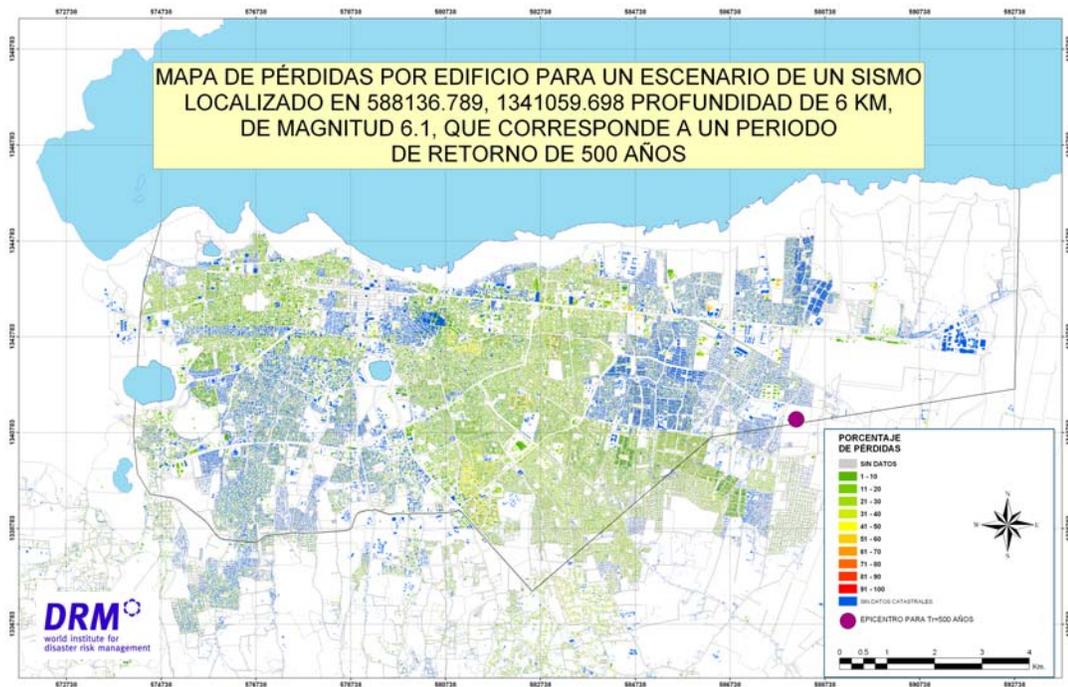




**SISTEMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y
ATENCIÓN DE DESASTRES
SECRETARÍA EJECUTIVA
(SE-SINAPRED)**



**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES
(INETER)**



ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE MANAGUA

AGOSTO 2005

Autor principal: Eduardo Reinoso

Contribuciones:

Antonio Zeballos	Funciones de vulnerabilidad, sismicidad, efectos de sitio
Orlando Hernández	Tipos estructurales Managua e inspecciones
Franklin Moore	Sismicidad de Managua
Guillermo Chávez	Bases de datos y mapas SIG
José Juan Hernández	Mapas SIG
Rafael Arredondo	Mapas SIG
Jürg Hammer, Jorge Luna	Coordinación y Revisión

Comité técnico encargado de la revisión y control del desarrollo del estudio:

Director: Dr. Wilfried Strauch, INETER
Miembros: Msc. Ing. Álvaro Amador, INETER
Ing. Helman Taleno, Dirección de Normas del MTI
Dr. Armando Ugarte, Enlace técnico UNI – SINAPRED
Ing. Guillermo Guevara, OPS-Nicaragua
Ing. Gerardo Bonilla, Alcaldía de Managua
Dr. Julio Icaza Gallard, Coordinador Proyecto, PRVDN SE-SINAPRED
Ing. Laura Gutiérrez Granja, SE-SINAPRED

El presente “ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE MANAGUA” es un componente del proyecto “REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD ANTE DESASTRES NATURALES”, ejecutado conjuntamente por la Secretaría Ejecutiva del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (SE-SINAPRED) y el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). El estudio fue elaborado por la firma consultora World Institute for Disaster Risk Management, Inc. (DRM), en el período de enero de 2004 a mayo de 2005.

Nota: Se reconocen que los resultados arrojados por los modelos empleados en este estudio son de índole probabilístico y que constituyen sólo indicaciones de los posibles resultados de eventos futuros, a la luz del estado actual del conocimiento. De manera que en este estudio se reportarán resultados que no constituyen predicciones ciertas del futuro y por esta razón se excluye responsabilidades civiles y/o penales que se deriven de la falta de concordancia entre las estimaciones proporcionadas en este estudio y los resultados impredecibles de eventos catastróficos que pudieren ocurrir.

Agosto 2005

Índice

	<i>Página</i>
Resumen Ejecutivo	ix
Agradecimientos	x
Resumen del Estudio	1
Capítulo 1. Introducción	6
Capítulo 2. Inspección de edificios principales, manzanas y verificación de datos de catastro.	8
Capítulo 3. Cálculo de funciones de vulnerabilidad para los tipos estructurales de Managua	86
Capítulo 4. Estudio de sismicidad y cálculo de curvas de amenaza	114
Capítulo 5. Cálculo de factores de amplificación y mapas de efectos de sitio	126
Capítulo 6. Cálculo de los mapas de riesgo para los escenarios propuestos.....	139
Capítulo 7. Recopilación de información sobre sismos históricos	168
Capítulo 8. Estudio de características de las estructuras de Managua y su clasificación en tipos estructurales	183
Capítulo 9. Conclusiones y Recomendaciones	197
Anexo 1: Logística durante un desastre	203
Anexo 2: Mapas	209
Referencias.....	234

Índice de Tablas

<i>Capítulo 1</i>	<i>Página</i>
Tabla 1-1: Edificios Inspeccionados	2
 <i>Capítulo 2</i>	
Tabla 2- 1. Uso de estructura	14
Tabla 2- 2: Datos recabados de la manzana 1003U206065	53
Tabla 2- 3: Datos recabados de la manzana 1003U210030	56
Tabla 2- 4: Datos recabados de la manzana 1003U304036	60
Tabla 2- 5: Datos recabados de la manzana 1003U309024	63
Tabla 2- 6: Datos recabados de la manzana 1003U414084	67
Tabla 2- 7: Datos recabados de la manzana 1003U419023	70
Tabla 2- 8: Datos recabados de la manzana 1003U502009	74
Tabla 2- 9: Datos recabados de la manzana 1003U503020	77
Tabla 2- 10: Datos recabados de la manzana 1003U604005	81
Tabla 2- 11: Datos recabados de la manzana 1003U610070	84
 <i>Capítulo 3</i>	
Tabla 3-1: Valores del parámetro η para los tipos estructurales de Managua	89
Tabla 3-2: Valores de los parámetros $\bar{\gamma}$ y ρ para los tipos estructurales de Managua.....	100
Tabla 3- 3: Porcentajes de ocupación según la hora y el día de la semana	109
Tabla 3- 4 Sismos ocurridos de 1977 a 1995 y los muertos causados por el colapso de estructuras de concreto reforzado.....	110
Tabla 3- 5 Algunas estructuras colapsadas de concreto reforzado y su índice de fatalidad.....	110
Tabla 3- 6: Porcentaje de atrapados y fatalidad para los tipos estructurales más comunes de Managua (en edificios con colapso).....	111

Tabla 3- 7: Determinación del grado de riesgo de incendio.....	112
--	-----

Capítulo 4

Tabla 4- 1: Parámetros de las fuentes sísmicas consideradas en este estudio.....	117
Tabla 4- 2: Parámetros de las leyes de atenuación SEA96	120

Capítulo 6

Tabla 6-1 Origen por distrito de los edificios de la base <i>CATASTRO_ERN.mdb</i>	146
Tabla 6-2: Descripción de los campos utilizados de la tabla <Edificios> de la Base <i>ALMA_CATASTRO.mdb</i>	147
Tabla 6- 3: Origen por distrito de las coordenadas en los edificios.	148
Tabla 6-4: Origen por distrito de los <i>sistemas estructurales</i> (SE).....	149
Tabla 6-5: Origen por distrito de los valores catastrales.	150
Tabla 6-6: Distribución de los datos evaluados por distrito.	150
Tabla 6-7: Distribución de edificios en zona de estudio por distrito.....	151
Tabla 6-8: Pérdida por sistema estructural (SE) para el escenario de 100 años de periodo de retorno (los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.).....	152
Tabla 6-9: Pérdidas por número de niveles para el escenario de 100 años de periodo de retorno	152
Tabla 6-10: Pérdidas por sistema estructural (SE) y número de pisos para el escenario de 100 años de periodo de retorno. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.).....	153
Tabla 6-11: Pérdidas por sistema estructural (SE) para el escenario de 500 años de periodo de retorno.	154
Tabla 6-12: Pérdidas por número de pisos para el escenario de 500 años de periodo de retorno	154
Tabla 6-13: Pérdidas por sistema estructural (SE) y numero de pisos para el escenario de 500 años de periodo de retorno. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.).....	155
Tabla 6-14: Pérdidas por sistema estructural para el escenario del temblor de 1972. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.).....	156
Tabla 6-15: Pérdidas por número de pisos para el escenario del temblor de 1972	156
Tabla 6-16: Pérdidas por sistema estructural (SE) y número de pisos para el escenario del temblor de 1972. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.).....	157
Tabla 6-17: Pérdidas en los edificios inspeccionados para el escenario de 100 años de periodo de retorno. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.).....	158
Tabla 6-18: Pérdidas en los edificios inspeccionados para el escenario de 500 años de periodo de retorno. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.).....	159
Tabla 6-19: Pérdida en edificios inspeccionados para el escenario del temblor de 1972. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.)	160
Tabla 6-20: Pérdidas por sistema estructural (SE, ver Tabla 3-1) para los 3 escenarios.....	161
Tabla 6-21: Pérdidas por número de niveles para los 3 escenarios	161
Tabla 6-22: Pérdidas por sistema estructural (SE, ver Tabla 3-1) y por número de niveles para los 3 escenarios	162
Tabla 6-23: Número de víctimas fatales por escenario. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.)	163

Capítulo 7

Tabla 7-1: Resultado de sismoscopios (Tomado de Del Valle, 1973)	173
--	-----

Capítulo 8

Tabla 8-1: Información catastral sobre paredes exteriores.....	187
Tabla 8-2: Tipo estructural de acuerdo a pared exterior.....	187
Tabla 8-3: Tipo estructural considerando cubierta	188
Tabla 8-4: Tipos estructurales empleados en análisis de riesgo sísmico.....	196

Tabla 9-1: Estadísticas de los niveles de riesgo de edificios, por distritos.....200

Índice de Figuras

Capítulo 1

Página

Figura 1-1: Esquema de desarrollo del proyecto 1
 Figura 1-2: Forma típica de una función de vulnerabilidad 4

Capítulo 2

Figura 2-1: Formato para inspecciones a inmuebles 11
 Figura 2-2: Continuación de formato para inspecciones a inmuebles 12
 Figura 2-3: Sistema de Distribución de Energía Eléctrica 48
 Figura 2-4: Sistema de Distribución de Agua Potable 49
 Figura 2-5: Ubicación de manzanas inspeccionadas en Distrito II 51
 Figura 2-6: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U206065..... 52
 Figura 2-7: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U210030..... 55
 Figura 2-8: Ubicación de manzanas inspeccionadas en Distrito III 58
 Figura 2-9: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U304036..... 59
 Figura 2-10: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U309024..... 62
 Figura 2-11: Ubicación de manzanas inspeccionadas en Distrito IV 65
 Figura 2-12: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U414084..... 66
 Figura 2-13: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U419023..... 69
 Figura 2-14: Ubicación de manzanas inspeccionadas en Distrito V 72
 Figura 2-15: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U502009..... 73
 Figura 2-16: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U503020..... 76
 Figura 2-17: Ubicación de manzanas inspeccionadas en Distrito VI..... 79
 Figura 2-18: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U604005..... 80
 Figura 2-19: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U610070..... 83

Capítulo 3

Figura 3- 1: Valores de $\beta_1 \beta_2$ 88
 Figura 3- 2: Valores de β_3 89
 Figura 3- 3: Gráfica de la función de vulnerabilidad para sistemas con base en muros de carga de mampostería, con losa de concreto en la azotea. 91
 Figura 3- 4: Gráficas de función de vulnerabilidad para edificios de marcos de concreto con losa de concreto, para México y para Nicaragua..... 92
 Figura 3- 5: Función de vulnerabilidad para sistemas estructurales de adobe con cubierta ligera..... 93
 Figura 3- 6: Función de vulnerabilidad para sistemas estructurales con base en muros de adobe sin diafragma rígido con cubierta pesada 93
 Figura 3- 7: Función de vulnerabilidad para estructuras de marcos de concreto sin diafragma rígido con cubierta ligera..... 94
 Figura 3- 8: Función de vulnerabilidad para estructuras de marcos de concreto sin diafragma rígido con cubierta pesada 94
 Figura 3- 9: Función de vulnerabilidad para construcciones de madera con cubierta de concreto 95
 Figura 3- 10: Función de vulnerabilidad para estructuras de madera sin diafragma con cubierta ligera 95
 Figura 3- 11: Función de vulnerabilidad para estructuras de madera sin diafragma rígido con cubierta pesada..... 96

Figura 3- 12: Función de vulnerabilidad para sistemas con base en muros de mampostería sin diafragma con cubierta ligera.....	96
Figura 3- 13: Función de vulnerabilidad para sistemas estructurales con base en muros de mampostería sin diafragma rígido con cubierta pesada.....	97
Figura 3- 14: Función de vulnerabilidad para estructuras prefabricadas de concreto con cubierta ligera.....	97
Figura 3- 15: Función de vulnerabilidad para estructuras de ripio con cubierta ligera.....	98
Figura 3- 16: Función de vulnerabilidad para estructuras de ripio con cubierta pesada.....	98
Figura 3- 17: Función de vulnerabilidad para estructuras de taquezal con cubierta ligera.....	99
Figura 3- 18: Función de vulnerabilidad para estructuras de taquezal con cubierta pesada.....	99
Figura 3- 19: Función de vulnerabilidad para estructuras de acero con cubierta ligera.....	100
Figura 3- 20: Función de vulnerabilidad sísmica para tuberías (Eidinger, 1998).....	101
Figura 3- 21 Función de vulnerabilidad sísmica para tanques.....	102
Figura 3-22 Función de vulnerabilidad sísmica para redes de alta tensión.....	104
Figura 3-23 Cuadro sinóptico de la clasificación de muertos y heridos después de la ocurrencia de un sismo. El estado final del ocupante se indica según ha muerto (M) o queda herido (H) y el número indica la etapa donde ocurre ese estado de manera que el 1 corresponde al evento sísmico y el 2 a días posteriores.....	106
Figura 3-24 Cálculo del Factor de Colapso, FC , dada la pérdida obtenida del estudio de riesgo sísmico.....	108

Capítulo 4

Figura 4- 1: Fuentes sismogénicas del modelo INETER (1ª parte: fuentes superficiales).....	115
Figura 4- 2: Fuentes sismogénicas del modelo INETER (2ª parte: fuentes de profundidad intermedia e intraplaca profundos).....	116
Figura 4- 3: Fuentes superficiales adicionales (14, 15 y 16) consideradas para el Modelo sismotectónico 2. Se incluye como referencia el resto de las fuentes superficiales.....	118
Figura 4- 4: Aceleraciones máximas del suelo para un periodo de retorno de 500 años con el modelo 1 en líneas negra y con el modelo 2 con líneas rojas.....	123
Figura 4- 5: Curva de tasa de excedencia para A_{max} en la ciudad de Managua.....	123
Figura 4- 6: Espectros de amenaza uniforme para 100 (azul) y 475 (rojo) años de periodo de retorno para la ciudad de Managua.....	124
Figura 4- 7: Valor esperado de la tasa de excedencia (en azul) y su desviación estándar (en rojo) para distintos periodos estructurales.....	125

Capítulo 5

Figura 5- 1: Mapa de amplificaciones espectrales máximas calculadas por Escobar y Corea (1998) en la ciudad de Managua.....	127
Figura 5- 2. Mapa de aceleraciones máximas del suelo durante un sismo de magnitud 6.5, calculadas por Escobar y Corea (1998) en la ciudad de Managua.....	128
Figura 5- 3: Ubicación de puntos estudiados.....	129
Figura 5- 4: Acelerogramas obtenidos por deconvolución en la refinería ESSO, utilizando las tres diferentes estratigrafías que se indican. Los cálculos son para el componente EW del movimiento registrado durante el sismo de 1972.....	130
Figura 5- 5: Acelerogramas calculados para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Faccioli <i>et al</i> (1973).....	130
Figura 5- 6: Acelerogramas calculados para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Johansson (1988).....	131
Figura 5- 7: Acelerogramas calculados para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Escobar y Corea (1998).....	131
Figura 5- 8: Funciones de amplificación calculadas para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Faccioli <i>et al</i> (1973).....	132
Figura 5- 9: Funciones de amplificación calculadas para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Johansson (1988).....	132

Figura 5- 10: Funciones de amplificación calculadas para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Escobar y Corea (1998).....	133
Figura 5- 11: Espectros de respuesta (seudoaceleraciones, 5% del amortiguamiento crítico) de los acelerogramas mostrados en las figuras A4-5 a A4-7. El espectro con la máxima ordenada espectral corresponde al sitio Teatro Rubén Darío utilizando las estratigrafías de Faccioli et al (1973)	133
Figura 5- 12. Parte superior: acelerograma artificial generado para un sismo de subducción con magnitud 7.5 y distancia focal de 75 Km. Parte inferior: línea delgada, espectro de respuesta (aceleraciones, 5% del amortiguamiento crítico) del acelerograma mostrado; línea gruesa, espectro objetivo	134
Figura 5- 13. Acelerogramas calculados para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Faccioli <i>et al</i> (1973), considerando un sismo de subducción	135
Figura 5- 14. Acelerogramas calculados para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Johansson (1988), considerando un sismo de subducción.....	135
Figura 5- 15. Acelerogramas calculados para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Escobar y Corea (1998), considerando un sismo de subducción.....	136
Figura 5- 16. Espectros de respuesta (seudoaceleraciones, 5% del amortiguamiento crítico) de los acelerogramas mostrados en las figuras 5-13 a 5-15.....	136
Figura 5- 17: Líneas delgadas: cocientes espectrales entre los sitios que se indican y la refinería ESSO (estratigrafías tomadas de Faccioli <i>et al</i> (1973). Líneas gruesas: cocientes espectrales entre los registros acelerométricos (componente EW) obtenidos durante el sismo del 13 de enero de 2001 en las estaciones Defensa Civil e INETER de la ciudad de Managua.	137

