grande. TEG de Ing. Civil. IMME-FI-UCV. Tutor: G. Coronel.
- Hernández J. J. (2009). Revisión de la Sismicidad y Modelo Sismogénico para actualización de las Evaluaciones de Amenaza Sísmica en la Región Norcentral de Venezuela. IX Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. Caracas, 19 al 22 de Mayo de 2009.
- IMME (2004). Ensayo Monotónico Creciente de Cuatro Viviendas en el Sector Minas de Baruta. Informe Técnico N° 209889, IMME, Facultad de Ingeniería, UCV.
- INE (2011). Censo Nacional de Población y Vivienda. Instituto Nacional Estadística (INE) <http://www.ine.gov.ve/>.
- JICA (2004). Plan Básico de Prevención de Desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas en la República Bolivariana de Venezuela. Informe Final. PacificConsultants International.
- Lafuente M. y Genatios C. (2000). Experiencias sobre el Comportamiento Sísmico de Estructuras de Muros de Mampostería. En: Desastres Sísmicos en Desarrollo, Seminario 2000, Caracas.
- López O. A., Castilla E, Genatios C., Lafuente M., Carvajal O. (1986). Estudios en Mampostería Estructural, Vivienda 86, Exposición y Encuentro Venezolano de la Vivienda, Vol. 1, Caracas.

- López O. A., Coronel G., Rojas R. (2014). Índices de Priorización para la Gestión del Riesgo Sísmico en Edificaciones Existentes. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 29, N° 4, pp. 107-126. Descargable desde http://www.funvisis.gob.ve/insp_sismicas.php.
- López O. A., Páez V. y Coronel D. G. (2016). Tipología Estructural y Vulnerabilidad Sísmica de la Vivienda Popular Venezolana. Informe Técnico FUN-015, 2016. Convenio GEM-FUNVISIS.
- Mc Guire R. (2004). Seismic Hazard and Risk Analysis. EERI, MNO-10, Oakland 2004.
- Marinilli A. (2007). Muros de Mampostería Confinada con Bloques de Concreto. Boletín Técnico IMME, Vol. 45, N° 2, 2007.
- Mebarki A. y Valencia N. (2003). Vulnerabilidad Sísmica de Construcciones Informales en Mampostería: Riesgos Sísmicos y Mapas SIG. Rev. Internac. de Ing. de Estruct. Vol. 8, N° 2.
- Suárez, G. and Nábělek, J. (1990). The 1967 Caracas Earthquake: Fault Geometry, Direction of Rupture Propagation and Seismotectonic Implications. J. Geoph. Research, Vol. 95. No. B11.
- Paez V. (2016). Trabajo Especial de Grado de Magister Scientiarum en Ingeniería Sismorresistente. IMME, FI, Universidad Central de Venezuela. Tutor: Oscar A. López.
- Palladino B. y Perna O. (1983). Características Estructurales de Viviendas de Mampostería Ubicadas en Zonas Sísmicas. Trabajo de Grado. IMME-FI-UCV. Tutor: Otto Carvajal.
- Rosas I. (1988). Construcción y Calidad de las Viviendas en los Barrios. Revista Tecnología Construcción #4, IDEC, Diciembre 1988.
- Rosas I., Marcano I., Machado C., Brito R. (2008). Clasificación tipológica de estructuras existentes en las viviendas autoproducidas en barrios urbanos. Informe 2, CRU FAU-UCV.



10. TERREMOTOS Y LA PISTA AÉREA EN LA CARLOTA

**Notas técnicas preliminares
para una propuesta**

Autor: Víctor Artis

RESUMEN

Caracas es una ciudad vulnerable ante eventos sísmicos destructivos como el ocurrido en 1967, posibilidad que genera preocupación por la precariedad de los tres vías principales que la conectan con el país. Esta situación, plantea la obligación de generar estrategias para abastecer con alimentos, medicinas y asistencia a la población que sea afectada en caso de desastres y conduce a discutir el rol del aeropuerto de La Carlota como ruta de aprovisionamiento y evacuación en una emergencia.

Las ideas y propuestas incluidas en este trabajo deben considerarse como preliminares y un intento para estimular la discusión sobre la vulnerabilidad de Caracas.

10.1. INTRODUCCIÓN

La presencia periódica de terremotos en Caracas es una verdad histórica y sus consecuencias han marcado hitos que demuestran y recalcan la vulnerabilidad que presentan las edificaciones, las vías, los servicios públicos y los drenajes naturales. La facilidad para olvidar, más la escasez de cultura urbana, contribuyen a menospreciar las prevenciones para sobrellevar los efectos de eventos adversos y también a perturbar la Naturaleza con intervenciones indebidas como ocupar terrenos inestables, alterar los márgenes de los cursos de aguas y obstruirlos con desechos de todo tipo. Este modo de ser, ya contumaz, conduce a resolver improvisando, comportamiento sorprendente y contradictorio, dada la experiencia documentada y acumulada tras haber padecidos graves daños causados por sismos.

Catástrofes naturales más recientes han sido los deslaves en el litoral de 1999 y el terremoto de Caracas, cincuenta años atrás en 1967. En ambos cumplió funciones principales el aeropuerto de la Base Miranda, en La Carlota, instalación militar cuya permanencia es cuestionada y confrontada con propuestas para sustituirla con parques y componentes recreacionales. El propósito de estas notas es recoger argumentos ya trillados sobre el tema e incitar a formular estrategias para enfrentar tanto las consecuencias de los terremotos como de eventuales conmociones civiles, ocasiones donde puede ser fundamental que permanezca la pista de aterrizaje por estar conectada Caracas con el país por tres vías arteriales situadas en gargantas vulnerables ante eventos sísmicos. La ciudad ocupa más de 500.000 hectáreas y casi en su epicentro está situada la Base Aérea Francisco de Miranda (La Carlota) con una extensión de ochenta hectáreas y una pista aérea de dos kilómetros. Adyacente al Norte de la Base queda el Parque del Este sobre setenta hectáreas de superficie, conjunción que ha inspirado propuestas para eliminar la Base y unir ambos espacios para formar un gran conjunto recreacional. Estas proposiciones ameritan emprender una reflexión colectiva orientada a definir el destino y los componentes a instalar, la secuencia a seguir y las mejoras urbanas posibles en el entorno inmediato de la base y del parque y en la ciudad en general.