Capítulo 6

Figura 6- 1: Función de probabilidad de que la pseudoaceleración sea excedida.....	141
Figura 6-2. Función de densidad de probabilidad de la pseudoaceleración	142
Figura 6-3. Función de vulnerabilidad	143
Figura 6-4. Funciones de densidad de probabilidad de pérdidas.....	144
Figura 6-5. Funciones de probabilidad acumulada de pérdida bruta.....	145
Figura 6-6. Esquema del cálculo de pérdidas brutas.	145
Figura 6-7. Curvas de probabilidad de excedencia para los tres escenarios propuestos	163
Figura 6- 8: Ley de atenuación de velocidad máxima del terreno empleada en la estimación del daño en tuberías (Campbell, 2000).....	164
Figura 6-9: Ley de atenuación de aceleración máxima del terreno empleada en la estimación del daño a tanques y subestaciones (Boore, 1993).....	164

Capítulo 7

Figura 7-1 Ubicación de sismoscopios en 1972 (Tomado de Del Valle, 1973).....	172
Figura 7- 2 Grado de daños (Tomado de Del Valle, 1973).....	174
Figura 7- 3 Mapa de isosistas 1972 (Hansen y Chávez, 1973)	180
Figura 7- 4 Mapa con localización de rupturas asociadas al terremoto de 1972 (Tomado de EERI, 1973)	181

Capítulo 8

Figura 8-1: Distribución de viviendas por material de paredes en Managua	189
Figura 8-2: Distribución de viviendas por material de cubierta en Managua	189

Anexo A1

Figura A1-1: Tarjetas para la clasificación de pacientes de acuerdo al código internacional de colores.....	206
Figura A1-2: Clasificación e identificación de pacientes.....	206

Figura A2- 1: Mapa de pérdidas en edificios para un sismo localizado en 579424.214, 1343250.055 y profundidad 6 km, de magnitud 6.25, similar al sismo de 1972	210
Figura A2- 2: Mapa de pérdidas en edificios para un sismo localizado en 577275.663, 1331077.870 y profundidad 6 km, de magnitud 6.2, asociado a un período de retorno de 100 años	211
Figura A2- 3: Mapa de pérdidas en edificios para un sismo localizado en 588136.789, 1341059.698 y profundidad 6 km, de magnitud 6.1, asociado a un período de retorno de 500 años	212
Figura A2- 4: Mapa de pérdidas en lotes o parcelas para un sismo localizado en 579424.214, 1343250.055 y profundidad 6 km, de magnitud 6.25, similar al sismo de 1972.....	213
Figura A2- 5: Mapa de pérdidas en lotes o parcelas para un sismo localizado en 577275.663, 1331077.870 y profundidad 6 km, de magnitud 6.2, asociado a un periodo de retorno de 100 años	214
Figura A2- 6: Mapa de pérdidas en lotes o parcelas para un sismo localizado en 588136.789, 1341059.698 y profundidad 6 km, de magnitud 6.1, asociado a un periodo de retorno de 500 años	215
Figura A2- 7: Mapa de pérdidas en manzanas para un sismo localizado en 579424.214, 1343250.055 y profundidad 6 km, de magnitud 6.25, similar al sismo de 1972.....	216
Figura A2- 8: Mapa de pérdidas en manzanas para un sismo localizado en 577275.663, 1331077.870 y profundidad 6 km, de magnitud 6.2, asociado a un periodo de retorno de 100 años	217
Figura A2- 9: Mapa de pérdidas en manzanas para un sismo localizado en 588136.789, 1341059.698 y profundidad 6 km, de magnitud 6.1, asociado a un periodo de retorno de 500 años	218
Figura A2- 10: Mapa de porcentaje de víctimas fatales por edificio para un sismo localizado en 579424.214, 1343250.055 y profundidad 6 km, de magnitud 6.25, similar al sismo de 1972.....	219
Figura A2- 11: Mapa de porcentaje de víctimas fatales por edificio para un sismo localizado en 577275.663, 1331077.870 y profundidad 6 km, de magnitud 6.2, asociado a un escenario con periodo de retorno de 100 años.....	220
Figura A2- 12: Mapa de porcentaje de víctimas fatales por edificio para un sismo localizado en 588136.789, 1341059.698 y profundidad 6 km, de magnitud 6.1, asociado a un escenario con periodo de retorno de 500 años.....	221
Figura A2- 13: Roturas en tuberías para un sismo localizado en 579424.214,1343250.055 y profundidad 6 km, de magnitud 6.25, similar al sismo de 1972.....	222
Figura A2- 14: Roturas en tuberías para un sismo localizado en 588136.789, 1341059.698 y profundidad 6 km, de magnitud 6.1, asociado a un periodo de retorno de 500 años.....	223
Figura A2- 15: Porcentaje de daño esperado en tanques para un sismo localizado en 579424.214,1343250.055 y profundidad 6 km, de magnitud 6.25, similar al sismo de 1972.....	224
Figura A2- 16: Porcentaje de daño esperado en tanques para un sismo localizado en 588136.789, 1341059.698 y profundidad 6 km, de magnitud 6.1, asociado a un periodo de retorno de 500 años	225
Figura A2- 17: Probabilidad de falla en subestaciones para un sismo localizado en 579424.214,1343250.055 y profundidad 6 km, de magnitud 6.25, similar al sismo de 1972.....	226
Figura A2- 18: Probabilidad de falla en subestaciones para un sismo localizado en 588136.789, 1341059.698 y profundidad 6 km, de magnitud 6.1, asociado a un periodo de retorno de 500 años	227
Figura A2- 19: Mapa de Riesgo Sísmico para toda la Ciudad de Managua.....	228
Figura A2- 20: Mapa de Riesgo Sísmico del Distrito 2 de la Ciudad de Managua.....	229
Figura A2- 21: Mapa de Riesgo Sísmico del Distrito 3 de la Ciudad de Managua.....	230
Figura A2- 22: Mapa de Riesgo Sísmico del Distrito 4 de la Ciudad de Managua.....	231
Figura A2- 23: Mapa de Riesgo Sísmico del Distrito 5 de la Ciudad de Managua.....	232
Figura A2- 24: Mapa de Riesgo Sísmico del Distrito 6 de la Ciudad de Managua.....	233

Resumen Ejecutivo

Se presenta el estudio del cálculo de pérdidas por terremoto en la ciudad de Managua con base en las herramientas más modernas disponibles internacionalmente de riesgo sísmico. Para ello, se revisó y actualizó la sismicidad y la vulnerabilidad estructural de Managua, incluyendo los efectos de sitio. La metodología de cálculo de pérdidas es probabilista e incluye las incertidumbres provenientes tanto de la actividad sísmica como de las leyes de atenuación y del comportamiento estructural, por lo que los valores que se reportan son valores esperados; se obtuvo también la curva de distribución de probabilidad de la pérdida global. Los resultados se muestran para tres escenarios: un sismo con periodo de recurrencia de 100 años, un sismo con periodo de recurrencia de 500 años y el sismo de 1972. Se implementó un Sistema de Información Geográfica (SIG) que contiene toda la información estructural y de escenarios descritos en el informe. En vista de que el modelo de las fuentes de sismos locales en Managua se modelaron como superficie y no como líneas, no es posible, con base en estos resultados, particularizar los tipos de falla estructural de edificaciones sobre fallas activas.

La información sobre las construcciones en Managua la obtuvimos del Catastro Municipal, proporcionada por la Alcaldía de Managua, complementado con información de una capa gráfica de edificios proporcionada por la autoridad local. El catastro contiene información sobre la vivienda pero no proporciona datos técnicos sobre la estructura ni sobre otros factores de vulnerabilidad sísmica. Por ello, con base en algunos datos como el material de las paredes exteriores y de la cubierta, inferimos el sistema estructural del mismo.

Como complemento a la información del catastro, se realizó una inspección a los edificios principales y a diez manzanas para corroborar y corregir la información y complementarla. En cada inspección de edificio se llenó un formato expresamente diseñado y esa información se tomó en cuenta para calcular su riesgo sísmico. Con respecto a las manzanas, se inspeccionaron todas las construcciones de las 10 manzanas, las cuales fueron seleccionadas por la diversidad de tipos estructurales o por la falta de datos en la base catastral. Encontramos algunas inconsistencias y errores del catastro que están indicadas en las partes respectivas del presente informe. Asimismo, encontramos que las suposiciones del tipo estructural con base en el material de las paredes y cubiertas eran razonablemente adecuadas.

Se definieron las características de los tipos estructurales con base en la experiencia internacional y en los daños observados durante el sismo de 1972. Aquí, fue fundamental la asesoría de expertos nicaragüenses. Los sistemas estructurales se describen con detalle, quedando así definidos 17 de ellos. En la metodología se emplean funciones de vulnerabilidad para cada tipo estructural que relacionan el valor esperado del daño con la distorsión de entrepiso.

Por último, se estimó el número esperado de víctimas fatales de acuerdo a las herramientas e información disponibles que desafortunadamente aún son burdas, además de que la información de ocupación de los inmuebles es limitada.

Los resultados del estudio indican que en la ciudad de Managua, en general, el riesgo es moderado, aunque es necesario resaltar que existen sistemas estructurales vulnerables como ripio, taquezal, adobe, etc. Se puede concluir que las condiciones actuales de Managua son mucho más favorables en caso de que se presente un sismo como el ocurrido en diciembre de 1972, por lo que, en términos relativos, las pérdidas serían menores en esa eventualidad. Lo mismo se aplica en cuanto a número de víctimas fatales, es decir, aunque el número estimado de decesos en un escenario similar es elevado (más de 9,000), en términos relativos es sustancialmente menor a lo ocurrido en 1972.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración en el desarrollo de este estudio a las siguientes instituciones:

Ministerio de Salud (MINSA)

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (MECD)

Empresa Nacional de Transmisión Eléctrica S. A. (ENTRESA)

Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI)

Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL)

Alcaldía de Managua (ALMA)

Agradecemos especialmente al equipo de técnicos del catastro municipal de la Alcaldía de Managua y a su director el Ing. César Darce.

Resumen del Estudio

Este informe contiene toda la información que sirvió de base para el cálculo de pérdidas por sismos en la ciudad de Managua. Se implementó un Sistema de Información Geográfica (SIG) con tres escenarios de pérdidas: un sismo con periodo de recurrencia de 100 años, un sismo con periodo de recurrencia de 500 años y el sismo de 1972.

El desarrollo del proyecto, cuyo resultado final son los mapas SIG, implicó el trabajo en dos áreas claramente distintas, sólo integradas al final del mismo. Estas áreas fueron todo lo relacionado con los estudios de sismicidad, vulnerabilidad estructural y estimación de pérdidas en edificaciones, y la información georeferenciada que sería, a la postre, la base para mostrar los resultados de pérdidas en mapas SIG. Un esquema del trabajo realizado se puede observar en la siguiente figura:

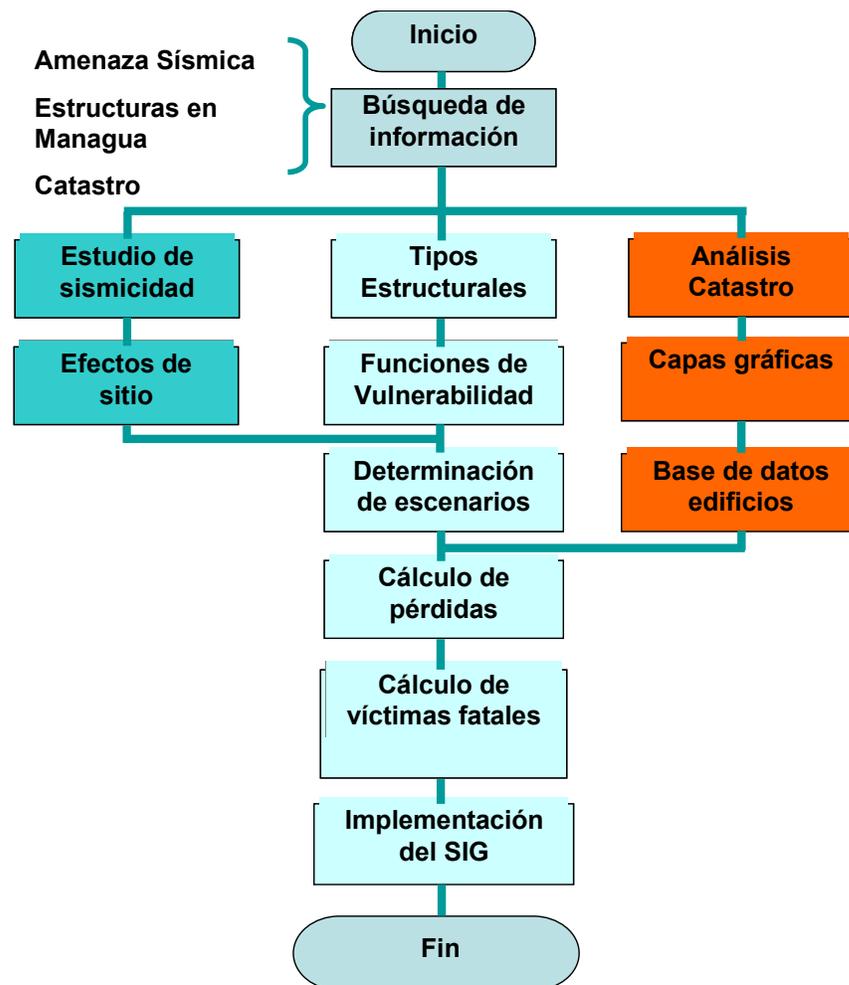


Figura 1- 1: Esquema de desarrollo del proyecto

Las tareas marcadas con color verde (Estudio de Sismicidad y Efectos de Sitio) requirieron de una profunda revisión de la información existente, de reportes sobre trabajos previos de manera que los resultados de ellos se pudieran utilizar en el presente estudio. Sin embargo, en vista de nuevas publicaciones sobre la actividad sísmica y sobre las leyes de atenuación se realizó un estudio de sismicidad completo, considerando todas las fuentes que producen temblores en Nicaragua, considerando por separado las fuentes generadores de temblores superficiales, los intermedios y los

profundos. El resultado de este estudio son mapas de aceleraciones máximas del suelo (parámetros clásicos de la amenaza sísmica) asociado a ciertos periodos de retorno.

La siguiente fase del proyecto en lo relacionado a la amenaza sísmica es la determinación de efectos locales que amplifican las aceleraciones del terreno (supuesto en terreno firme) por propagación del movimiento en estratos de suelo más blandos. El material consultado al respecto fue amplio, sin embargo también se realizó un análisis teórico de la amplificación con base en sondeos en ciertos puntos de la ciudad, utilizando un modelo de propagación de ondas de corte unidimensional. La conclusión a la que se llegó (y llegaron todos los estudios consultados) es que los efectos de sitio no son relevantes en Managua, de manera que las curvas obtenidas del análisis de sismicidad no requerían ser modificadas.

Otro grupo de actividades estuvo orientado a la obtención de información confiable sobre las construcciones en Managua. La fuente principal de información fue el Catastro Municipal de Managua, cuyos campos fueron analizados con el objeto de depurar la información contenida en él. El Catastro brindó datos sobre la mayoría de los predios en Managua, aunque fue necesario complementar la información con una capa gráfica de edificios proporcionada por la autoridad local. Si bien el catastro contiene datos importantes sobre la situación de la vivienda en Managua, no proporciona datos técnicos sobre la estructura ni sobre otros factores de vulnerabilidad sísmica, razón por la cual fue necesario inferir, con base en algunos datos clave como el material de las paredes exteriores y de la cubierta, el sistema estructural del mismo. Un dato importante para relacionar toda la información catastral con la capa gráfica de edificios fue el SISCAT, código autogenerado que identifica a cada predio. La base de datos y la capa gráfica de edificios no corresponden exactamente, es decir, en el catastro es posible encontrar predio con SISCAT que no están representados en la capa gráfica, y viceversa. Fue necesario complementar ambas fuentes con el objeto de tener una base de datos bastante amplia como para confiar en que ella es representativa de Managua.

La intervención de expertos locales fue importante para establecer los tipos de estructuras más comunes en Managua, describiendo para cada una de ellas fortalezas y debilidades, de manera que, con base en ello, se pudieran proponer funciones de vulnerabilidad adecuadas. Los sistemas estructurales fueron descritos en detalle y se agruparon los sistemas con comportamiento estructural similar, quedando así definidos 17 de ellos para los análisis posteriores. Como parte de esta actividad se realizaron inspecciones a algunos edificios importantes de Managua para obtener información más exacta que la del catastro. Asimismo, en las inspecciones a los edificios se identificaron factores de la configuración estructural que atentan contra el buen desempeño de los mismos, aumentando su vulnerabilidad. Los edificios inspeccionados fueron los siguientes:

Tabla 1- 1: Edificios Inspeccionados

Edificio Central Telcor	Teatro Rubén Darío	Metrocentro
Aeropuerto Internacional de Managua	Estadio Nacional “Denis Martínez”	Plaza Inter.
Catedral de Managua	Vice-presidencia de la República	Mercado Oriental
Mercado Roberto Huembes	Mercado de mayoreo	Mercado Israel Lewites
Edificio de la Asamblea Nacional	Edificio Presidencia (Casa Presidencial)	
Cancillería de la República ¹	Centro de convenciones Crowne Plaza	Bomberos zona I
Dirección General de Bomberos ¹	Edificio Central del INSS	Palacio de Cultura
Edificio del Ministerio de Gobernación ¹	Edificio Zacarías Guerra	Palacio de Correos
Teatro Nacional Rubén Darío ¹	Antigua Catedral	Hotel Crown Plaza

¹ Edificios incluidos posteriormente para ser inspeccionados.

Para cada uno de estos edificios se llenó un formato expresamente diseñado para los fines del proyecto, y que sirvió para efectuar posteriores ajustes a los resultados de pérdidas.

Como ya se mencionó, el sistema estructural de una vivienda o edificio se infirió de datos como el material de las paredes exteriores. Esto no está exento de incertidumbres, y es probable que en algunos casos el sistema estructural determinado para un edificio en particular resulte equivocado. Por esta razón, y con el objeto de corroborar los datos del catastro, se trazó una estrategia de inspecciones a manzanas en Managua según la cual se inspeccionarían todas las construcciones de 10 manzanas (2 por cada distrito de Managua) seleccionadas en función de la diversidad de tipos estructurales presentes en ellas (de acuerdo a la determinación propuesta) o bien a la falta de datos en la base catastral. Estas manzanas fueron las siguientes (identificadas con su código SISCAT):

1003U210030
 1003U206065
 1003U304036
 1003U309024
 1003U414084
 1003U419023
 1003U502009
 1003U503020
 1003U604005
 1003U610070

Como resultado de las inspecciones realizadas, se pudo establecer que la principal fuente de errores en la determinación del sistema estructural es la incongruencia entre el contenido del catastro y lo realmente observado en el lugar. Los errores atribuibles a la forma en que se asigna el sistema estructural a partir del material de las paredes exteriores son prácticamente nulos, por lo que los resultados obtenidos con esta información podrán ser confiables en la medida en que la base de datos catastral sea fiel reflejo de las construcciones en Managua.

Paralelamente a las inspecciones se propusieron funciones de vulnerabilidad para los tipos estructurales que se consideraron para clasificar las construcciones en Managua. Las funciones de vulnerabilidad relacionan el daño estructural con alguna medida de la intensidad de un sismo o de la respuesta de la estructura al mismo. En el caso de este proyecto se propuso emplear como parámetro la distorsión de entrepiso, ya que numerosos trabajos coinciden en señalar que éste tiene una relación más estrecha con el daño estructural y no estructural que otras medidas de la respuesta de la estructura. La forma de la función escogida para las funciones de vulnerabilidad proviene de la probabilidad acumulada de una distribución de extremos, y tiene la siguiente forma funcional:

$$E(\beta/\gamma) = 1 - 0.5^\theta, \quad \theta = \left(\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}\right)^\rho \quad (1)$$

En donde β es la pérdida relativa que experimenta la estructura (toma un valor entre 0 y 1), γ es la distorsión de entrepiso de la estructura, $\bar{\gamma}$ es una distorsión de referencia y corresponde al valor para el que se presenta un 50% de pérdida, y ρ es un parámetro de la función y gobierna la pendiente de la curva de vulnerabilidad.

La forma de la gráfica es la mostrada en la Figura 1-2 se muestra la forma típica de estas funciones de vulnerabilidad, en la cual el eje de las abscisas son los valores normalizados de la distorsión de entrepiso respecto de $\bar{\gamma}$, y el eje de las ordenadas corresponde al valor esperado de las pérdidas.

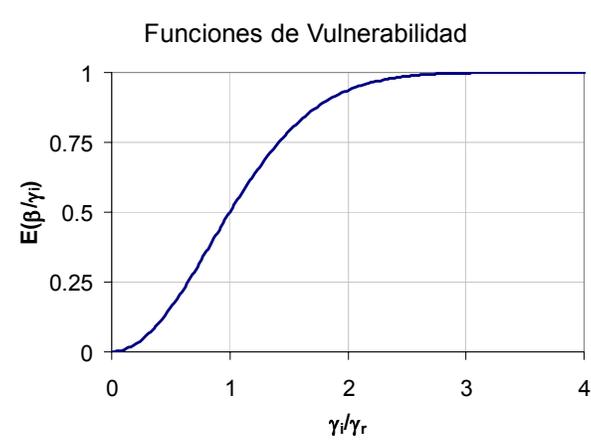


Figura 1- 2: Forma típica de una función de vulnerabilidad

La experiencia en otros países y el conocimiento de expertos locales sobre el comportamiento de las estructuras en Managua ante sollicitaciones sísmicas fueron la base para establecer valores de los parámetros $\bar{\gamma}$ y ρ para cada tipo estructural considerado en el análisis. En el Capítulo 3 de este informe se hace una descripción detallada de cada una de ellas.

Una vez completas las actividades correspondientes a la determinación de la amenaza sísmica y a la creación de la base de datos de edificios para el análisis de riesgo se procedió a determinar los escenarios para los cuales debían calcularse las pérdidas correspondientes. De acuerdo a los Términos de Referencia, se debía considerar 3 escenarios:

1. un sismo con periodo de recurrencia de 100 años
2. un sismo con periodo de recurrencia de 475 años
3. el sismo de diciembre de 1972

Debido a la peculiar situación de Managua, los sismos que pueden causar más daño son muy superficiales y su epicentro puede localizarse dentro o muy cerca de la ciudad (como ocurrió en 1972), las posibilidades para la selección de un sismo con las características mencionadas son amplias, por lo que se seleccionó la que, a juicio de los autores, puede ocasionar pérdidas mayores. El procedimiento propuesto para el cálculo de las pérdidas en Managua tiene en cuenta la distribución geográfica de las edificaciones, por lo que, de seleccionarse otro epicentro para los escenarios, se obtendría otra configuración de pérdidas en Managua. Los sismos seleccionados para el análisis son:

1. sismo de magnitud 6.10 longitud -86.29 latitud 12.04, cortical (100 años)
2. sismo de magnitud 6.10 longitud -86.19 latitud 12.13, cortical (500 años)
3. sismo similar al de diciembre de 1972, magnitud 6.25, longitud -86.27, latitud 12.15 (Earthquake Engineering Research Institute, 1973).

Los sismos se seleccionaron de manera que las pérdidas esperadas corresponden a los periodos de retorno exigidos por los términos de referencia. Aunque los sismos son identificados por la ubicación puntual de su epicentro (lo cual es una práctica común en sismología) esto no quiere decir que las estimaciones de pérdidas se hayan realizado a partir de la propagación del movimiento de un punto, sino que, tal como se explica en el Capítulo 4 (subcapítulo Integración Espacial) se considera que es una región (subfuente) a partir de la cual se propaga el movimiento. Es probable que, en el caso del escenario correspondiente al sismo de 1972, el área de ruptura (la subfuente) no corresponda necesariamente con lo observado en el pasado, lo que es atribuido al algoritmo empleado en este proyecto, y que en ningún caso invalida los resultados que se obtengan. Por otro lado, si bien la magnitud y la ubicación del epicentro son valores dados (por lo tanto deterministas) el carácter probabilista del modelo empleado

proviene de las otras fuentes de incertidumbre consideradas, como las leyes de atenuación y las funciones de vulnerabilidad, además de que, como ya mencionamos, el sismo no se genera en un punto espacial sino en un área, por lo que la distancia a la fuente no puede ser considerada como determinista.

Con todos estos datos se procedió a estimar las pérdidas para cada inmueble (con información disponible tanto en catastro como en capa gráfica) siguiendo la metodología descrita en el Capítulo 6, la cual puede describirse de forma muy simplificada como:

$$p = A * V * \$ \quad (2)$$

En donde p es la pérdida (relativa o absoluta si se multiplica por el precio, \$, del inmueble), A es la medida de la amenaza sísmica que enfrenta el inmueble en cuestión, y V es la vulnerabilidad de la estructura. Esto quiere decir que para que exista un valor de pérdida es necesario que A , V y $\$$ tengan valores no nulos.

El proceso de cálculo de pérdidas incluye las incertidumbres provenientes tanto de la actividad sísmica de las fuentes generadoras así como de las leyes de atenuación empleadas y las mismas funciones de vulnerabilidad, por lo que los valores que se reportan son valores esperados. Se obtuvo también la curva de distribución de probabilidad de la pérdida global.

Los resultados de pérdidas individuales se agregaron a la capa gráfica de edificios para obtener mapas de pérdidas, las cuales es posible visualizar a nivel de cada edificio, cada predio o cada manzana.

Una vez obtenidas las pérdidas para cada uno de los escenarios se estimó el número de víctimas fatales que cada uno de ellos ocasionaría. Para ello se siguió el procedimiento descrito en el Capítulo 3, que básicamente consiste en aplicar la siguiente fórmula:

$$NV_i = Ocupantes_i \times Atrapados (\%) \times Fatalidad (\%) \times FC_j \quad (3)$$

en donde los porcentajes de *Atrapados* y *Fatalidad* dependen del tipo de construcción, y FC se determina con la siguiente fórmula

$$FC = \begin{cases} \frac{p}{300} & p \leq 15\% \\ \sqrt{\frac{1}{20}(p - 14.94987)} & 15\% < p \leq 35\% \\ 1 & p > 35\% \end{cases} \quad (4)$$

Los resultados obtenidos están incluidos en la base de datos.

El estudio comprende los siguientes materiales:

1. Este informe final “Estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de Managua” en formato impreso y digital.
2. Mapas de riesgo (uno para el total del área de estudio y cinco mapas distritales).
3. Un CD con la base de datos empleada para el estudio.
4. Un CD con las presentaciones del taller realizado del 24 al 26 de mayo del 2005.

Capítulo 1. Introducción

El riesgo en un lugar específico se determina al relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de las construcciones. En esta parte del proyecto, que es su parte medular, se realizan los estudios para determinar la amenaza asociada a los distintos escenarios para los que se quiere determinar el riesgo. El estudio de amenaza sísmica se basa en estudios de actividad sísmica previos que tienen en cuenta las distintas fuentes generadoras de sismos en Nicaragua y que afectan de manera importante a la ciudad capital Managua.

La otra parte del estudio está encaminada a determinar funciones de vulnerabilidad que permitan relacionar el nivel de daño de un tipo de construcción con el nivel de amenaza asociado al periodo de retorno para el que se quiere calcular el riesgo. Cada construcción que se tome en cuenta debe tener asociada una función de vulnerabilidad. Además, se estableció un programa de inspecciones a inmuebles específicos que por su importancia deberían ser analizados en forma particular. Estos edificios son, entre otros, los edificios de la Presidencia y Vice-Presidencia, Asamblea Nacional, servicios elementales (salud, educación, agua potable, energía eléctrica, etc.), edificio central de Telcor, teatro Rubén Darío y el Aeropuerto Internacional de Managua.

Una vez determinados los dos componentes del riesgo, además de la base de datos catastrales proporcionada por la Alcaldía del Municipio de Managua, se realizaron los cálculos de riesgo para los distintos escenarios contemplados en el alcance de este proyecto.

Así también, con base en las pérdidas obtenidas del análisis de riesgo se estimaron las víctimas fatales asociados a cada uno de los escenarios.

El objetivo del estudio fue el de revisar toda la información sobre amenaza sísmica y vulnerabilidad estructural para construir escenarios de riesgo en Managua, y poder formular con ellos medidas de mitigación necesarias, y contribuir a la preparación para la respuesta en caso de desastre. El riesgo sísmico se representó con la pérdida que un inmueble sufrirá ante un evento sísmico futuro, y necesariamente involucra a la vulnerabilidad de la misma. Todo el planteamiento se ha desarrollado en un marco probabilista, por lo que los resultados presentados en este informe no pueden ser considerados una predicción de lo que ocurrirá en un evento similar a los estudiados, sino que deben entenderse como el valor medio de lo que puede ocurrir y que tiene asociado cierto nivel de incertidumbre. El planteamiento y el tratamiento que se hace de las incertidumbres involucradas se realizaron tomando en cuenta lo más avanzado del conocimiento actual, sin embargo, desarrollos e investigaciones futuras pueden contribuir a refinar estos resultados. Asimismo es necesario aclarar que el uso de los resultados presentados en este informe fuera del contexto del mismo y de los Términos de Referencia correspondientes no es responsabilidad de ninguna de las instituciones involucradas en el desarrollo de este estudio.

Capítulo 2. Inspección de edificios principales, manzanas y verificación de datos de catastro.

Para poder desarrollar un estudio de riesgo o vulnerabilidad, es necesario realizar inspecciones a algunos edificios importantes con el objeto de recabar información directa de algunos aspectos estructurales que permitan establecer la vulnerabilidad de estas construcciones ante la eventual ocurrencia de un sismo. La experiencia en el cálculo de pérdidas por terremoto en México, Colombia y Chile nos ha permitido identificar aspectos que afectan la vulnerabilidad de las estructuras, con las cuales se ha elaborado un formulario de inspecciones que se presentará más adelante. Es necesario hacer notar que las prácticas constructivas en Nicaragua pueden ser muy diferentes a las de México, Colombia o Chile, razón por la cual es indispensable que expertos locales aporten su conocimiento sobre aspectos propios de dichas prácticas que pudieran ser significativas para el cálculo de la vulnerabilidad de las estructuras y que se traduzca esto en un mejor cálculo del riesgo sísmico.

Además de las inspecciones a edificios importantes se realizaron inspecciones a algunas manzanas con el propósito de corroborar los datos del catastro (base de la estimación de pérdidas) e identificar algunos aspectos relevantes de las viviendas para el análisis de riesgo.

Inspección a edificaciones

El análisis de vulnerabilidad de la ciudad de Managua abarca el estudio de los edificios de viviendas y oficinas de particulares, edificios de gobierno, tendido de tuberías y otras obras de infraestructura. La información fue proporcionada por el catastro municipal de Managua, el cual condensa información de todos los inmuebles de la ciudad. Las redes de tuberías e infraestructura de agua y luz fueron proporcionadas por Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) en mapas SIG. Como complemento a esto, se realizaron inspecciones a edificios importantes de la ciudad para recabar mejor información sobre el sistema estructural y el estado de conservación del mismo con el único objetivo de eliminar incertidumbres sobre el sistema estructural. Estos edificios son:

- Edificio Central Telcor
- Teatro Rubén Darío
- Aeropuerto Internacional de Managua
- Estadio Nacional “Denis Martínez”
- Catedral de Managua
- Metrocentro
- Plaza Inter
- Edificios de la Presidencia y vice-presidencia de la República
- Edificio de la Asamblea Nacional
- Mercado Roberto Huembes
- Mercado Oriental
- Mercado Israel Lewites
- Mercado de mayoreo
- Otros centros importantes de comercio y de servicios (mercados, centros comerciales, cines, teatros, etc.)

Las fichas de inspección correspondiente a cada uno de estos edificios se encuentran disponibles en INETER.

Además, se inspeccionaron algunas viviendas que se consideren representativas de Managua, seleccionando algunas manzanas. Para ello, se estableció una estrategia para seleccionar manzanas o predios que optimicen la información que se obtendrá de las inspecciones.

Las instalaciones expuestas de la red de tendido eléctrico y de agua también se inspeccionaron para analizar su vulnerabilidad ante movimientos del terreno. La inspección se centrará básicamente en los transformadores y subestaciones eléctricas, así como en tanques y pozos de agua.

Formulario para la inspección de inmuebles

La vulnerabilidad de una estructura es la relación entre la intensidad del movimiento sísmico y el nivel de daño. La intensidad del movimiento se define con la ubicación del epicentro y la magnitud del sismo, así como con los efectos de sitio donde la estructura en estudio se encuentre. El daño total en una edificación se debe a la suma de los daños del inmueble o infraestructura, de los daños en elementos no estructurales como plafones, fachadas, muros no estructurales, entre otros, y daños en los contenidos. Este daño da como resultado una pérdida, denominada pérdida bruta. La descripción detallada de las funciones de vulnerabilidad se presenta en el capítulo 3 de este informe.

Existen, sin embargo, factores de vulnerabilidad presentes en algunas estructuras que no pueden incorporarse a las funciones de vulnerabilidad por tratarse de características propias y no generales. Estos factores incrementan el daño en una construcción y por lo tanto deben ser cuidadosamente determinadas con inspecciones visuales e, idealmente, de análisis de planos estructurales. Se realizaron inspecciones a diversos edificios con el objeto de determinar los factores de vulnerabilidad presentes en cada uno de ellos, y para ello se elaboró un formulario genérico en donde es posible incluir comentarios de las personas que realizaron la inspección respecto de otros factores no incluidos en el formulario. El formato utilizado es el siguiente:

FORMATO PARA INSPECCIONES A INMUEBLES

Fecha de inspección:

Responsable de la inspección:

Nombre del edificio:

DATOS DE LOCALIZACIÓN

Municipio:

Código SISCAT:

Distrito:

No. Manzana:

Coordenadas Geográficas:

No. de identificación del Predio:

Latitud

Longitud

DATOS TÉCNICOS DE LA ESTRUCTURA

Año de construcción:

Uso del inmueble:

Número de pisos:

Tipo de suelo:

Niveles de sótanos:

1. Roca 2. Firme 3. Blando 4. Desconocido

Si conoce el tipo estructural, escríbalo y pase a la siguiente sección:

¿El inmueble es industrial?

1. Sí 2. No

¿Tiene muros de concreto?

1. Sí 2. No

Tipo de trabes:

1. Coladas en sitio 2. Prefabricadas 3. Sin trabes

¿Tiene contraventeo?

1. Sí 2. No

Tipo de columnas:

1. Concreto 2. Acero 3. Sin columnas

Tipo de cubierta:

1. Ligera 2. Pesada

Separación de columnas (Claros):

1. Cortos (menor a 7 metros) 2. Medianos (entre 7 y 12 metros) 3. Largos (mayor a 12 metros)

¿Tiene muros prefabricados?

1. Sí 2. No

OTRAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

¿Existe sobrepeso dentro del edificio?

1. Sí 2. No

¿Se encuentra en esquina?

1. Sí 2. No

¿Irregularidad en elevación?

1. Nula 2. Poca 3. Mucha

¿Tiene columnas cortas?

1. Sí (Altura del pretil / Altura de entrepiso) > = 0.25

¿Irregularidad en planta?

1. Nula 2. Poca 3. Mucha

2. No

DAÑOS

¿Se puede golpear con otro edificio?

Separación mínima = 3 cm x No. Pisos (edificio de menor altura)

1. De menor altura 2. De igual altura 3. De menor y mayor altura 4. Sin golpeteo

¿Ha sufrido daños estructurales?

1. No 2. Sí, ligeros 3. Sí, severos

¿Los daños fueron reparados?

1. Sí 2. No

¿Tiene hundimientos diferenciales?

1. Sí Desplome: _____ cm.

2. No

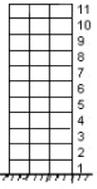
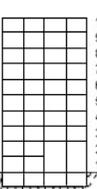
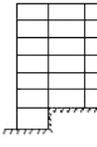
¿Ha sido reforzada la estructura?