Premisa obvia para prescindir de la pista deberá ser conocer y evaluar las actividades que allí hoy coinciden, las que deberían permanecer para enfrentar emergencias y las incorporables para recreación de toda la ciudad, análisis que involucrará a especialistas en los diversos saberes que intervienen. Por el carácter estratégico asignado a la pista, es de asumir que las decisiones finales las tomará el alto gobierno.

Estas notas de carácter preliminar obedecen al propósito de incitar a analizar en profundidad el rol de la pista aérea en la ciudad y las características que tendría si parte de los terrenos se dedicaran a actividades recreacionales. Por tanto sus propuestas, seguramente incompletas y hasta erradas, solo deben entenderse como ejemplos.

10.2. PLANTEAMIENTO

Dedicar La Carlota a un parque urbano es una idea pública acumulada durante más de treinta años, período en que han sido presentadas varias propuestas como la urbanización residencial planteada por la Alcaldía de Chacao y el concurso de ideas convocado por la Alcaldía Metropolitana cuya solución seleccionada prescindía de la pista. La Alcaldía no impuso decisiones sobre el entorno de la base, ni sobre la permanencia de operaciones aéreas y tampoco estableció limitaciones en cuanto a costo. Actualmente el gobierno central elabora un proyecto cuyas características no se han dado a conocer, pero es de suponer que permanezcan la pista y algunas instalaciones militares.



Figura 10-1: La base aérea Francisco de Miranda.
(Fuente: GOOGLE EARTH).

El Aero Club Caracas ocupaba el sector sureste de La Carlota y fue trasladado al aeropuerto de Charallave, cuya pista también tiene dos kilómetros de longitud. Esta decisión redujo la intensidad del tráfico aéreo que circulaba sobre la capital. Ahora en La Carlota hay varias instalaciones militares, como el edificio de la Comandancia de la Aviación, fábricas diversas, alojamientos, hangares e instalaciones recreacionales y hangares de la Fuerza Aérea, del Ejército, de la Armada y de otros componentes militares y de seguridad, que seguramente tienen requisitos específicos para operar. Despegan y aterrizan naves y helicópteros oficiales, tanto civiles como militares para movilizar burocracia y atender emergencias y ha sido fundamental como centro de coordinación de las operaciones de salvamento y ayuda al ocurrir los deslaves de 1999 en el litoral central y el terremoto de 1967, cuando temporalmente hasta se almacenaron escombros.

10.3. EN CUANTO A VULNERABILIDAD

Los accesos a Caracas son vulnerables ante eventos sísmicos de gran magnitud, como los ocurridos en la historia de la ciudad. Quedó demostrado al colapsar el viaducto número 1 de la autopista a La Guaira y el peligro es potencial por la inestabilidad del suelo en la salida del túnel Los Ocumitos y del gran talud bajo la urbanización Miranda, al inicio de la autopista a Guarenas. La interrupción del paso por una o más de estas vías comprometería tanto el abastecimiento de la ciudad como el funcionamiento del país y la alternativa apropiada parece ser la conexión aérea por La Carlota. También existen viejas carreteras mal mantenidas y con muchos tramos tan ocupados por viviendas, que ya son calles sin fluidez para transitar. Si ocurriera un sismo, no sorprendería que muchos barrios quedaran sin servicios públicos y sin acceso debido a derrumbes y a deslizamientos.

Para enfrentar emergencias una ciudad debe ser capaz de abastecer a la ciudadanía más afectada y tener capacidad para movilizar a los damnificados y a la asistencia técnica. Caracas, por ser la capital, debe preservar la comunicación continua y eficaz con todo el país, en cualquier circunstancia. El panorama hipotético descrito, aconseja mantener el acceso aéreo por La Carlota hasta habilitar una alternativa confiable e instalar elementos indispensables para enfrentar emergencias, donde lo prioritario sea dotar la ciudad y la base con capacidades para almacenar alimentos, medicinas, ropas, combustibles e instalar unidades médicas temporales, amén de otras facilidades. También es elemental que la pista sea confiable y estable, tanto en cuanto a seguridad, pavimento, comunicación y señalización como por el buen funcionamiento de las tres quebradas que la atraviesan: Agua de Maíz en Santa Cecilia, Pajaritos al Este de La Floresta y Quebrada Seca en el distribuidor Altamira.

Por la vulnerabilidad de los accesos a Caracas, parece indispensable mantener la pista y confrontar este criterio con las propuestas de ocupar su espacio con usos recreacionales. En consecuencia lo primero a dilucidar es el destino de la pista, discusión que atañe a la permanencia de las instalaciones militares y a su demostrada eficacia como centro coordinador en situaciones de emergencia.

En caso de una emergencia mayor la pista se puede complementar con otros espacios abiertos en la ciudad aptos para ser utilizados como refugios y puntos de llegada, como campos deportivos y de golf, escuelas u otros lugares amplios, aspecto que no es objeto de análisis en este trabajo.

10.4. SOBRE LO MILITAR

¿Sería eficaz La Carlota para defender a Caracas en caso de un conflicto armado? No cuenta con aviones de combate y, al parecer, tampoco con equipos para defensa aérea. Debe ser arduo justificar la continuidad de las actividades militares si estas instalaciones no tienen capacidad para defender la ciudad. Visto desde una óptica diferente, quizás sea mejor así, porque una base área sin capacidad para defender ni defenderse, no sería un objetivo militar, calificación evidente en los grandes espacios abiertos existentes en Fuerte Tiuna, incluyendo las explanadas ceremoniales y las avenidas circundantes.