1. Sí 2. No

Fecha del refuerzo:

Figura 2- 1: Formato para inspecciones a inmuebles

* Ver página siguiente

Número de pisos			Uso del inmueble			
			1 Almacén	11 Escuela	21 Museo	
11 pisos	10 pisos	7 pisos	2 Banco	12 Estacionamiento	22 Oficina Gubernamental	
			3 Biblioteca	13 Fábrica	23 Oficina Privada	
			4 Central de Comunicaciones	14 Funeraria	24 Restaurante	
			5 Central Eléctrica	15 Hangar	25 Servicios de Emergencia	
			6 Centro Comercial	16 Hospital	26 Terminal de Transporte	
			7 Comercio	17 Hotel	27 Tienda de Departamentos	
			8 Depósito de Sustancias Explosivas	18 Industria	28 Vivienda	
			9 Depósito de Sustancias Inflamables	19 Laboratorio	29 Otro	
			10 Depósito de Sustancias Tóxicas	20 Librería		

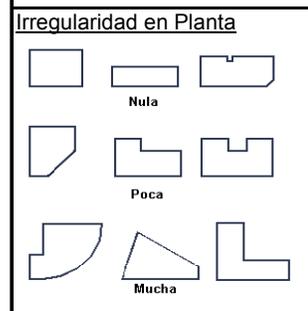
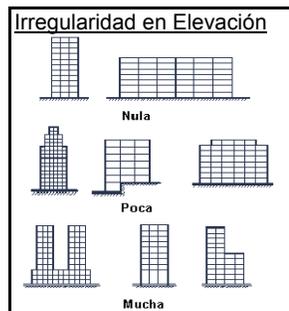
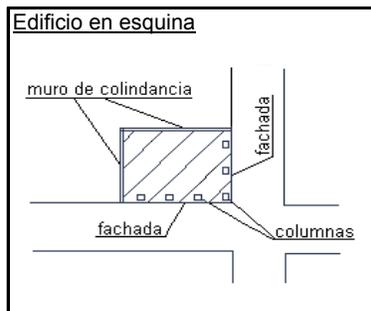
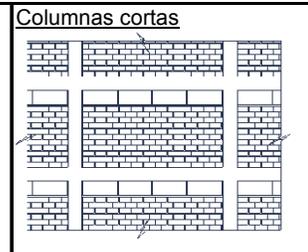
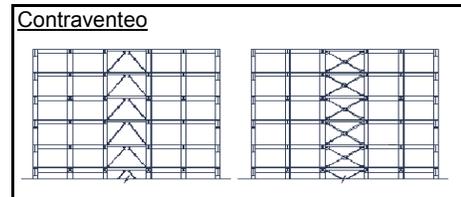
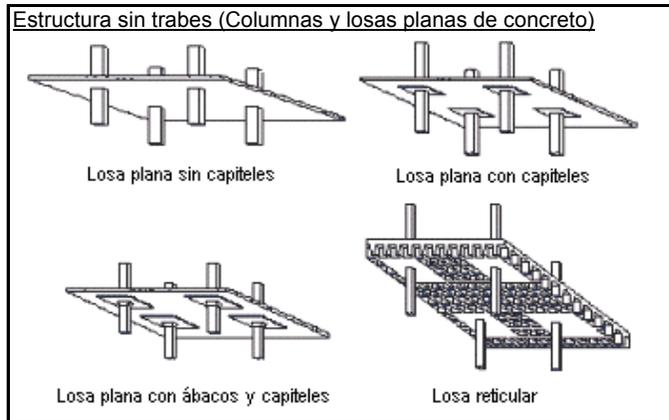


Figura 2- 2: Continuación de formato para inspecciones a inmuebles

Definición de campos Formato para inspecciones a inmuebles

Datos de la estructura

El siguiente grupo de datos permitirán determinar la vulnerabilidad de la estructura inspeccionada. El cálculo de riesgo se hará para dos tipos de edificaciones: industriales y no industriales, pero cada una de estas pudo haber sido construida con distintos tipos estructurales y tener características particulares que arrojarán un riesgo también distinto.

Existen dos grupos de datos que ayudarán a definir esta vulnerabilidad.

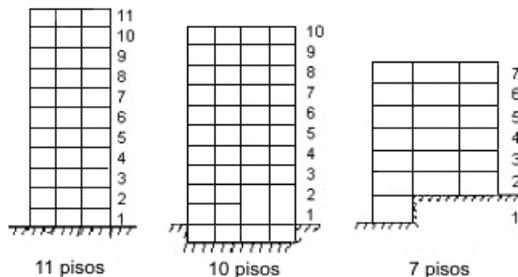
1. Datos técnicos para conocer el tipo estructural
2. Datos de otras características estructurales

El primer grupo aporta información para conocer el sistema estructural. Algunos ejemplos de estos sistemas son estructuras formadas por marcos de concreto, marcos de acero, losa plana, muros de concreto y muros de mampostería, y toda la variedad de vivienda popular, entre otros. El segundo grupo de datos brinda información adicional sobre algunas características particulares que definen con mucho mayor precisión el riesgo sísmico de la estructura en estudio. Algunos ejemplos de estas características son inmuebles que presentan irregularidad en planta y en elevación, si se encuentra en esquina, si presentan hundimientos diferenciales y si presentan sobrepeso, entre otros.

Datos técnicos para conocer el tipo estructural

Número de pisos (NUM_PISOS)

Corresponde al número de pisos que tiene el edificio que se quiere evaluar. El número de pisos se debe contar a partir de la planta baja, sin incluir sótanos. En caso de que el edificio se ubique en zonas con pendientes del terreno el número de pisos debe de contarse a partir del piso más bajo. Cuando existan mezanines se deben contar estos como pisos.



Tipo de inmueble (ES_INDUSTRIAL)

Se deberá especificar:

- (1) inmueble tipo industrial
- (2) inmueble no industrial

El objetivo de esta clasificación es distinguir aquellas edificaciones industriales cuyo sistema estructural, y por lo tanto su respuesta ante sismos, difiere de otras edificaciones residenciales o comerciales.

Residencial



Comercial



Algunas edificaciones típicas que podrían clasificarse como industriales son: fábricas, talleres, almacenes, bodegas y plantas de ensamble, entre otras. Algunas edificaciones de uso comercial pueden tener una estructura que pertenece a la clasificación de edificio industrial. Tal es el caso, por ejemplo, de tiendas de autoservicio cuyos locales están formados por estructuras de grandes claros de un solo nivel.



Edificaciones industriales

Uso del inmueble (EDI_USO)

Se debe seleccionar el uso principal del edificio de acuerdo a la Tabla 2- 1. Si en dicha tabla no se encuentra la opción exacta, se deberá seleccionar la que más se aproxime al uso de la estructura. La importancia de indicar el uso es porque el diseño de las estructuras está en función del mismo, por lo que el Sistema toma en cuenta las diversas consideraciones que se hicieron al diseñarse la estructura según su uso original.

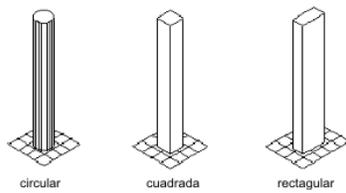
Tabla 2- 1. Uso de estructura

1	Almacén	11	Escuela	21	Museo
2	Banco	12	Estacionamiento	22	Oficina Gubernamental
3	Biblioteca	13	Fábrica	23	Oficina Privada
4	Central de Comunicaciones	14	Funeraria	24	Restaurante
5	Central Eléctrica	15	Hangar	25	Servicios de Emergencia
6	Centro Comercial	16	Hospital	26	Terminal de Transporte
7	Comercio	17	Hotel	27	Tienda de Departamentos
8	Depósito de Sustancias Explosivas	18	Industria	28	Vivienda
9	Depósito de Sustancias Inflamables	19	Laboratorio	29	Otro
10	Depósito de Sustancias Tóxicas	20	Librería		

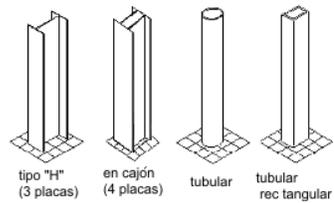
Tipo de columnas (EST_COLUMNS)

Se deberá especificar el material con que se construyeron las columnas de acuerdo al siguiente criterio:

- (1) columnas de concreto reforzado
- (2) columnas de acero
- (3) sin columnas



Columnas de concreto



Columnas de acero

Las columnas de concreto reforzado tienen sección rectangular, cuadrada o circular. La dimensión de su sección transversal es como mínimo de 20 cm y llega a tener hasta poco más de 1.0 m por lado. Las columnas de acero estructural pueden tener sección rectangular, cuadrada, circular o sección I o H. Normalmente están formadas por placas soldadas, aunque puede haber casos en que sean de perfiles comerciales.



Columnas de concreto reforzado



Columna de acero

En algunas ocasiones no será fácil distinguir el material de las columnas debido a los acabados que pueden rodear a las mismas o a la posible protección contra fuego que tienen las columnas de acero estructural. Es conveniente, en la medida de lo posible, levantar los plafones para observar la estructura principal y determinar los materiales con las que estén construidas.

Tipo de traveses (EST_TRABES)

Se deberá especificar la forma en que se construyeron las traveses:

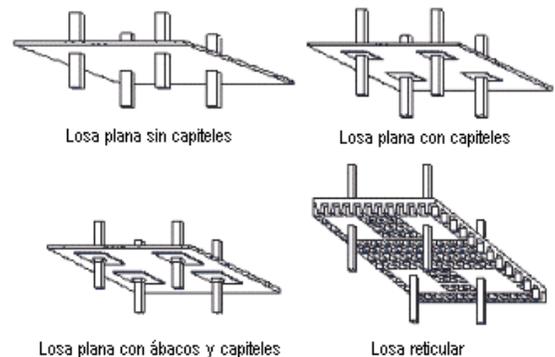
- (1) traveses colados en sitio
- (2) traveses prefabricados
- (3) no tiene traveses



Traveses prefabricados



Colados en sitio



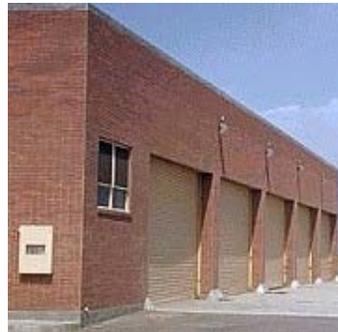
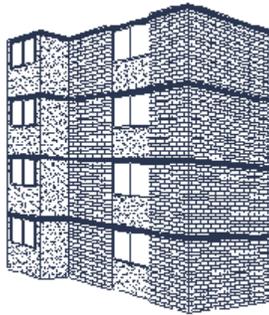
Estructuras sin traveses, de losa plana o reticular

Muros de carga (EST_MUROS)

- Se deberá especificar si el edificio:
- (1) sí tiene muros de concreto
 - (2) no tiene muros de concreto

Los muros de carga de una estructura pueden ser de mampostería (ladrillo o block) o de concreto. Estos muros proporcionan gran rigidez lateral, ayudando a un adecuado comportamiento estructural ante la acción de un sismo.

Para saber si los muros de carga son de concreto o de mampostería se debe localizar sitios en los que no se colocó el aplanado y el acabado tales como cubos de elevadores, escaleras y fachadas de colindancia. Se recomienda revisar los planos estructurales. En general, los edificios modernos y altos que tienen muros están hechos de concreto. Los edificios de baja altura (hasta cinco pisos aproximadamente) tendrán en general muros de mampostería. Asimismo, los muros de concreto tendrán espesores que podrán variar entre 15 y 25 cm, mientras que los muros de mampostería variarán entre 12 y 20 cm. En caso de duda se deberá seleccionar la opción 2 la cual indica que no tiene muros de concreto.

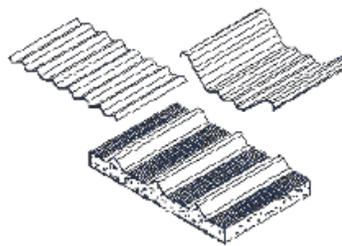


Estructuras de mampostería con muros de carga

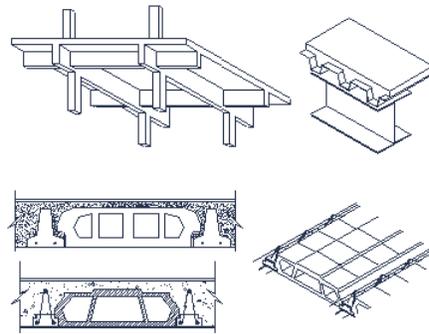
Tipo de cubierta (EST_CUBIERTA)

- Se deberá especificar el tipo de estructura:
- (1) cubierta ligera
 - (2) cubierta pesada

La cubierta se considera ligera si está construida por alguno de los siguientes elementos: lámina metálica, lámina translúcida, lámina de asbesto, sistemas prefabricados de láminas y aislantes térmicos y láminas engargoladas, entre otros. La cubierta se considera pesada si está construida a base de alguno de los siguientes elementos: losas de concreto, elementos prefabricados de concreto y láminas tipo losacero con capa de compresión de concreto, entre otros.



Cubierta ligera



Cubierta pesada

Longitud de los claros (EST_CLAROS)

- Se deberá especificar la longitud de los claros:
- (1) cortos
 - (2) medianos
 - (3) largos

Esta longitud será la distancia que exista entre elementos de apoyo vertical, tales como columnas y muros de carga. En la gran mayoría de los edificios se distinguen dos direcciones principales en la planta de los mismos, y la longitud de los claros generalmente es diferente en esas dos direcciones. Además, es posible que aún para la misma dirección existan diferentes longitudes. Para cada dirección, se debe escoger la longitud que sea dominante (la que más veces se repita) y la mayor de las dos longitudes dominantes será la longitud que se utilizará para llenar este campo.



Claros cortos



Claros medianos

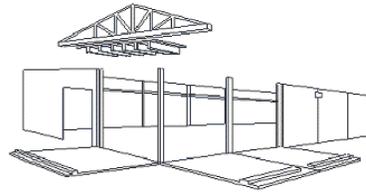
Una recomendación general para edificaciones industriales es tomar claros cortos como menores de 7 m, claros largos los mayores a 12 m y medianos los que se encuentran entre los dos anteriores.

Muros prefabricados (EST_MUROS_PRE)

- Se deberá especificar si los muros:
- (1) son prefabricados
 - (2) no son prefabricados

Las estructuras con muros prefabricados consisten en elementos perimetrales que se ligan entre sí mediante columnas de concreto reforzado coladas en el sitio o mediante columnas de acero estructural. Han sido utilizadas en edificaciones del tipo industrial y en edificaciones comerciales de pocos pisos.

La capacidad de estos muros para resistir cargas laterales por sismo no es tan eficiente como los muros de concreto colados en sitio, por lo que será importante no confundir las estructuras con muros prefabricados de este tipo con aquellas que tengan muros de concreto.



Estructura con muros prefabricados

Contraventeos (EST_CONTRAVENTEO)

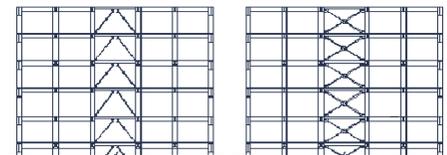
Se deberá definir si es:

- (1) estructura con contraventeos
- (2) estructura sin contraventeos

Se refiere a la existencia de contraventeos o diagonales de acero en estructuras de concreto o de acero. Estos elementos proporcionan gran rigidez y resistencia a la estructura, por lo que es importante identificar su posible existencia.

Por consideraciones de orden arquitectónico, es poco probable que estos contraventeos estén aparentes en la estructura, aunque en algunas edificaciones sí son visibles en fachadas o en el interior del edificio. Se pueden localizar en sitios donde no se hayan ocultado los contraventeos tales como cubos de elevadores o de escaleras, fachadas, divisiones de espacios y colindancias, entre otros. Otra opción para conocer si el inmueble tiene este tipo de elementos es consultar los planos estructurales.

*Edificación
con
contraventeo*



Datos de otras características estructurales

Columna corta (OTR_COLUMNS_CORTAS)

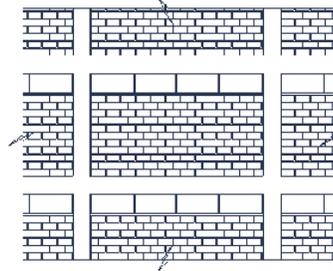
Se deberá definir si la estructura:

- (1) tiene columnas cortas,
- (2) no tiene columnas cortas

Se le llama columna corta a aquella cuya altura se reduce por la presencia de elementos arquitectónicos adosados a ella. Estos elementos arquitectónicos generalmente son pretilos, faldones o muros de media

altura que están ligados a la columna y pueden ser de mampostería (ladrillo o block) o de concreto. Generalmente las columnas cortas, si existen, se pueden identificar en las fachadas, aunque pudieran existir en el interior del edificio.

Columnas cortas



Para que una columna se clasifique como columna corta deberá haber una relación entre la altura del pretil y la altura del entrepiso mayor o igual que 0.25, es decir, la altura del pretil deberá ser de al menos una cuarta parte de la altura de la columna. Además, el pretil y la columna deberán estar en íntimo contacto. La existencia de columnas cortas en una estructura aumenta su vulnerabilidad considerablemente, por lo que será de vital importancia que se identifique su posible existencia, lo que puede resultar relativamente sencillo.

Sobrepeso (OTR_SOBREPESO)

- Se deberá definir si el edificio:
- (1) tiene sobrepeso
 - (2) no tiene sobrepeso

Las estructuras son diseñadas para un nivel de carga de acuerdo al uso que se le dará al inmueble. Sin embargo, algunos cambios en el uso durante su vida útil pueden implicar un cambio importante en la carga que se le impone a la estructura. Ejemplo de esto es el caso de un edificio que fue diseñado en los años 60 para oficinas y hoy se ocupa como bodega de almacenamiento de telas. Otra situación que implicaría sobrepeso es el de oficinas en las que existen archivos de papeles y documentos abundantes en gran parte del área del edificio y en los niveles superiores del mismo. Se deberá indicar que el inmueble tiene sobrepeso sólo cuando éste se encuentre en un área mayoritaria de su superficie.

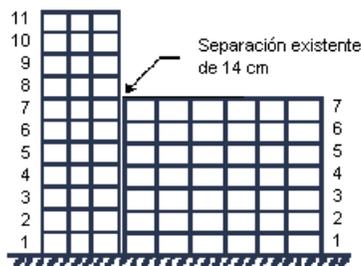


Edificaciones con sobrepeso

Posibilidad de golpeteo (OTR_GOLPETEO)

Se definirá si el edificio tiene posibilidades de golpeteo durante un sismo, de acuerdo a la escala mostrada en la figura siguiente. El golpeteo entre edificios puede causar daños importantes a uno o

ambos de los edificios que intervienen en el mismo. Para que estos no se golpeen entre sí durante un sismo intenso, la separación libre entre dos edificios debe ser aproximadamente 3 cm por cada piso en el edificio de menor altura. Si la separación libre entre ambos edificios es menor, se debe indicar al Sistema que sí existe la posibilidad de golpeteo del edificio con algún edificio vecino.



POSIBILIDAD DE GOLPETEO

- 1 Con edificios de menor altura
- 2 Con edificios de igual o de mayor altura
- 3 Con edificios de menor y mayor altura
- 4 No hay posibilidad de golpeteo

Para ejemplificar una manera de predecir si existirá golpeteo se muestra arriba una figura de dos edificios, uno de 11 niveles y otro de 7 niveles. La separación libre existente entre ellos es de 14 cm, pero se estima que el edificio pequeño tendrá un desplazamiento máximo de 7 niveles x 3 cm/nivel = 21 cm. Durante un sismo intenso, como la separación existente es de 14 cm, menor que 21 cm, entonces existe la posibilidad de golpeteo entre estos dos edificios.



Edificio dañado por golpeteo

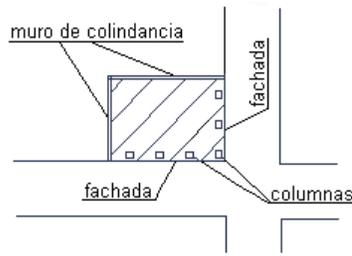


Edificios sin posibilidad de golpeteo

Edificio en esquina (OTR_ESQUINA)

- Se deberá definir si el edificio está:
- (1) ubicado en esquina
 - (2) no ubicado en esquina

Un edificio localizado en esquina es más vulnerable ante la acción de los sismos si los muros colindantes con las edificaciones vecinas son mucho más resistentes que los marcos de las fachadas y no están adecuadamente desligados unos de los otros. De ser así, se tendrá un edificio con una gran irregularidad en planta, produciendo torsiones y un comportamiento indeseable, sobre todo en las fachadas que son más flexibles y menos resistentes. Cuando el edificio en esquina es simétrico o tiene los muros colindantes adecuadamente desligados de la estructura principal se deberá contestar indicar 2 en este campo.



Edificio en esquina

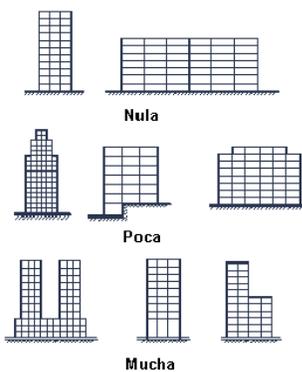
Irregularidad en altura (OTR_IRRE_ELEVACIÓN)

Se deberá especificar si el inmueble tiene, de acuerdo a su elevación:

- (1) irregularidad nula
- (2) poca irregularidad
- (3) mucha irregularidad

La estructura es más vulnerable cuando la distribución de los elementos resistentes en la altura del edificio no es uniforme. Configuraciones típicas que calificarían a un edificio con alta irregularidad en elevación son:

- Edificios con un primer entrepiso muy alto en comparación con el resto de los pisos.
- Edificios con un entrepiso cualquiera mucho más alto que el resto de los pisos.
- Edificios en los que se suspende la altura en algún nivel y no ha sido desligado del resto de la estructura.
- Edificios en los que elementos estructurales importantes (columnas o muros) se suspenden antes de llegar a la cimentación.



Nula

Poca

Mucha

Irregularidad en planta (OTR_IRRE_PLANTA)

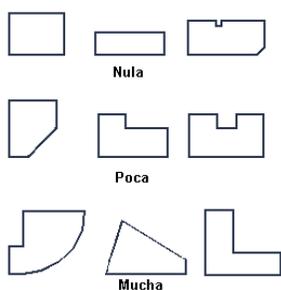
Se deberá definir si la irregularidad en planta del inmueble es:

- (1) nula
- (2) poca
- (3) mucha

Las estructuras simples, simétricas y regulares han presentado en términos generales mejor comportamiento que aquellas que no lo son. Bajo la acción de los sismos las estructuras irregulares y asimétricas tienden a presentar movimientos de torsión que causan daños severos.

La irregularidad en planta se refiere a una distribución asimétrica de los elementos resistentes (columnas, muros, contraventeos, etc.). En ocasiones puede tenerse una distribución simétrica desde el punto de vista arquitectónico, pero no lograrse una distribución simétrica de los elementos estructurales, como el caso de edificios en esquina. Configuraciones típicas con alta irregularidad en planta son:

- Edificios asimétricos (desde el punto de vista estructural)
- Edificios asimétricos por su forma en planta, como triangulares y con frentes curvos, entre otras
- Edificios muy alargados en planta. Se considera que un edificio es alargado (irregular) cuando la relación largo/ancho excede de 2.0
- Edificios con proyección en planta en forma de L, T, H o similares, en los que la proyección de la parte saliente excede el 20% de la dimensión total del edificio



Nula

Poca

Mucha

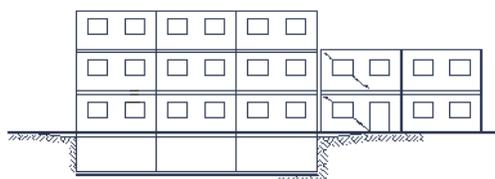
Hundimientos diferenciales (OTR_HUNDIMIENTOS)

- Se deberá definir si el inmueble:
- (1) tiene hundimientos diferenciales
 - (2) no tiene hundimientos diferenciales

Los hundimientos diferenciales generan efectos que pueden ser apreciables a simple vista ya sea por los desplomes de la estructura (inclinación con respecto a la vertical) o por agrietamientos diagonales en muros divisorios o muros de carga. Si los asentamientos son pequeños sólo afectarán a elementos no estructurales y acabados, con poca posibilidad de afectar la estabilidad de la estructura. Sin embargo, cuando los hundimientos diferenciales son grandes, y se aprecian a simple vista, sus efectos sobre los elementos de la estructura pueden ser considerables. Los hundimientos diferenciales son más probables en zona de suelos blandos y pueden ser producidos a causa de un sismo, como consecuencia de la construcción de una edificación vecina o por defectos de la cimentación.



Hundimientos diferenciales



Daños previos (OTR_DA_PREVIOS)

- Se deberá definir si el inmueble:
- (1) no tiene daños previos
 - (2) tiene daños previos ligeros
 - (3) tiene daños previos severos

Una estructura que se ha dañado durante algún sismo ha manifestado su gran vulnerabilidad. Existe una clara evidencia de que aquellos edificios que colapsan o que tienen daños graves durante sismos intensos, es porque ya se habían dañado durante sismos previos. En términos generales, será muy difícil identificar los daños estructurales de una edificación si es que ésta ha tenido un adecuado programa de mantenimiento. No obstante el buen mantenimiento no es señal de que la estructura vaya a tener un comportamiento satisfactorio en sismos futuros. Es posible encontrar indicios de daños previos en aquellos lugares o partes de la estructura que no se ven como muros de colindancia, ductos de instalaciones, cubos de escaleras o elevadores, sótanos y elementos estructurales tapados por plafones o acabados. La mejor manera de conocer si ha habido daños es preguntando a los dueños o ocupantes, aunque esta información está limitada a los años más recientes. Si no se identifican claramente señales de daño estructural por sismos previos, se deberá contestar con el número 1 en este campo.

Reparación (OTR_DA_REPARADO)

- Si ha habido daños previos se deberá indicar si estos:
- (1) sí fueron reparados
 - (2) no fueron reparados

Cuando una estructura ha sido dañada puede haber tenido reparaciones estructurales y no estructurales. En términos generales no será sencillo identificar el tipo de reparación que tuvo la edificación, aunque esto puede conocerse mediante la consulta de memorias de cálculo o realizando una inspección en sitios como muros de colindancia, ductos de instalaciones, cubos de escaleras o elevadores, sótanos, elementos estructurales tapados por plafones, etc. Si la reparación solo consistió en el resane superficial de grietas se deberá de contestar que no fueron reparados, es decir, con el número 2. Reparar implica proveer de nuevo a la estructura de su capacidad sismorresistente.

Reforzamiento (OTR_REFORZADA)

- Se deberá definir si la estructura:
- (1) sí ha sido reforzada
 - (2) no ha sido reforzada

Desde el punto de vista estructural, reforzar es un paso más que reparar. Reforzar implica modificar y mejorar las características sismorresistentes de la edificación.



Daños reparados

Fecha de construcción (EDI_FECHA_CONSTRUCCIÓN)

Se deberá especificar la fecha de construcción del inmueble. El año de construcción refleja indirectamente el reglamento de construcción que se empleó para su diseño y las prácticas constructivas imperantes en esos años. Con el paso del tiempo, los reglamentos de construcción han tenido

modificaciones importantes, especialmente para algunos tipos estructurales en lo relativo al diseño por sismo. Para conocer el año de construcción del edificio se puede preguntar al dueño o recurrir a los planos estructurales o arquitectónicos.



Definir fecha de construcción del inmueble

Fecha de reforzamiento (OTR_FECHA)

En caso de que la estructura haya sido reforzada, se deberá indicar la fecha en que se realizó el refuerzo ya que en ella se encuentra implícito el código o reglamento de construcción vigente durante el refuerzo.

Reporte de las inspecciones a edificaciones

Entre la segunda quincena del mes de agosto y las primeras tres semanas del mes de septiembre del 2004, se inspeccionaron los principales edificios de la ciudad capital. Esto con el objetivo de recabar información directa de aspectos estructurales y del estado de conservación de los mismos, para determinar su grado de vulnerabilidad ante la amenaza sísmica.

Edificios inspeccionados:

Edificio Central Telcor	Teatro Rubén Darío	Centro Com. Metrocentro
Aeropuerto Internacional de Managua	Estadio Nacional “Dennis Martínez”	Plaza Inter
Catedral de Managua	Vice-presidencia de la República	Mercado Oriental
Mercado Roberto Huembes	Mercado de Mayoreo	Mercado Israel Lewites
Edificio de la Asamblea Nacional	Edificio Presidencia (Casa Presidencial)	
Cancillería de la República	Centro de convenciones Crowne Plaza	Depto. de Bomberos zona I
Dirección General de Bomberos	Edificio Central del Instituto Nicaragüense	de Seguridad Social (INSS)
Palacio de Cultura	Edificio del Ministerio de Gobernación	Palacio de Correos
Edificio Zacarías Guerra (antiguo edificio de TELCOR)		Antigua Catedral
Teatro Nacional Rubén Darío	Centro de Convenciones Crown Plaza	

El trabajo se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Se consultaron los planos que se pudieron conseguir de algunos edificios, principalmente de los construidos recientemente (Foto 2- 1); aunque en algunos casos se pudo obtener incluso la documentación de algunos inmuebles construidos en la década de los sesenta del pasado siglo.
- Se revisó la literatura existente sobre los daños producidos a las edificaciones de Managua por el terremoto de 1972. En esta, se logró obtener además levantamientos y planos de algunos edificios de la época.

- En los casos en los que no se logró obtener información escrita se entrevistó a los profesionales del ramo y a personas que laboran desde hace muchos años en los edificios inspeccionados.
- Durante las inspecciones a los diferentes edificios fuimos acompañados por personal administrativo y de servicio, a los cuales se entrevistó con el fin de recabar información más detallada de la estructura y su estado de conservación.
- Para el caso de cada edificio inspeccionado, se llenó el formulario; además se documentó fotográficamente aspectos importantes como: estructuración, daños, estado de conservación, sobrepeso y otros considerados interesantes y que aportan a la evaluación de la vulnerabilidad.



Foto 2- 1

Aeropuerto Internacional de Managua

La actual terminal aérea internacional de Managua se ha construido en varias etapas. El primer edificio se construyó a finales de la década de los sesenta del siglo pasado, luego en 1997 lo que se conoce como la Primera Etapa de ampliación (Foto 2- 2), la Segunda Etapa en 2002 y la Tercera Etapa se encuentra actualmente en construcción (2005).

La parte mas vieja es un edificio de tres niveles diseñado en 1965 (Terán, 1973) con una estructura formada por columnas de concreto con capitel, losas planas y muros (Foto 2- 3). Durante el terremoto de 1972, sufrió daños ligeros que posteriormente fueron reparados. Fue reforzado en 1997 como parte de un programa integral de ampliación y reforzamiento del aeropuerto, y actualmente se encuentra en otro proceso similar. En ambas ocasiones se le han adosado a la estructura original muros de corte de concreto, además de otros tipos de refuerzo (Foto 2- 4). Tanto por la relación largo ancho del edificio, así como por su asimetría estructural, debe considerarse como muy irregular en planta para los fines establecidos en el estudio.



Foto 2- 2



Foto 2- 3



Foto 2- 4

La Primera Etapa de ampliación (construida en 1997) es un edificio regular tanto en planta como elevación de dos niveles. Su estructura se puede tipificar como de marcos de concreto reforzado. Es de destacar que a pesar de que existe separación entre pretilas y columnas en algunos casos el material compresible que se dejó como relleno se ha endurecido. La razón de esto se desconoce, pero es un aspecto que se debe tomar en cuenta debido a que pudiera presentarse efecto de columna corta (Foto 2-5).

La Segunda Etapa, construida en 2002, posee dos pisos y una estructura conformada por marcos de concreto con muros. Tiene además contravientos de acero, los cuales fueron adicionados al edificio en 2002 como refuerzo (Foto 2- 6).

La Tercera Etapa, actualmente en construcción, al igual que las demás ampliaciones posee dos pisos. Pero en este caso particular el edificio tiene un sótano. Su estructura la componen marcos de concreto reforzado con muros del mismo material (Foto 2- 7).

A excepción del edificio original, el cual tiene losa de concreto a nivel de techo, los demás tienen cubierta ligera de lámina metálica, sostenida por armaduras de elementos de acero (Foto 2- 8).

Todos los edificios, inclusive los módulos que componen cada etapa, están separados por medio de juntas (Foto 2- 9). Sin embargo, en algunos casos, a nivel de piso se aprecian muy reducidas (Foto 2-10). Es muy probable que esto solo sea en las baldosas y puede ser que las losas estén adecuadamente separadas, sin embargo, no se debe descartar la posibilidad de que se presenten daños, al menos no estructurales, durante sismos de mediana y alta intensidad debidos al golpeo entre edificios separados.

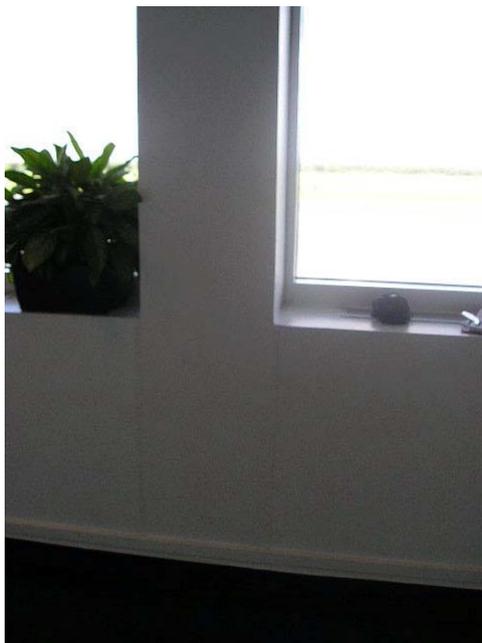


Foto 2- 5



Foto 2- 6



Foto 2- 7

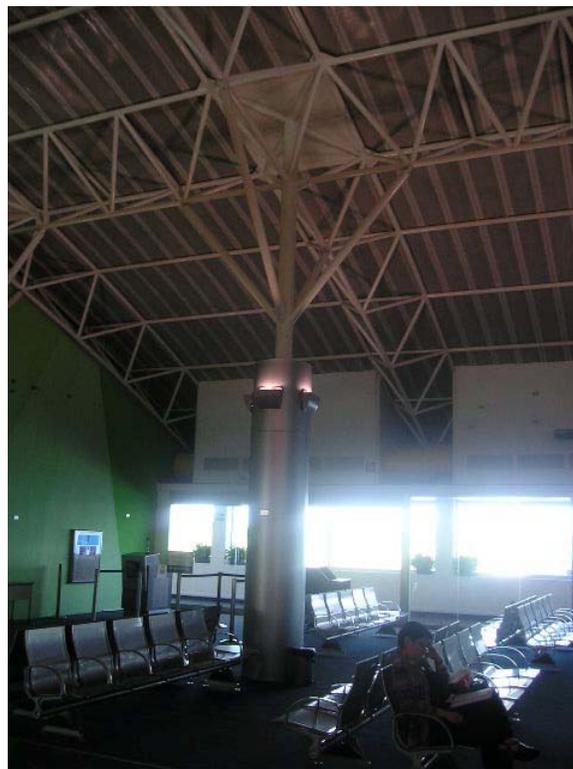


Foto 2- 8



Foto 2- 9

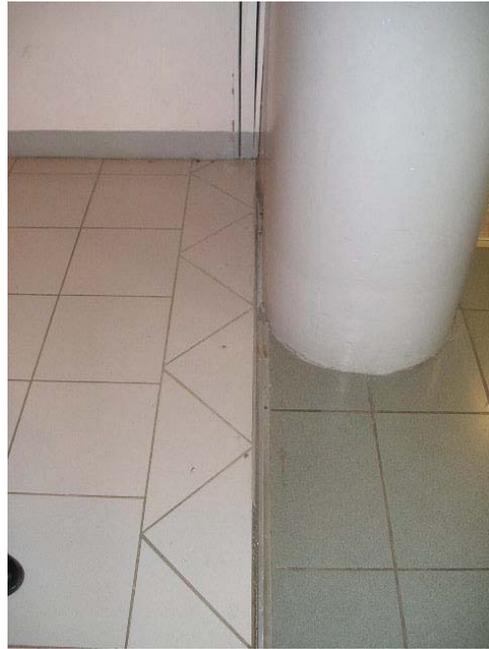


Foto 2- 10

Edificio Asamblea Nacional

La Asamblea Nacional está conformada por tres edificios principales: el antiguo Banco de América (Foto 2- 11), donde actualmente radican las oficinas de las diferentes comisiones y la biblioteca; el otrora Banco Nacional (Foto 2- 12), utilizado para las reuniones del plenario; y un tercero, en el que radican las oficinas de la Presidencia, Primer Vicepresidencia y Secretarías.

El primero de ellos es un edificio de dieciocho pisos y dos sótanos, construido en 1968. Su estructura está formada por un núcleo de concreto y losas planas unidas a columnas de concreto distribuidas en todo el perímetro de la edificación. Su planta tiene forma cuadrada y los elementos resistentes están distribuidos simétricamente, por lo que puede considerarse regular. No sucede así con la configuración en elevación, debido a que tanto la planta baja como el último nivel tienen doble altura, por lo que debe considerarse irregular. En la actualidad no todos los pisos del edificio están en uso, además de que no todos están siendo empleados para el fin que originalmente fueron diseñados. Tal es el caso del sexto piso, el cual está destinado a la biblioteca de la Asamblea Nacional y por consiguiente en él existe sobrepeso (Foto 2- 13). Además los pisos número doce y trece se emplean como bodegas en las que se almacenan desde mobiliario de oficinas hasta motores pesados (Foto 2- 14). Los niveles catorce y quince están libres. El cuarto de máquinas se ubica en el piso diecisiete.

Este edificio resistió los sismos del 23 de diciembre de 1972 y sufrió daños menores, algunos de los cuales al parecer fueron reparados en su momento (Foto 2- 15). Sin embargo, en la actualidad es posible ver en la estructura:

- Pérdida del recubrimiento en algunas de las columnas perimetrales y por consiguiente disminución de la sección transversal del acero de refuerzo tanto longitudinal como transversal producto de la corrosión. Existiendo casos críticos en los que la varilla se ha cortado (Foto 2- 16).
- Daños en columnas a nivel de la unión con la losa (Foto 2- 17).
- Grietas en losa, alrededor de la unión con columna (Foto 2- 18). Este patrón de daño se repite de una forma generalizada (Foto 2- 19) y probablemente aparecieron en el sismo del 72 y han seguido deteriorándose con los sismos posteriores.



Foto 2- 11



Foto 2- 12



Foto 2- 13



Foto 2- 14

El Plenario de la Asamblea Nacional funciona en un edificio construido en 1938, en el que originalmente radicó el Banco Nacional. Posee dos pisos y un sótano, además de un mezzanine que se le adicionó con posterioridad (Foto 2- 20). Su estructura se puede clasificar como de marcos y muros de concreto, con claros menores a siete metros. Tanto en planta como en elevación posee cierta irregularidad, acentuada por encontrarse en esquina. La estructura sufrió daños ligeros durante los sismos del 23 de diciembre de 1972, los cuales fueron reparados. Los resultados de la inspección indicaron que no fue reforzada.