10.5. SOBRE LO CIVIL

¿Tiene capacidad la población para opinar sobre el rol militar de La Carlota dado lo impreciso del efecto positivo que pueda tener para defender el país.? ¿Qué es lo conveniente? ¿estarán de acuerdo? Llegar a la conclusión de que La Carlota no es una base militar operativa sino un recurso para parcialmente abastecer y evacuar población en caso de colapso de uno o más de los accesos a la ciudad, significaría que las emergencias tendrían carácter civil, no militar. Igual carácter civil tiene el apoyo ante emergencias como incendios forestales, evacuación de personas en edificios de gran altura, servicio de aeroambulancia, operaciones policiales⁴⁷, transporte de funcionarios, servicio de búsqueda y salvamentos del INAC. Además podría ser la sede de un Museo dedicado a la aviación,

10.6. SOBRE LA PERMANENCIA DE LA PISTA

Mientras los accesos a Caracas sean vulnerables o ineficientes, parece prudente que la pista permanezca sea civil o sea militar la autoridad a su mando. Puede ser acortada o dedicar el espacio que la rodea a usos recreacionales a medida que se desplacen actividades militares, como el traslado de la Comandancia de la Aviación. En todo caso, prescindir o no de la pista es una decisión que debe derivar de la estrategia para

⁴⁷ Enrique Martin Cuervo: Informe al Jurado del Concurso convocado por la Alcaldía Metropolitana

enfrentar emergencias. Conviene analizar si la pista podría ser sustituida a largo plazo, por una red de helipuertos distribuidos en función de las comunidades a atender, dotados con apoyo técnico en navegación y servicios, en sitios seguros para operar, con acceso terrestre expedito y con amplitud para instalaciones de apoyo. La base central coordinadora de esta red podría ocupar en un sector de La Carlota.

Concebir una red de helipuertos requiere de especialistas en navegación aérea asistidos por expertos en condiciones urbanas como demografía, geología y suelos, vialidad, servicios públicos y seguridad. Los helipuertos situados en lo alto de barriadas requerirían una vía de acceso que podría ser el inicio de su ordenación urbana porque a lo largo de ella se instalarían equipamientos, comercios, talleres y viviendas a desplazar, además de ser la ruta principal del transporte público, de las ambulancias, de la policía y de los recolectores de basura. En situaciones de normalidad, sin emergencias, la plataforma para la operación de naves podría ser utilizada como área recreacional por la comunidad, con la debida protección de las instalaciones.

10.7. UN HELIPUERTO EN UN BARRIO

Sería un esfuerzo inútil plantear la construcción simultánea de los helipuertos de la red, tanto por el considerable monto de los recursos necesarios como por el trabajo social requerido para lograr el apoyo y el entusiasmo de las comunidades involucradas que comprende compensar la adquisición de bienhechurías y tierras, alojamientos temporales y definitivos, incorporar actividades complementarias, generar empleos y mantener y consolidar la coherencia de los vecindarios. Lo procedente sería iniciar cada intervención con la construcción de la vía de acceso y de la plataforma, que al principio funcionaría como helipunto y campo deportivo, para incorporar los demás componentes de un helipuerto de acuerdo con el programa que se adopte. De acuerdo con lo indicado en la página 67 del Plan Caracas 2020, en la ciudad existen 24 sectores ocupados por viviendas informales y seis parecen adecuados para iniciar la red: Catia Noreste, Catia Oeste, Petare Norte, Petare Sur, Antimano y La Vega; cabría analizar la inclusión del sector inicial de la carretera a El Junquito.

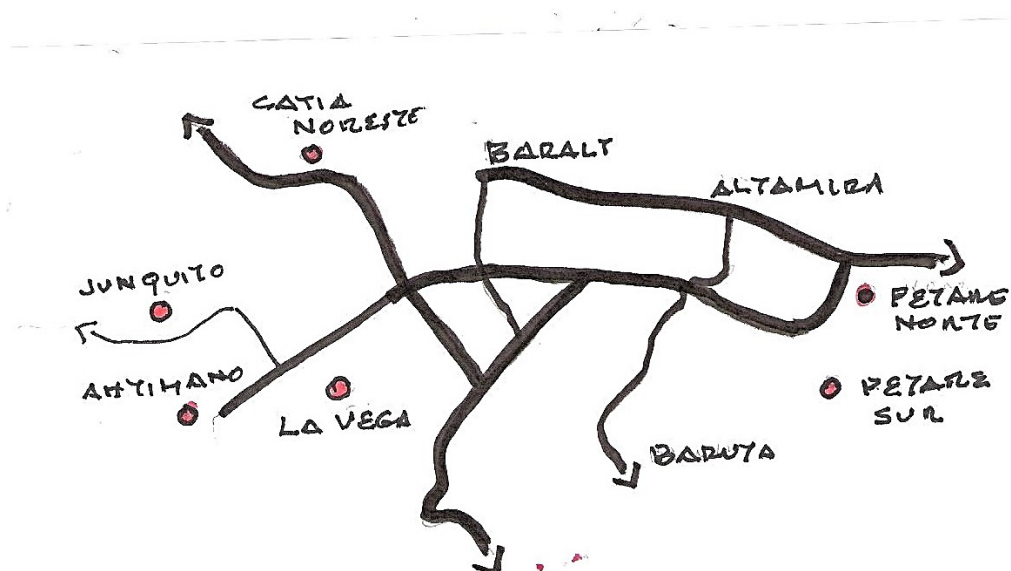


Figura 10-2: Sitios iniciales para ubicar Helipuertos.
(Fuente: propia).