Foto 2- 15



Foto 2- 16



Foto 2- 17



Foto 2- 18



Foto 2- 19

Las oficinas de la Presidencia, Vicepresidencia y Secretarías del Poder Legislativo, radican en un edificio construido en la década de los ochenta del pasado siglo (Foto 2- 21). Se trata de una estructura de tres pisos a base de marcos de concreto y muros (probablemente de concreto), con claros pequeños. En ella se destacan la presencia de columnas cortas (Foto 2- 22).

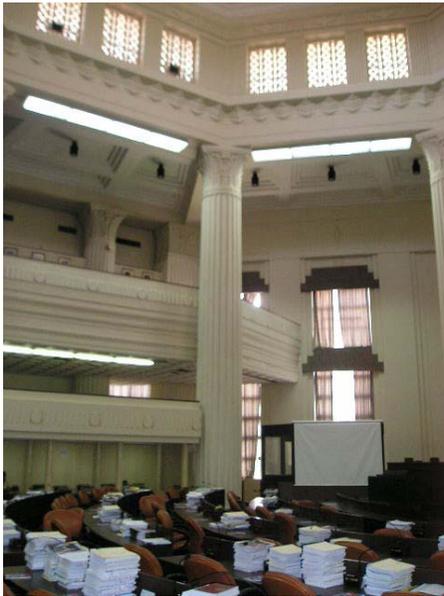


Foto 2- 20



Foto 2- 21

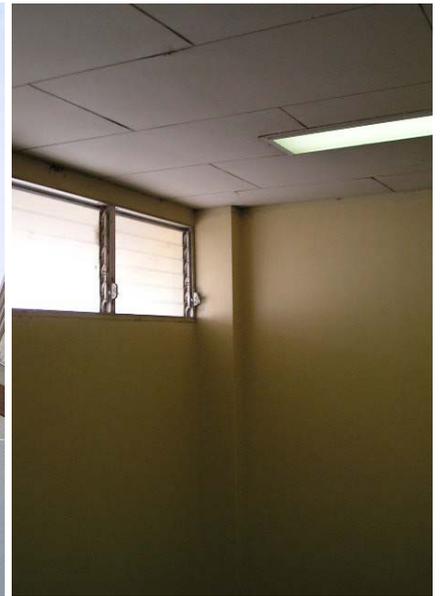


Foto 2- 22

Cancillería de la República

El edificio de la Cancillería de la República (Foto 2- 23) se terminó de construir en el año 2001 y cuenta con tres pisos y un sótano. Su estructura está compuesta por muros y columnas de concreto, a los que se unen vigas metálicas que soportan los entrepisos, conformados por un firme de concreto sobre lámina de acero.

A pesar de poseer una planta rectangular desde el punto de vista arquitectónico, estructuralmente es asimétrica. Posee además patio interno de considerables dimensiones (Foto 2- 24). Estos son elementos que le propician al edificio una respuesta sísmica poco conveniente.



Foto 2- 23



Foto 2- 24

Catedral de Managua

La Catedral de Managua (Foto 2- 25), cuya construcción se culminó en 1993, es una estructura monolítica de concreto reforzado en la cual predominan muros y vigas de gran peralte. Su configuración tanto en planta como elevación se puede considerar como muy irregular. Esto último, sumado a la complejidad de su arquitectura (Foto 2- 26) y a cambios drásticos de las dimensiones de elementos estructurales en los nodos (Foto 2- 27), pueden ser causantes de efectos indeseables ante sollicitaciones sísmicas.



Foto 2- 25



Foto 2- 26



Foto 2- 27

Centro de Convenciones Crowne Plaza

El Centro de Convenciones Crowne Plaza de dos pisos y dos sótanos, fue construido en el año 2000 (Foto 2- 28). Su sistema estructural está conformado por marcos y muros de concreto (Foto 2- 29). En el edificio es posible apreciar los aspectos que influyen negativamente en el comportamiento de éste ante excitaciones dinámicas, entre los que se destacan:

- Excentricidad en uniones de elementos estructurales (Foto 2- 30).
- Presencia de rampas y muros que provocan cambios bruscos de rigidez (Foto 2- 31).
- Columnas de doble altura (Foto 2- 32).



Foto 2- 28



Foto 2- 29



Foto 2- 30

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta es que a pesar que en el proyecto se concibió dejar separación entre este edificio y el de estacionamientos (ubicado contiguo a él), durante la construcción de los pisos no se tomó en cuenta esto por lo que puede haber golpeteo (Foto 2- 33).



Foto 2- 31



Foto 2- 32



Foto 2- 33

Departamento de Bomberos Zona 1

El Departamento de Bomberos Zona 1, además de disponer de un costoso y especializado equipamiento para la atención de emergencias (Foto 2- 34), es un edificio de gran importancia desde el punto de vista estratégico para enfrentar desastres. Tiene sede en un edificio tipo industrial, construido aproximadamente en 1980, cuyo sistema estructural está conformado por marcos metálicos.



Foto 2- 34



Foto 2- 35



Foto 2- 36

Entre los aspectos estructurales a destacar figuran:

- Muros de mampostería adosados a la estructura principal con posterioridad a la construcción del edificio, que restringen las columnas hasta la mitad de su claro (Foto 2- 35), produciendo diferencias drásticas de rigidez entre ellas.
- Presencia de columnas cortas en dormitorios de bomberos (Foto 2- 36), debido a lo descrito en el punto anterior.
- Deformación y daño excesivo en columnas debida al choque de los vehículos (Foto 2- 37). Es probable que esta columna no tenga ya reservas de resistencia estructural, por lo que la estructura en su conjunto es más vulnerable con la columna en ese estado.
- Daños graves en la estructura debido a la corrosión y escaso mantenimiento (Foto 2- 38).



Foto 2- 37



Foto 2- 38

Urge reparar y reforzar el edificio de bomberos, especialmente las columnas ya que podrían fallar y la cubierta colapsar lo que inhabilitaría este vital servicio en caso de un terremoto. Este punto, sin duda, merece una atención prioritaria de las autoridades con el objeto estar en posibilidad de atender la emergencia que se presentará luego de eventos sísmico de mediana y gran magnitud.

Dirección General de Bomberos

Las oficinas nacionales de la Dirección General de Bomberos radican en tres edificaciones construidas aproximadamente en 1980. Una de ellas está destinada a la Jefatura Nacional, la otra a las Oficinas de Prevención y el comedor, la tercera a las finanzas y el Puesto de Mando. Los tres edificios son de un nivel, con estructura a base de muros de mampostería confinada y cubierta ligera; a excepción del ambiente que ocupa el Puesto de Mando, sobre el cual hay una losa de concreto.

En los tres casos existen problemas de columna corta (Foto 2- 39). Además, el edificio que alberga las oficinas de finanzas y el Puesto de Mando presenta deterioro de la mampostería en la base, a la altura de la banqueta (Foto 2- 40). Una de las paredes exteriores de este mismo edificio, presenta grietas verticales de diferentes espesores, destacándose una que supera el milímetro y que indica una aparente separación con el muro ortogonal que se le une (Foto 2- 41).



Foto 2- 39



Foto 2- 40



Foto 2- 41

Edificio Central del Instituto Nicaragüense de Seguridad Social (INSS)

El edificio del INSS (o del Seguro Social), fue construido entre los años 1960 y 1961 (McLean, 1973). Se localiza en una zona donde el terremoto del 23 de Diciembre de 1972 causó gran destrucción. Durante estos sismos experimentó agrietamientos en losas y columnas, así como la caída de la caseta de elevadores, aparentemente causada por amplificación dinámica excesiva (Del Valle, 1973).

El edificio, en planta, tiene forma de T y cuenta con una torre de nueve niveles en la parte central y alas que ocupan un piso con altura equivalente a dos niveles (Foto 2- 42), además de un sótano y un pequeño subsótano. Esta configuración lo hace muy irregular tanto en planta como en elevación.

Originalmente fue una estructura de concreto con losa de tipo reticular, pero en el año 97 se reforzó mediante la adición de muros de corte en ambos sentidos y encamisado de las columnas de concreto (Foto 2- 43); construcción de vigas de acople entre los muros de corte longitudinales, adición de vigas de borde y de una sobrelosa de concreto reforzado en todos los niveles la cual sirve como un diafragma que une a todos los elementos estructurales.



Foto 2- 42



Foto 2- 43

Entre los aspectos que se destacaron durante la inspección, se pueden citar:

- En la azotea, adicional al diseño original y al proyecto de refuerzo, se construyó una estructura que está siendo utilizada como bodega donde se almacenan archivos (Foto 2- 44).
- Al centro del cubo de elevadores se aprecia una grieta vertical de aproximadamente 0.1 mm (Foto 2- 45) que sigue este mismo patrón desde el noveno al primer nivel. Según el personal de mantenimiento esta grieta se resana periódicamente pero siempre vuelve a aparecer.
- Se repite en todos los niveles una grieta de aproximadamente 0.3 mm y que corre desde la esquina superior del vano de puerta, ubicado junto al cajón de las escaleras centrales, hasta el entrepiso (Foto 2- 46).
- No existe separación entre la torre y las alas del edificio (Foto 2- 47).
- El piso de la azotea, de las alas del edificio, presenta múltiples grietas longitudinales (Foto 2- 48), las cuales pudieran ser el reflejo de fisuras en la losa.
- Las paredes de culata de las alas del edificio presentan grietas de aproximadamente 0.8 mm (Foto 2- 49).



Foto 2- 44



Foto 2- 45



Foto 2- 46

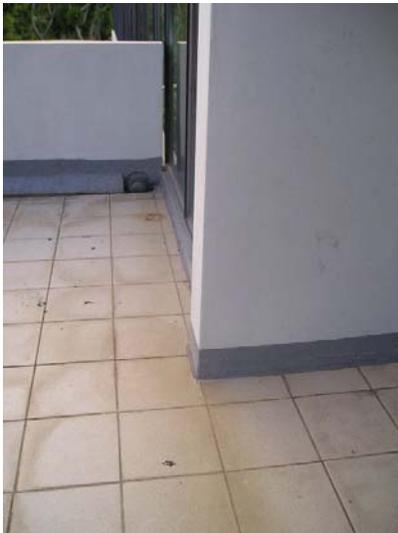


Foto 2- 47



Foto 2- 48



Foto 2- 49

Recomendamos mover la bodega de la planta alta de INSS porque sus contenidos sufrirán grandes daños aún ante sismos de mediana intensidad.

Edificio del Ministerio de Gobernación

Actualmente el Ministerio de Gobernación ocupa el antiguo Edificio de ENALUF, diseñado en 1968 (Hanson et. al., 1973), con seis pisos y un sótano. Su estructura está compuesta por núcleos rígidos de concreto, combinados con marcos del mismo material (Foto 2- 50). El entrepiso lo forman viguetas pretensadas y bovedillas de concreto (Foto 2- 51).

A causa de los sismos de 1972 tuvo agrietamiento en las columnas del primer nivel así como en las losas de varios pisos, las cuales no tuvieron capacidad suficiente para transmitir las fuerzas sísmicas a los núcleos (Del Valle, 1973). Luego de esto la estructura fue reparada y se ocupó de nuevo rápidamente; sin embargo, no ha sido reforzada. En la actualidad presenta, en algunos de los elementos de fachada, pérdida de recubrimiento y corrosión del refuerzo (Foto 2- 52). Además de esto, en algunos sectores del edificio existe humedad constante, la que puede traer como consecuencia deterioro de los elementos

estructurales (Foto 2- 53). En el sótano existe una estructura metálica, anexada al edificio posterior a su construcción, que presenta signos de corrosión muy avanzada (Foto 2- 54).



Foto 2- 50



Foto 2- 51



Foto 2- 52



Foto 2- 53



Foto 2- 54

Edificio Central TELCOR

El Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, tiene su sede actual en un edificio de cuatro niveles (Foto 2- 55) construido en el año 2000. La estructura está constituida por muros de concreto a los que se unen traveses y vigas metálicas que soportan los entresijos formados por un firme de concreto sobre lámina de acero. Es de destacar que en uno de los muros del edificio se presenta una grieta diagonal en un solo sentido que atraviesa la pared de un lado a otro (Foto 2- 56) que probablemente se deba a asentamientos que de no ser muy grandes no causarán problemas a la estructura.



Foto 2- 55



Foto 2- 56

Edificio Zacarías Guerra (antiguo edificio TELCOR)

El edificio Zacarías Guerra (Antiguo edificio TELCOR) fue diseñado en 1966 (Foto 2- 57). Su estructura, de ocho pisos, está compuesta por marcos de concreto con un solo claro en sentido transversal. Posee algunos muros de mampostería, los cuales se concentran principalmente en la zona de escalera y elevadores situada en el extremo oeste del edificio, proveyendo al edificio de una gran irregularidad en planta. En elevación, también presenta mucha irregularidad debido a que parte de la planta baja tiene doble altura.

Durante el terremoto de 1972 sufrió daños severos los cuales, al parecer, fueron mal reparados, tal como se pudo inferir de la inspección. La estructura no ha sido reforzada y en la actualidad presenta daños.

Entre los aspectos que se destacaron se puede mencionar:

- Degradación debido a la humedad (Foto 2- 58).
- Grietas generalizadas en paredes (Foto 2- 59).
- Grietas en elementos estructurales reparados inadecuadamente que con el tiempo han vuelto a aparecer (Foto 2- 60).
- Fisuras en losa de entrepiso (Foto 2- 61).
- Secciones variables en elementos debido al parecer a reparaciones en las cuales se aumentaron en algunas partes (Foto 2- 62).



Foto 2- 57



Foto 2- 58



Foto 2- 59



Foto 2- 60



Foto 2- 61



Foto 2- 62

Estadio Nacional Denis Martínez

Construido en 1948, el Estadio Nacional Denis Martínez (Foto 2- 63) es una estructura compuesta por marcos de concreto con claros pequeños y muros de mampostería. Por las características propias de su uso, es muy irregular tanto en planta como en elevación. Sufrió daños graves en el terremoto del 23 de Diciembre de 1972, los cuales fueron reparados posteriormente; sin embargo no ha sido reforzado.

En la actualidad el estadio presenta múltiple deterioro en su estructura, además de aspectos desfavorables para un adecuado comportamiento ante sollicitaciones sísmicas. Entre ellos:



Foto 2- 63



Foto 2- 64



Foto 2- 65

- Pérdida de recubrimiento y corrosión del refuerzo, con pérdida de la sección del mismo en losas y graderías (Foto 2- 64). Este daño es generalizado en todo el estadio.
- Elementos de concreto que fueron construidos sin un correcto vibrado, lo que trajo como consecuencia oquedades en los mismos (Foto 2- 65).
- Muros que restringen columnas hasta la mitad de su altura (Foto 2- 66).
- Columnas cortas en fachada (Foto 2- 67).
- Discontinuidad entre elementos estructurales (Foto 2- 68).
- Daños inadecuadamente reparados.



Foto 2- 66



Foto 2- 67



Foto 2- 68

Mercado Israel Lewites

El Mercado Israel Lewites se construyó entre los años 1979 y 1980. Está compuesto por varias naves tipo industrial con claros pequeños cuya estructura la conforman marcos en una dirección de elementos de concreto prefabricado (Foto 2- 69).



Foto 2- 69

Mercado de Mayoreo

Construido a finales de la década de los setentas y principios de los ochentas del pasado siglo, es uno de los más importantes de Managua. Su estructura la componen columnas de concreto y vigas de acero (Foto 2- 70).

Las paredes exteriores de mampostería están unidas a las columnas hasta más de la mitad de su altura, dando la posibilidad de que se presente el efecto de columna corta (Foto 2- 71).



Foto 2- 70



Foto 2- 71

Mercado Roberto Huembes

La construcción del Mercado Roberto Huembes se concluyó en 1979. El edificio lo constituye una gran nave tipo industrial con estructura a base de marcos metálicos.

Se destacan varios aspectos que influyen negativamente en su vulnerabilidad estructural ante la amenaza sísmica, entre los que se pueden citar:

- Columnas muy deterioradas producto de la corrosión (Foto 2- 72).
- Muros y losas adosados a columnas (Foto 2- 73).
- Diferencia en altura de columnas (Foto 2- 74).

Los dos últimos aspectos pueden provocar concentraciones de esfuerzos que incrementan la posibilidad de fallas locales.



Foto 2- 72



Foto 2- 73



Foto 2- 74

Centro Comercial Metrocentro

El Centro Comercial Metrocentro ha sido construido en varias etapas. Una primera en 1974 (Foto 2- 75), la cual posee una estructura a base de muros de mampostería de un piso. La segunda, inaugurada en 1998 (Foto 2- 76), se eleva dos niveles por medio de marcos de concreto reforzado y muros. Y una tercera etapa, construida en este año (actualmente en etapa de acabados), conformada por tres edificios con estructura compuesta por marcos de concreto reforzado y muros. De esta última etapa, uno de los edificios servirá para estacionamiento de vehículos. Los otros dos, el Ancla (Foto 2- 77) y el de Módulos (Foto 2- 78), de tres y dos pisos respectivamente se destinarán al comercio.

Un aspecto a destacar es la discontinuidad de elementos (columnas) en el segundo piso de la segunda etapa (Foto 2- 79).



Foto 2- 75



Foto 2- 76



Foto 2- 77



Foto 2- 78



Foto 2- 79

Palacio de Correos

Construido en 1942, el Palacio de Correos y antiguo Palacio de Comunicaciones (Foto 2- 80) es un edificio cuya estructura está compuesta por marcos de concreto y muros (Foto 2- 81). Originalmente tuvo tres pisos y un sótano, pero en 1972 (antes del terremoto) se le adicionó otro piso, por lo que en la actualidad cuenta con cuatro pisos (Foto 2- 82). Además del nivel adicional, en la planta baja se construyó (en 1996) un mezzanine.



Foto 2- 80



Foto 2- 81



Foto 2- 82

A raíz de los sismos del 23 de diciembre de 1972 sufrió daños. La parte original tuvo fallas por cortante en paredes exteriores y el piso adicional tuvo daños severos (Meehan et. al. 1973). Los daños fueron reparados pero el edificio no fue reforzado.

En la actualidad el inmueble presenta grietas en entrepisos (Foto 2- 83 y Foto 2- 84). Además en el sótano se aprecia deterioro del concreto producido por la humedad (Foto 2- 85).



Foto 2- 83



Foto 2- 84



Foto 2- 85

Palacio de Cultura

El Palacio de Cultura (Foto 2- 86), antiguo Palacio Nacional, fue construido entre 1931 y 1936. Su estructura está conformada por marcos y muros de concreto (Foto 2- 87) con contravientos metálicos, estos últimos fueron adicionados durante un reforzamiento que se le hizo al inmueble en 1996 (Foto 2- 88).



Foto 2- 86



Foto 2- 87



Foto 2- 88

En un inicio, el edificio contó con dos pisos y un sótano; luego en los años noventa se construyeron oficinas en la azotea. Además en el segundo piso se anexaron mezzanines que se emplean para biblioteca y archivos.

Algunos aspectos a destacar son:

- Cambios en el uso, lo que se traduce en cargas adicionales en biblioteca (Foto 2- 89) y archivos en el segundo piso, además de oficinas en azotea.
- Comienzan a aparecer señas de deterioro en columnas (Foto 2- 90).
- Defectos en la fijación de los contravientos durante la construcción (Foto 2- 91)



Foto 2- 89



Foto 2- 90



Foto 2- 91

Plaza Inter

El edificio Plaza Inter (Foto 2- 92) fue construido en 1998. Su estructura la componen marcos de acero y muros de concreto (Foto 2- 93).

Durante la inspección se pudieron apreciar varias grietas en los muros exteriores del inmueble (Foto 2- 94). Además, es necesario resaltar, que a pesar de que se dejó separación entre el edificio y los

construidos a su alrededor (Plaza Maya y Centro de Convenciones), los pisos se construyeron sin tomar en cuenta este detalle (Foto 2- 95 y Foto 2- 96), lo que podría traer problemas a la hora de una excitación sísmica.



Foto 2- 92



Foto 2- 93



Foto 2- 94



Foto 2- 95



Foto 2- 96

Edificio de la Presidencia

La Casa Presidencial (Foto 2- 97), fue construida en el año dos mil. Su estructura principal la componen muros de concreto y consta de tres pisos. El entrepiso está conformado por losa de concreto reforzado soportado por vigas y traveses de ese mismo material (Foto 2- 98).



Foto 2- 97



Foto 2- 98

Teatro Nacional Rubén Darío

El Teatro Nacional Rubén Darío (Foto 2- 99), diseñado en 1964 (Terán, 1973), se construyó entre los años 1966 y 1969. Es un edificio con una estructura compuesta por marcos y muros de concreto (Foto 2-100), además de muros de mampostería (Foto 2- 101). Los entresijos están conformados por un entramado de viguetas pretensadas, bovedillas y un firme de concreto sobre éstas (Foto 2- 102). Tiene tres sótanos, cinco pisos y una torre para la tramoya de aproximadamente tres niveles.



Foto 2- 99



Foto 2- 100



Foto 2- 101

El edificio logró sobrevivir al terremoto de 1972 con daños ligeros que fueron reparados en su momento. En la actualidad se aprecian algunos vestigios de esas reparaciones como inyecciones epóxicas en elementos de concreto (Foto 2- 103). Sin embargo, la estructura no fue reforzada, o al menos no se tiene conocimiento de ello.



Foto 2- 102



Foto 2- 103



Foto 2- 104

Algunos aspectos a destacar que resaltaron durante la inspección son:

- Grietas con espesor entre 0.4 mm y 0.6 mm siguiendo un patrón en "X" en muro de tramoya. Al parecer estas grietas han sido resanadas en el pasado pero han vuelto a aparecer.
- Grietas en diagonal en muros interiores del edificio con espesor entre 0.5 mm y 0.6 mm.
- Grietas en unión de losa con muro en ambos elementos.
- Grietas en piso de lobby (Foto 2- 104).

Vice Presidencia de la República

El edificio que alberga las oficinas de la Vice Presidencia de la República (Foto 2- 105), tiene una estructura compuesta por marcos de concreto y muros. Tiene en planta forma de "L", con una de las alas de tres pisos y la otra de dos. Según el personal de administración, cada una de ellas fue construida en épocas diferentes, pero antes del 23 de diciembre de 1972. Se conoce que durante el terremoto de 1972 el inmueble sufrió daños que fueron reparados. Según la administración del edificio también fue reforzada la estructura en esa misma década.



Foto 2- 105



Foto 2- 106

A pesar de que al parecer entre los dos módulos que componen el edificio se dejó separación, no consideramos que sea la necesaria para evitar golpeteo entre ellos. En la actualidad ya se observan consecuencias de esto (Foto 2- 106), las cuales fueron confirmadas en las entrevistas realizadas a los ocupantes.

Hotel Crown Plaza

Es una estructura de marcos de concreto reforzado. Sufrió daño ligero durante el sismo del 72. Presenta una gran irregularidad en elevación por su forma piramidal, además de contar con planta baja débil por la ausencia de muros.

Hotel



Foto 2- 107

Restaurante exterior



Foto 2- 108

Antigua Catedral

Se encuentra muy dañada por el sismo del 72 y con gran deterioro. Su resistencia sísmica es casi nula y es muy probable que colapse por completo aún ante sismos de mediana intensidad.



Foto 2- 109



Foto 2- 110

Es necesario hacer algo con la vieja catedral ya que no resistirá un sismo de mediana intensidad. El valor que tiene para la ciudad es incalculable, y su pérdida total será muy lamentable y será un duro golpe emotivo para la población.

Inspección a líneas vitales

Las Instalaciones Básicas o Líneas Vitales son el conjunto de sistemas que proporcionan y conducen el suministro de los elementos primordiales para el funcionamiento de una ciudad y para la supervivencia de sus habitantes. Entre estas se encuentran las líneas de generación y distribución de energía eléctrica, el suministro de agua potable, la red de comunicaciones, la de evacuación de aguas servidas, entre otras. Desde el punto de vista sísmico, las redes más propensas a sufrir daño, y por lo tanto, a dejar de funcionar son las que distribuyen la energía eléctrica y el agua potable y en mucho menor escala los sistemas de drenaje y alcantarillado.

El sistema urbano de distribución de agua potable en Managua está constituido principalmente por tanques y la red de tubería para distribución de la misma. Dentro del área de estudio, se encuentran aproximadamente 8 tanques de agua (de un total de 71 tanques).

El cálculo del riesgo sísmico aproximado de líneas vitales incluidos los tanques y torres de conducción es, para algunos casos, relativamente simple, pero para otros puede ser muy complejo y lleno de incertidumbres. En ninguna de estas dos circunstancias pensamos que las inspecciones nos arrojen mejor información de la que tenemos a partir de los datos disponible. Por ello, la estimación del riesgo, como se indica en el capítulo 3, se hará con la información ya disponible. En las figuras 2-3 y 2-4 se ilustra la ubicación de los sistemas descritos que son los que se utilizarán para el cálculo del riesgo sísmico.

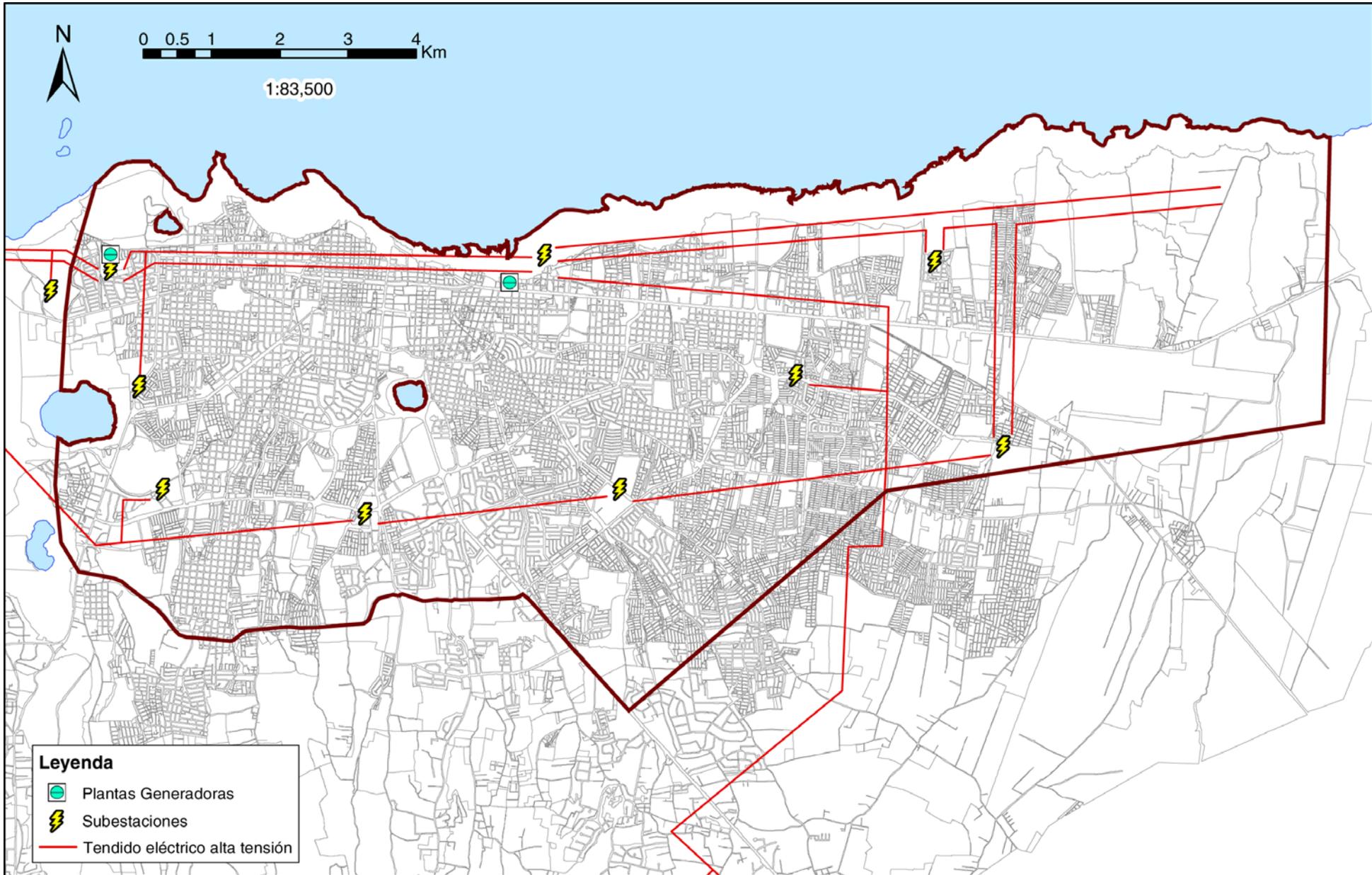


Figura 2- 3: Sistema de Distribución de Energía Eléctrica

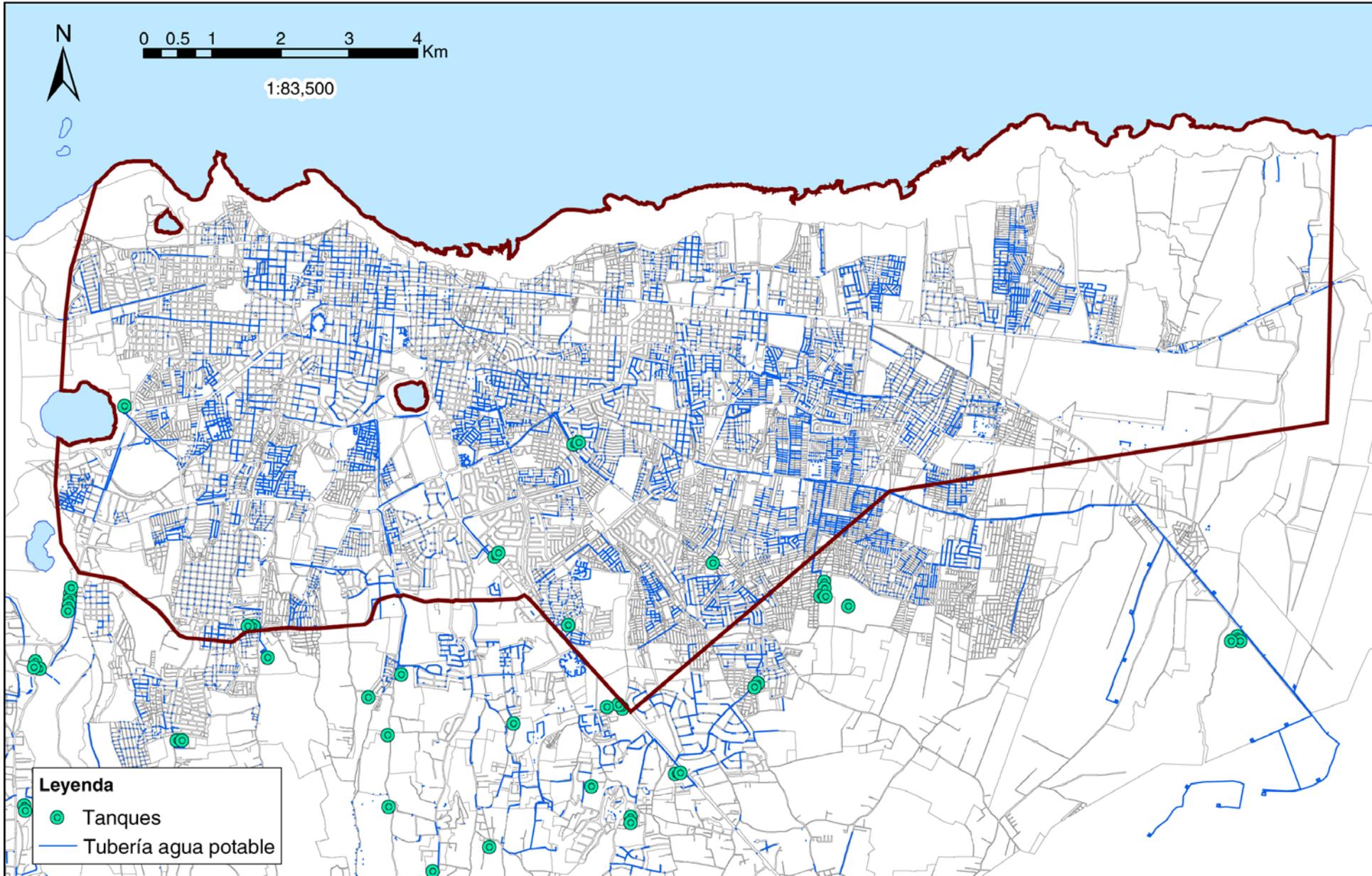


Figura 2- 4: Sistema de Distribución de Agua Potable

Inspección a manzanas de vivienda

Con el objeto de corroborar la información suministrada por el catastro municipal y obtener datos técnicos sobre el sistema estructural de las construcciones de Managua, se realizaron inspecciones visuales a diez manzanas de la ciudad.

Se seleccionaron dos manzanas por cada uno de los distrito de Managua (2, 3, 4, 5 y 6). Una fue escogida en función de la diversidad de sistemas estructurales presentes en ella, según los datos del catastro. La otra se seleccionó aleatoriamente.

Durante la inspección se recabó información relativa a:

- i) material de paredes exteriores
- ii) número de niveles
- iii) material de la cubierta
- iv) uso predominante
- v) número de ocupantes
- vi) horarios de mayor ocupación
- vii) sistema estructural
- viii) material de entrepiso

En las tablas 2-2 a 2-11, que aparecen en las páginas siguientes se presentan los resultados de las inspecciones realizadas, y en las últimas tres columnas (sombreadas) se les compara con los datos con los que se cuenta para realizar la evaluación del riesgo sísmico. Estos datos son el Código (SISCAT) asociado a cada predio, el sistema estructural que se infiere por el material de los muros, y el material de los muros exteriores registrado en el catastro. La clave “S” significa que lo observado en el campo concuerda con la información proveniente del catastro, y la clave “N” indica que existen discrepancias (en algunos casos se incluye entre paréntesis lo que está indicado en el catastro). En la columna correspondiente a “muros catastro” se indica el contenido del catastro para ese predio en particular únicamente en los casos en que el sistema estructural no coincida.

Se presentan resúmenes de lo observado contra lo inferido del catastro con el objeto de tomar decisiones sobre la validez y precisión de los datos con los que se realizó todo el análisis de riesgo sísmico de Managua.