En cada sitio seleccionado sería imprescindible emprender los siguientes estudios:

- a) definición del acceso terrestre
- b) selección del sitio para la plataforma en base a riesgos geológicos, tipo de suelo y vulnerabilidad ante amenazas naturales
- c) aprobar presupuesto y plan de trabajo
 - preferir mano de obra local
 - dirección técnica
 - materiales y maquinaria
- d) adquirir bienhechurías
- e) operación y mantenimiento
- f) remodelación urbana y de viviendas

La construcción de helipuertos sería continua, hasta alcanzar un número suficiente para llevar la pista aérea en La Carlota a la condición que sea definida en la estrategia adoptada. Cabe anotar que las mejoras a lo largo de la vía de acceso podrían generar plusvalías susceptibles de aportar contribuciones al plan y de estimular participaciones privadas. De suma importancia es incorporar criterios en cuanto a seguridad y protección de las instalaciones, de las vías de acceso a las plataformas y de cada barriada en general. Los estudios de los sitios de ubicación son fundamentales para garantizar la operatividad de las plataformas en caso de catástrofes.

En concurso convocado por la FUNDACOMUN, CAMEBA, FONDUR Y CONAVI en 1999, el Arquitecto Felipe Delmont propuso crear vías transversales en el barrio Agricultura de Petare como elementos ordenadores. En su recorrido se instalarían equipamientos, servicios y viviendas en apartamentos para las familias a desplazar por las obras. La vía salvaría las depresiones con edificios aptos para ubicar actividades como escuelas, dispensarios, talleres o viviendas y los vehículos circularían por el techo sin transmitir vibraciones a los pisos inferiores. Esta disposición generaría sitios seguros en todo el ámbito del barrio

En los sitios seleccionados para implantar un helipuerto y cerca del recorrido medio de la vía de acceso, se podría instalar el campamento de obras de habilitación del barrio, dedicado a construir, operar, mantener y reponer acueductos, cloacas y drenajes, vías y escalinatas y a capacitar en oficios de interés para los residentes. También puede ser el centro para atender deslizamientos y otras emergencias. En referencia a los riesgos de inestabilidad de los terrenos, entre la amplia bibliografía especializada disponible, es recomendable especialmente, consultar el “MANUAL DE DERRUMBES: una guía para entender todo sobre los derrumbes”, editado por: “Servicio Geológico del Canadá y Servicio Geológico de los Estados Unidos”.

10.8. MEJORAS URBANAS PARA MITIGAR EMERGENCIAS

Mientras los accesos a Caracas sean vulnerables parece inevitable la permanencia de la pista de aterrizaje, sin embargo es necesario iniciar un programa de obras que mejore la integración de la ciudad con el país. Son obras no simultáneas y por no considerar aquí su costo, el listado no implica prioridades ni tiempo de ejecución. Solo es un limitado catálogo de ejemplos que ameritaría revisión, ampliación y establecer prioridades (**Figura 10-3**):

- a) Autopistas
 - Nueva autopista a La Guaira

- Prolongación de la autopista Fajardo hacia Los Teques y El Consejo hasta la encrucijada de Nirgua, pasando por el sur del lago de Valencia
 - Terminar La Verota-Kempis que mitiga el tráfico pesado por Caracas
 - Conectar Santa Lucía con Caracas por el cañón del Guaire
 - Vía expresa entre Guatire y Los Caracas
- b) Mejoras en carreteras sobrepobladas
- Comercios, servicios y viviendas reducen su sección a un canal por sentido, con frecuencia interrumpido por transporte público, de servicios y de carga:
 - Los Mariches – Santa Lucía
 - Caracas – El Junquito – Carayaca
 - Hoyo de La Puerta – Gavilán – Turgua – Santa Lucía
 - Carretera vieja a La Guaira
- c) Transporte masivo
- Funcionamiento del tren del Tuy con el horario y capacidad del proyecto
 - Ferrocarril entre Charallave Norte y Tejerías
 - Analizar reconstrucción tren Petare Santa Lucía
 - Analizar propuesta de Metro La Carlota - Aeropuerto de Maiquetía⁴⁸
- d) Vías internas en la ciudad
- Adoptar estrategia para reservar vías urbanas principales como exclusivas, en caso de emergencias, para transporte público y vehículos de auxilio



Figura 10-3: Región capital-autopistas y trenes.
(Fuente: propia).

10.9. MEJORAS EN EL ENTORNO DE LA CARLOTA

De las propuestas de intervención en lo interno de los terrenos de la Base Miranda cabe destacar el complejo recreacional imaginado por Fruto Vivas y la solución propuesta el 2005 por Gustavo Ferrero Tamayo (Figura 10-4) para desarrollar un Centro Cívico dentro de un parque monumental a situar en el sector central y espacios para los poderes ejecutivo y legislativo en los extremos Este y Oeste. Para mencionar algo diferente se incluye la propuesta de la Alcaldía de Chacao para ocupar todo el Aeropuerto

⁴⁸ Proposición del Ing. José Segurado en el proyecto de nueva autopista al Litoral presentado por TRANARG C.A.

con viviendas y servicios complementarios, idea opuesta a la observación de Tomas José Sanabria: *mejor dejar el aeropuerto como está porque si no, lo van a urbanizar.*

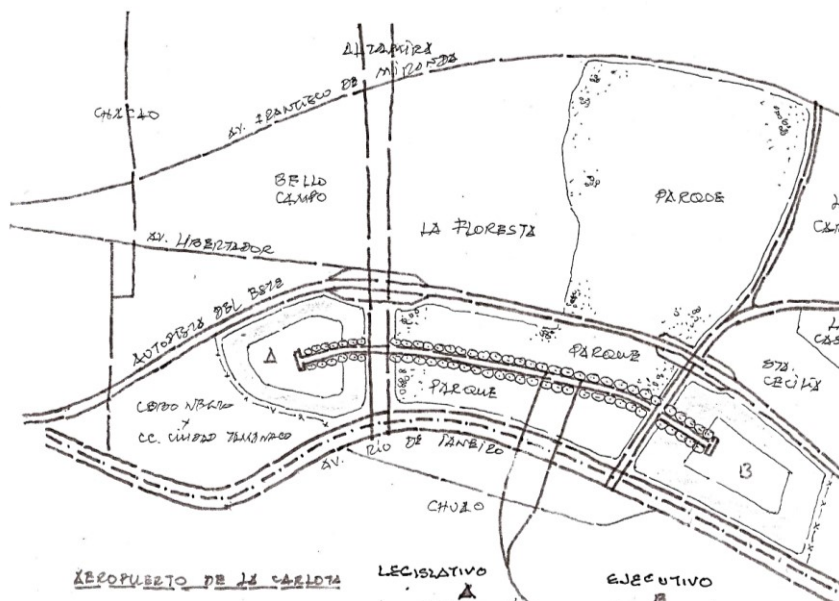


Figura 10-4: Propuesta del Arqº Gustavo Ferrero Tamayo.
(Fuente: Arqº Gustavo Ferrero Tamayo)

Común en los planteamientos conocidos es la timidez para proponer, en los alrededores de la Base, acciones que puedan mitigar la congestión en las vías, así como aliviar la falta de conexión entre el Sur y el Norte del Guaire y de integración con comunidades y usos metropolitanos aledaños.

Son varias las oportunidades a explorar (**Figura 10-5**):

- Unir el Boulevard de El Cafetal con la Avenida Sucre de los Dos Caminos y con la Avenida Boyacá. Saldría del Cafetal por la calle La Escuela, enlazaría con la calle Santa Fe en Chuao y saltaría el Guaire para llegar al Distribuidor Santa Cecilia. Continuaría al lado del Parque del Este para conectar con la Avenida Sucre después de cruzar la Miranda y la Rómulo Gallegos. Es de notar que sería la única conexión clara y expedita entre las urbanizaciones al Sur del Guaire con la Cota Mil. Además aliviaría los distribuidores en Altamira y Los Ruices. Si fuera imprescindible mantener toda la longitud de la pista, es factible establecer un cruce controlado a nivel, que sería interrumpido al despegar o aterrizar naves de gran dimensión⁴⁹.
- Una posibilidad evidente sería convertir la Avenida Río de Janeiro en una vía de dos calzadas separadas por el Guaire, para ello se incorporaría la vía periférica sur de la Base. Conectaría con la Norte – Sur arriba propuesta con un distribuidor sobre el canal. Podría mejorar la circulación Este – Oeste y la Avenida Araure quedaría para el tráfico local, condición muy favorable para consolidar el nodo comercial que ha generado.

⁴⁹ Ver aeropuerto Islas Canarias

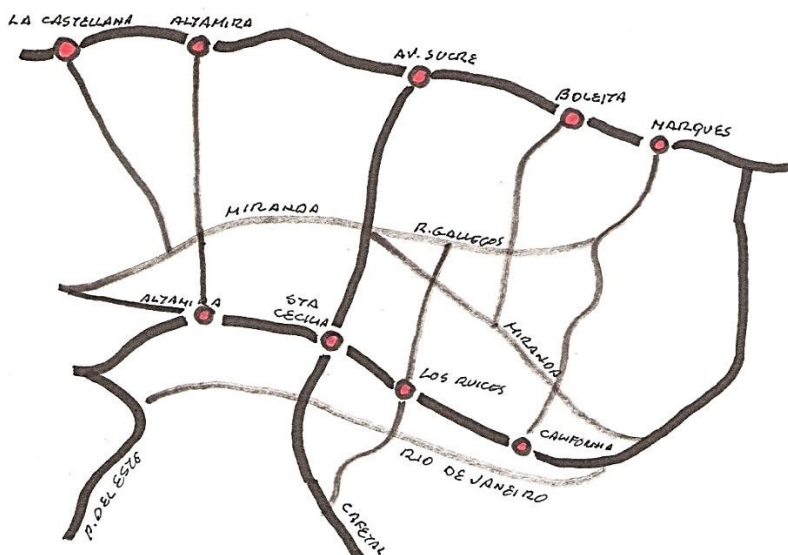


Figura 10-5: Vialidad principal en los alrededores de La Carlota.
(Fuente: propia).

- El canal del Guaire a lo largo de la Carlota configura un paisaje inhóspito, sin ningún atractivo, condición que se podría corregir utilizando el espacio aéreo entre las dos ramas propuestas en la Rio de Janeiro para construir una sucesión de edificios separados uno del otro por tramos de cien metros o más (Figura 10-6). Estos edificios serían de poca altura, con pisos escalonados y un tratamiento ecológico con vegetación en terrazas y techos. Podrían ser ocupados con actividades como comercios, oficinas, hoteles, actividades culturales, educacionales o asistenciales, dependencias gubernamentales como oficinas, policía, bomberos y estacionamientos, tanto para Chuao como para instalaciones dentro de la Base. Sería una operación inmobiliaria de envergadura que conllevaría trabas burocráticas por compartir las decisiones entre las Alcaldías de Baruta y de Chacao con el poder nacional, en lo referente al tema ambiental.

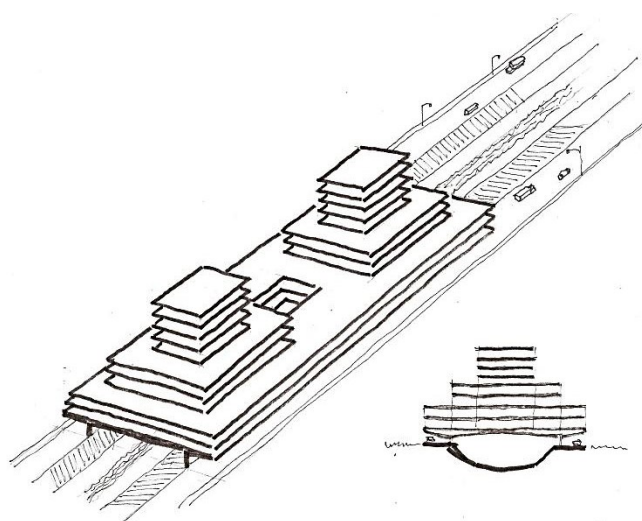


Figura 10-6: Ocupación del espacio aéreo sobre el canal del Guaire
(Fuente: propia).

La falta de integración de las comunidades aledañas con las instalaciones recreacionales a ubicar en La Carlota es evidente con la Ciudad Comercial Tamanaco, con La Floresta y Santa Cecilia, urbanizaciones que remedan feudos aislados y es exagerada con respecto a las comunidades situadas al sur del Guaire. La Autopista, el Guaire y el vacío urbano causado por el aeropuerto, son como un infranqueable muro divisorio que parte en dos este sector de la ciudad, situación posible de mitigar si se reconoce como un problema a resolver al decidir el futuro de La Carlota y la permanencia de la Base Aérea Francisco de Miranda. Como corresponde a cualquier propuesta para ocupar el espacio aéreo sobre el canal del Guaire, sería imprescindible controlar las fluctuaciones de las aguas, tanto las del río como las de las quebradas que confluyen a lo largo de este sector.

10.10. CONCLUSIONES

Con frecuencia regular, Caracas es sacudida por terremotos que han dañado edificaciones y componentes de la ciudad. Al inicio del siglo XX el país no tenía preparación para anticipar y sobrellevar los efectos de sismos de gran magnitud porque hasta 1950 eran muy pocos los ingenieros en ejercicio y menos los especializados en la materia. Pero el ocurrido en 1967 coincidió con un desarrollo notable de la profesión que impulsó la formulación de normas para lograr estabilidad en las estructuras y para evitar que malos usos de la naturaleza generaran vulnerabilidades. En paralelo es creciente la conciencia que procura anticipar las consecuencias de un sismo de magnitud y evitar que afecten lo menos posible a la ciudadanía. Punto focal de las preocupaciones es la actual precariedad de los tres accesos principales de la ciudad, lo que obliga a generar estrategias para abastecer a la ciudadanía afectada con alimentos y medicinas y con auxilio del tipo que pueda ser necesario. La discusión del tema se ha extendido por décadas y el meollo de las discusiones recae en el rol del aeropuerto de La Carlota como ruta aérea de aprovisionamiento y evacuación. Unos abogan por usos públicos sin considerar eventuales emergencias. Otros la pretenden como un feudo militar, sin importar la carencia de espacios recreacionales. Una propuesta exclusivamente inmobiliaria propuso urbanizar los terrenos con viviendas y los correspondientes servicios complementarios y otra de carácter conciliatorio propone mantener operativa la pista para emergencias y rodearla de actividades recreacionales y culturales abiertas.

Lo racional es aceptar que ocurrirá un sismo y para enfrentarlo caben dos actitudes. Por una parte, ser pasivos y prepararnos solo para corregir daños y por la otra asumir una actitud activa que tome decisiones para evitarlos o al menos mitigarlos. Bajo el segundo enfoque corresponde mejorar la vialidad de la Región Metropolitana y la inmediata a la Base Aérea, así como mantenerla operativa, hasta tanto sea sustituida por un sistema mejor. Seguramente son muchas las razones y trabas burocráticas que inciden sobre el destino de La Carlota pero si el interés principal es evitar penurias a la población, la discusión debe encauzarse entre considerar un sismo como un problema o enfrentarlo como una oportunidad para mejorar la calidad de la vida en la ciudad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Martin Cuervo, Enrique (2005). Informe al jurado del concurso de ideas para La Carlota. Alcaldía Metropolitana. Plan Caracas 2020: pagina 67, barrios en Caracas
- Delmont, Felipe y Delmont, Valentina (1999). Barrio Agricultura, Petare. Concurso de FUNDACOMUN.
- TRANARG C.A. (2005). Propuesta nueva autopista al litoral entre El Algodonal y el Aeropuerto de Maiquetía. Concurso del Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Incluye la propuesta del Ingº José Segurado de un Metro entre La Carlota y el Aeropuerto de Maiquetía.
- Ferrero Tamayo, Gustavo (2005). Proposición de parque, núcleo ejecutivo y núcleo legislativo en La Carlota.

AUTORES

Victor Artis García

Barcelona, España, 1933. Arquitecto Universidad Central de Venezuela, 1958. Miembro Honorario de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (2017). Director de Planeamiento, Municipio Sucre, Caracas, 1959. Arquitecto Corporación venezolana de Guayana, 1959-1966. Jefe del equipo Valencia, 1986. IDES- Dividendo Voluntario para la Comunidad, 1966. Director General de Desarrollo Urbanístico, Ministerio del Desarrollo Urbano (1984-1986). Práctica profesional privada: Urbanizaciones como Santa Rosa de Lima, Colinas de Valle Arriba y Parque El Retiro de Caracas, y Comunidad Oeste Aeropuerto, en Ciudad Guayana. Proyecto de la Universidad Metropolitana desde 1973. Articulista quincenal sobre urbanismo, diario el Universal, desde 1999.

Roberto Centeno

Ingeniero Civil, Universidad Católica Andrés Bello en 1958 (Alumno fundador escuela de ingeniería). Gerente General de Centeno-Rodriguez & Asociados, Ingenieros Consultores. Caracas Venezuela (1974 - Actual). Miembro Honorario Academia Ingeniería y el Hábitat (2013- Actual). Miembro de la Brigada Internacional de Rescate en Terremotos 1984 – Actual. Viceministro de Transporte y Comunicaciones de Venezuela 1996 – 1998. Profesor de Geotecnia y Mecánica de Suelos (UCAB 1959 -1974). Profesor de Mecánica de Suelos Avanzado (Escuela de ingeniería UCV 1999 - Actual). Director de Proyectos y de Vialidad de Obras Urbanas (Ministerio de Obras Públicas 1969 - 1973)

Alfredo Cilento Sardi

Arquitecto (UCV-1957). Doctor Honoris Causa de la UCV. Profesor Titular-Investigador (Cofundador) del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC) de la UCV y del Postgrado en Desarrollo Tecnológico de la Construcción (Premio a la Excelencia del Postgrado en Iberoamérica 2007). Individuo de Número de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, Sillón XIV. Decano de la FAU-UCV (1984-1987). Más de 140 publicaciones: libros, revistas técnicas y científicas, y ponencias en eventos nacionales e internacionales. Áreas de investigación: Tecnología, economía y sostenibilidad de la construcción, Vivienda y desarrollo urbano, Estudios sociales de la C&T

Gustavo Coronel

Ingeniero Civil. Magister en Ing. Sismorresistente y Aspirante Doctoral en la UCV. Profesor e Investigador del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Facultad de Ingeniería de la UCV. Asesor en FUNVISIS y Consultor en Ing. Estructural y Sismorresistente. Coordinador técnico del Convenio GEM-FUNVISIS para la Evaluación Integrada del Riesgo Sísmico en Venezuela (2015-2017). Acreditado en El Programa de Estímulo a la Innovación y a la Investigación (PEII), nivel B, 2011, 2013 y 2015.

Carlos Genatios

Dr. Sc. Institut National des Sciences Appliquées, Francia. Ing. Civil UCV. M.Sc. COPPE/UFRJ Brasil. Postdoctorado ENS Cachan-Univ. Pierre et Marie Curie. Coordinador General Red Geópolis para la Reducción de Riesgos de Desastres en Latinoamérica. Individuo de Número, Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Consultor en infraestructura, reducción de riesgos de desastres y ciencia y tecnología. Profesor titular UCV. Fue ministro de Ciencia y Tecnología, Director General del Ministerio de Desarrollo Urbano, Viceministro de Infraestructura, Presidente del Consejo Andino de Ciencia y Tecnología, Director IMME/UCV. Autor o coautor de 14 libros, 150 artículos científico-técnicos, 300

artículos de opinión. Consultor del BID, CAF, CEPAL, NNUU. Comendador Palmas Académicas y Gran Oficial Orden del Mérito, Francia.

José Grases

Nacido en La Chapelle aux Bois, Francia. Ingeniero Civil, UCV 1959. Dr. C. UCV 1973. Prof. Titular UCV. Individuo de número de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, y de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Especialización en Ensayo de Materiales en Munich y Londres, 1960-61. Director del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME-UCV 1965-67). Estudios sobre el terremoto de Caracas en Lisboa, 1967-68. Coordinador de la Maestría Multinacional en Ingeniería Sismorresistente, auspiciada por OEA, con sede en la Facultad de Ingeniería de la UCV desde 1973. Profesor itinerante de Ingeniería Sismorresistente de la OEA-UNESCO-OPS en países de la región Caribe y Centro-América. Miembro de 32 Misiones de Campo en Zonas afectadas por sismos destructores: 1970-1998. Vicepresidente de la Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica con sede en Japón. Autor de algunas contribuciones sobre temas de su especialidad. Hobby: constructor de muros de piedra seca

Julio J. Hernández

Ingeniero Civil, UCV, 1973. Magister Sc. en Ingeniería Sismorresistente, UCV, 1997. Profesor universitario de Análisis Matemático, Estructuras y Proyectos Estructurales de Acero. Consultor de proyectos estructurales de edificios, puentes, tanques y otras instalaciones. Autor de estudios de amenaza sísmica y desarrollo de modelos sismogénicos. Coordinador del área de Ingeniería Sísmica del Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas. Co-redactor de las Normas Sísmicas Venezolanas de 1982, 1998, 2001 y 2017. Autor y/o co-autor de 3 libros y múltiples artículos en el área de Ingeniería Sísmica. Premio Nacional de Investigación Tecnológica 2002, 2005 y 2009. Premio de la FI-UCV 2002.

Marianela Lafuente

Ingeniero Civil Universidad Central de Venezuela (1980), M.Sc. Univ. Federal Rio de Janeiro, Dr, Sc. Institut National des Sciences Appliquées, Francia (1991). Post doctorado ENS Cachan. Prof. titular IMME/ UCV, del cual fue Directora (1999). Lic Filosofía UCV y Lic. Letras U. Toulouse. Viceministra de Ciencia y Tecnología (1999-2002). Investigadora en ingeniería estructural, prevención de desastres y en ciencia y tecnología. Consultora BID, CAF y BM. Cofundadora de 7 cátedras de pre y post grado en ingeniería UCV. Autora o coautora de numerosos artículos científicos, y de opinión y de varios libros. Cofundadora de: Centro Nacional de Tecnologías de Información, Fondo para investigación y desarrollo en telecomunicaciones, Centro CITECI, Centro Pascal. Ganadora en coautoría del Primer premio nacional investigación en vivienda. Individuo de número de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (sillón XXV).

Oscar Andrés López

Ingeniero Civil, UCV. M. Sc. y Ph.D., Universidad de Berkeley, California. Profesor e Investigador del Instituto de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UCV y Asesor de FUNVISIS (1978-Presente). Premio Anual Facultad de Ingeniería al mejor Trabajo de Investigación los años 1996, 1997, 2002, 2008 y 2011. Premio Nacional MCT al mejor Trabajo Científico, Tecnológico y de Innovación en la mención Investigación Tecnológica en 1998, 2002, 2005 y 2009.

Valentina Páez Hernández

Ingeniera Civil, Universidad Central de Venezuela. M.Sc. en Ingeniería Sismorresistente Universidad Central de Venezuela. Mención Excelencia en el Trabajo Titulado “Evaluación del Riesgo Sísmico en Viviendas Populares” por parte del Consejo de Estudios de Postgrados de la UCV. Investigadora del

Departamento de Ingeniería Sísmica de Funvisis. Jefa del Departamento de Ingeniería Sísmica de Funvisis.

Eduardo Páez-Pumar

Ingeniero Civil, Universidad Católica Andrés Bello 1975. Ha participado en la Industria de la Construcción durante más de 35 años, desempeñando funciones de Ingeniero Residente, Ingeniero Inspector o Coordinador de Construcción en grandes obras públicas y privadas. En los últimos años se ha dedicado al estudio de las políticas públicas en infraestructura, siendo fundador y director de la Asociación Integral de Políticas Públicas AIPOP. En el sector gremial participó en la Comisión de la Asociación de Propietarios de la Urbanización Miranda que coordinó el estudio de Micro-zonificación de Riesgo Geológico de la urbanización, es miembro de Pensar en Venezuela, Pensar en América y de la Comisión de Energía del CIV, integrante de la Comisión de Políticas Públicas de la Mesa de Unidad Democrática que elaboró los lineamientos para el Programa de Gobierno de Unidad Nacional, miembro de Asociación de Inspectores y Supervisores de Obras (ADIVISO) y miembro de la Comisión de Infraestructura de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. En los años 70 fue fundador y primer gerente de operaciones de la Federación Venezolana de Rescate y participó en el terremoto de Guatemala en labores helitácticas de búsqueda y salvamento desarrolladas en varias ciudades del país. Participó en el desalojo del barrio Gramovén cuando se produjeron los primeros grandes deslizamientos del kilómetro uno de la Autopista Caracas-La Guaira.

Michael Schmidt

Licenciado en Geología, 1987; Doctorado en Geofísica (Dr. rer nat.), Universidad Libre de Berlín 1993, Alemania; Investigaciones de la litósfera en los Andes Centrales. Investigación: 1993-1997 Universidad Libre de Berlín, Alemania; desde 1997 FUNVISIS: Microzonificación sísmica y estudios de la litósfera con especial enfoque en los estudios de la litósfera con métodos sísmicos (interacción Caribe-Suramérica; Andes de Mérida). Docencia: Profesor Asociado; desde 2002 UCV: Sismología, Geofísica; desde 2007: USB, Sismología, Integración Geofísica; 2016-17 EPN, Quito, Ecuador: Microzonificación Sísmica. Más de 50 publicaciones en revistas, más de 300 presentaciones en congresos.

El sábado 29 de junio de 1967, a las ocho y cinco de la noche, la tierra tembló en Caracas. En esos treinta y cinco largos segundos, alrededor de 250 personas murieron, dos mil quedaron heridas y alrededor de ochenta mil, sin viviendas. Al recuerdo de las víctimas del terremoto y a sus familiares, está dedicado este libro.

En 2017, cincuenta años después, Caracas es más vulnerable. Y no sólo Caracas. Gran parte de la población del país se encuentra en zonas de riesgo sísmico. Es imperativo tomar en cuenta las amenazas naturales, a la hora de construir nuevos desarrollos habitacionales y de emprender programas de rehabilitación de barrios. Las medidas de prevención incluyen la revisión y actualización de normativas vigentes, la evaluación de la vulnerabilidad de infraestructuras estratégicas y edificaciones importantes, y el establecimiento de prioridades en los programas de rehabilitación y readecuación sísmica de estructuras que deban emprenderse.

En este libro se discuten temas relacionados con la extensa problemática asociada a la vulnerabilidad de la ciudad de Caracas, la disminución del riesgo de ocurrencia de desastres naturales y el fortalecimiento de la resiliencia. Se recopilan trabajos de reconocidos expertos en el área, que constituyen un importante aporte y muestran las capacidades actuales en la planificación y análisis para la reducción de riesgos sísmicos en el país.



El Centro para la Innovación, el Desarrollo Tecnológico y del Conocimiento en Ingeniería (CENTRO CITECI) es una organización creada en función de incentivar procesos de generación y aprovechamiento del conocimiento, de innovación y desarrollo tecnológico en el país. Esta iniciativa busca responder a las demandas del sector productivo venezolano y de la sociedad en general, en función de apoyar su crecimiento y competitividad con el fin de contribuir con la mejora de la calidad de vida de la población y con el desarrollo social y económico del país.



Academia Nacional
de la Ingeniería y el Hábitat

La Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, fue creada en 1998. Forma parte de la comunidad de Academias Nacionales, y de la comunidad internacional de Academias de Ingeniería. Es una institución llamada a contribuir con la discusión permanente de los asuntos más importantes del país, en especial, los vinculados a la Ingeniería y el Hábitat. En este campo, sus objetivos están orientados principalmente a: promover, programar y difundir trabajos de investigación y proyectos; cooperar en la definición y elaboración de directrices generales, políticas y estrategias públicas, así como a apoyar y fortalecer iniciativas, públicas y privadas, que incidan significativamente en el desarrollo nacional. La Academia agrupa en su seno a 35 Miembros, Individuos de número, con profesiones contempladas en la Ley de Ejercicio de la Ingeniería, Arquitectura y Profesiones afines, y Miembros del Colegio de Ingenieros de Venezuela.

ISBN: 978-980-7106-06-1



9 789807 110606 1