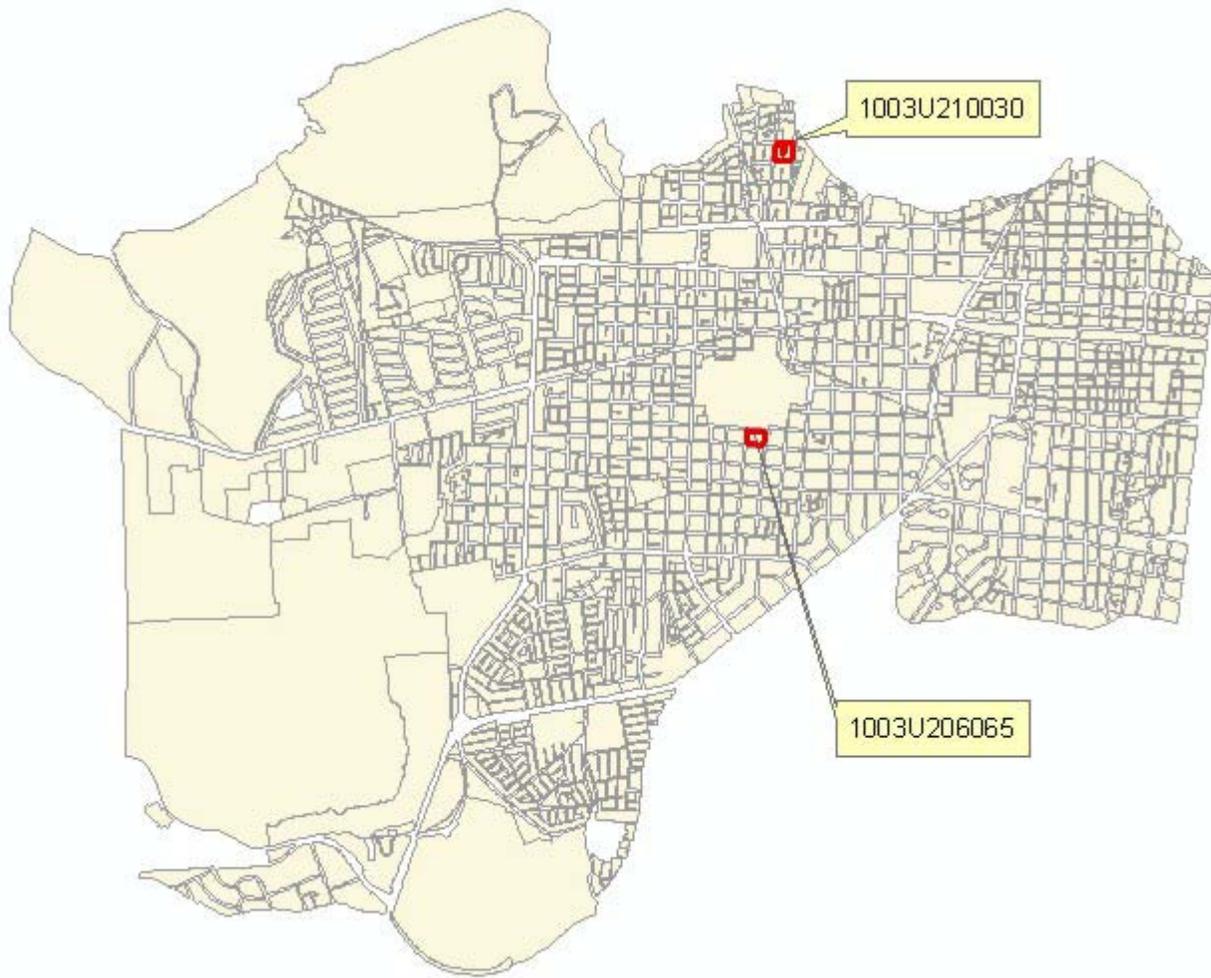
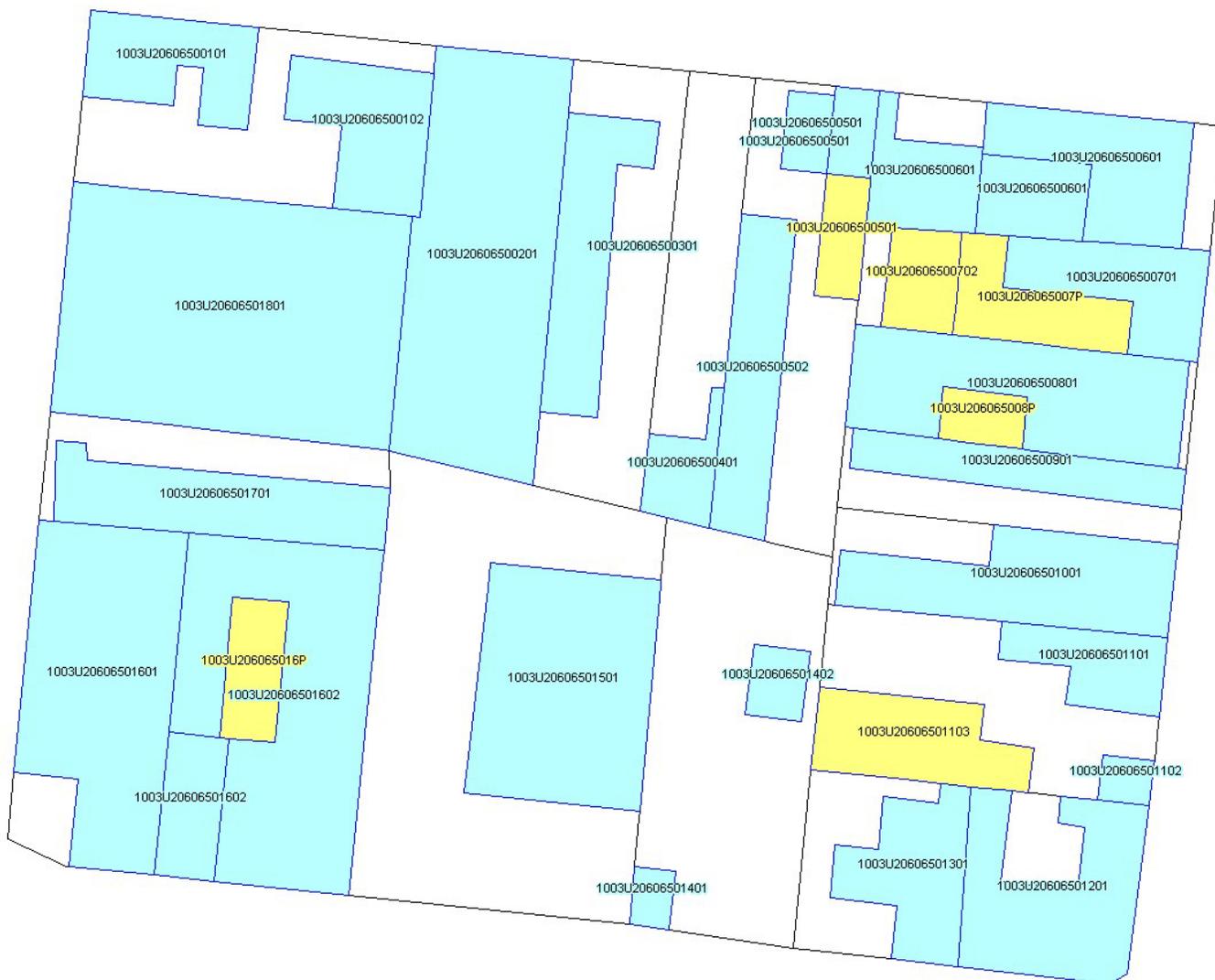


Figura 2- 5: Ubicación de manzanas inspeccionadas en Distrito II



	Inmuebles inspeccionados
	Inmuebles no inspeccionados

Figura 2- 6: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U206065

Tabla 2- 2: Datos recabados de la manzana 1003U206065

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	No. de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	Número de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sis. Estructural ok	Muros Catastro
1003U20606500101	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U20606500102	taquezal	1	tejas	vivienda	10	7 pm/7 am	taquezal	-	S	N(11)	Mampostería
1003U20606500103	taquezal	1	tejas	vivienda	*	*	taquezal	-	-		No existe registro
1003U20606500201	mampostería, metal	1	ligero	venta de repuestos para automóviles	*	*	marcos	-	S	N(10)	mampostería
1003U20606500301	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U20606500401	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	4	7 pm/7 am	minifalda	-	S	N(10)	mampostería
1003U20606500501	mampostería, madera, etc.	2	ligero	vivienda	*	*	mixto	madera	S	S	
1003U20606500502	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	N(7)	Madera
1003U20606500503	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	N	S	
1003U20606500601	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	N(7)	Madera
1003U20606500602	madera	2	ligero	vivienda	*	*	madera	**	N	S	
1003U20606500603	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N(7)	No existe registro
1003U20606500701	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U20606500801	mampostería	1	ligero	vivienda y consultorio médico	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U20606500901	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U20606501001	taquezal***	1	ligero	vivienda	7	7 pm/7 am	taquezal***	-	S	N(10)	mampostería
1003U20606501101	mampostería	1	ligero	vivienda y negocio de manualidades	*	*	muros de mampostería	-	S	N(7)	minifalda
1003U20606501102	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U20606501201	taquezal**	1	ligero	vivienda	*	*	taquezal**	-	S	N(10)	mampostería
1003U20606501301	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	7	7 pm/7 am	minifalda	-	S	S	
1003U20606501401	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U20606501402	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U20606501501	mampostería	1	ligero	taller mecánica automotriz	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U20606501601	mampostería	1	ligero	taller de fabricación	*	*	marcos	-	S	N(7)	Lamina metálica

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	No. de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	Número de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sis. Estructural ok	Muros Catastro
				de ropa			metálicos				
1003U20606501602	taquezal***	1	ligero	vivienda	*	*	taquezal***	-	S	N(10)	mampostería
1003U20606501603	plycem	1	ligero	vivienda	*	*	marcos de madera	-	N	N	No existe registro
1003U20606501604	mampostería	2	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	**			No existe registro
1003U20606501701	madera	1	tejas	vivienda	*	*	madera	-	S	N(10)	Mampostería
1003U20606501801	mampostería, metal	1	ligero	venta de repuestos para automóviles	*	*	marcos	-	S	N(13)	No hay datos

* No se pudo entrevistar a ocupantes.

** No se pudo conocer.

*** Se asume luego de varias consideraciones.

Inmuebles inspeccionados 29 (82.8%, marcados con color celeste en la Figura 2- 6)
 Inmuebles no inspeccionados 6 (17.1%, marcados con color amarillo en la Figura 2- 6)
 Total 35

De los edificios inspeccionados:

Los códigos coinciden en 23 casos (79.3%) y difieren o no existen en los restante 6 casos (20.7%)

Edificios con error en el sistema estructural 16 (55.2%)
 Edificios con el sistema estructural correcto 13 (44.8%)

El error en la asignación del sistema estructural se debió a:

- error en la información del catastro 12 casos (66.7%)
- falta de datos en el catastro 5 casos (27.8%)
- error en los criterios de selección del sistema 1 caso (5.5%)

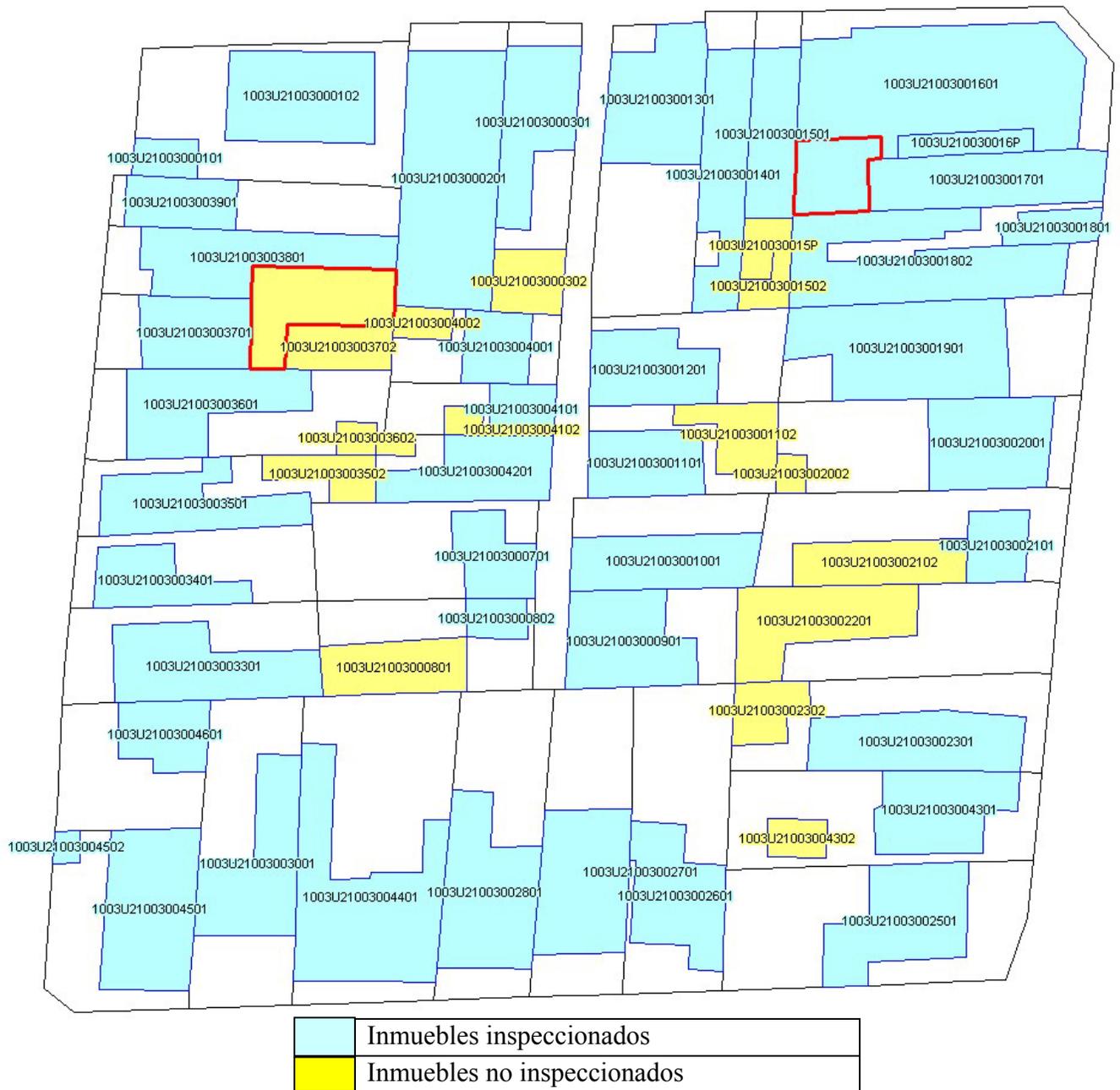


Figura 2- 7: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U210030

Tabla 2- 3: Datos recabados de la manzana 1003U210030

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	No. de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	No. de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
1003U21003000101	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-		N(7)	Madera
1003U21003000102	madera	1	tejas	vivienda	10	12m/7 am	madera		S	N(10)	Mampostería
1003U21003000201	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería			S	
1003U21003000301	mampostería, madera	1	ligero	vivienda	*	*	mixto		S	N(8)	Ripio
1003U21003000701	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda		S	S	
1003U21003000802	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda		S	N(10)	mampostería
1003U21003000901	madera	1	ligero	vivienda	*	*	madera		S	N(13)	ripio
1003U21003001001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería			S	
1003U21003001101	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda		S	S	
1003U21003001201	madera	1	ligero	vivienda	*	*	madera		S	N(13)	ripio
1003U21003001301	mampostería	1	ligero	vivienda	2	7 pm/7 am	muros de mampostería			S	
1003U21003001401	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería			S	
1003U21003001501	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería		S	S	
1003U21003001601	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería		S	S	
1003U21003001701	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería		S	S	
1003U21003001801	mampostería	1	ligero	pulpería y vivienda	*	*	muros de mampostería		S	N(7)	minifalda
1003U21003001802	mampostería y playcem	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda		S	N(10)	Mampostería
1003U21003001901	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería		S	S	
1003U21003002001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería		S	S	
1003U21003002101	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda		S	S	
1003U21003002301	madera	1	ligero	vivienda	*	*	madera		S	N(13)	Ripio
1003U21003002501	mampostería, madera, playcem	1	ligero	vivienda	3	8pm/7am	mixto	-	S	S	
1003U21003002601	mampostería	1	ligero	vivienda	6	12m/7am	madera	-	S	N(13)	ripio
1003U21003002701	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	N(7)	minifalda
1003U21003002801	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	6	24 hrs	marcos de madera	-	S	N(13)	ripio
1003U21003003001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	No. de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	No. de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
1003U21003003301	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U21003003401	mamposteaa	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	N(10)	mamposteria
1003U21003003501	madera	1	tejas	vivienda	*	*	madera	-	S	S	
1003U21003003601	madera	1	ligero	vivienda	*	*	madera	-	S	S	
1003U21003003701	mamposteaa y madera	1	tejas	vivienda	6	12m/7 am	minifalda	-	S	N(10)	mamposteria
1003U21003003801	mamposteaa	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U21003003901	mamposteaa	1	ligero	vivienda	*	*	marcos de madera	-	S	N(10)	mamposteria
1003U21003004001	madera	1	ligero	vivienda	*	*	madera		S	S	
1003U21003004101	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda		S	S	
1003U21003004201	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería		S	S	
1003U21003004301	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería		S	S	
1003U21003004401	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U21003004501	mampostería	1	ligero	vivienda	2	4 pm/7 am	muros de mampostería	-	S	S	
1003U21003004502	mamposteaa	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U21003004601	taquezal	1	ligero	vivienda	9	12m/7 pm	taquezal	-	S	N(10)	taquezal

* No se pudo entrevistar a ocupantes.

Inmuebles inspeccionados 41 (70.7%, marcados con color celeste en la Figura 2- 6)
 Inmuebles no inspeccionados 17 (29.3%, marcados con color amarillo en la Figura 2- 6)
 Total 58

De los edificios inspeccionados:

Los códigos coinciden en el 100% de los casos, aunque en la base gráfica proporcionada existen dos (2) SHAPES no identificados como edificios (marcados con borde rojo).

Edificios con error en el sistema estructural 16 (39%)
 Edificios con el sistema estructural correcto 25 (61%)

El error en la asignación del sistema estructural se debió, en el 100% de los casos, a un aparente error en los datos del catastro.

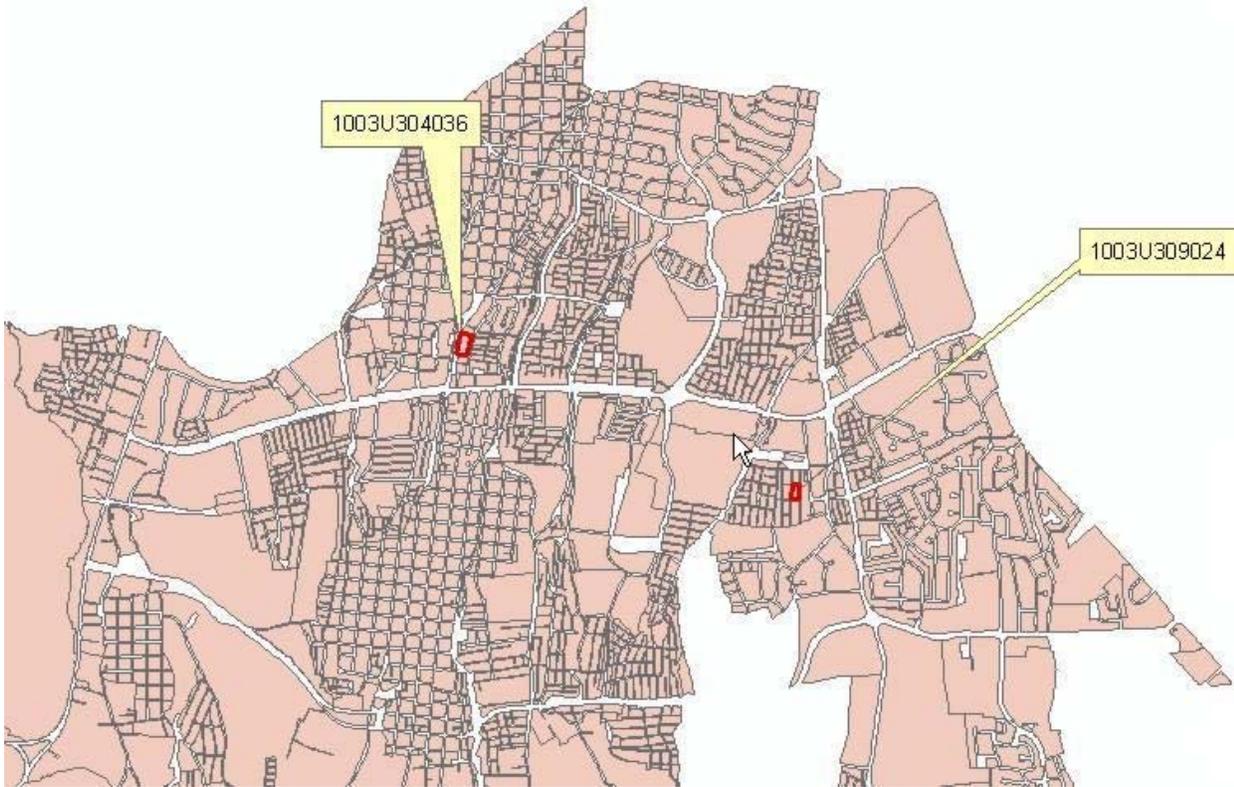


Figura 2- 8: Ubicación de manzanas inspeccionadas en Distrito III

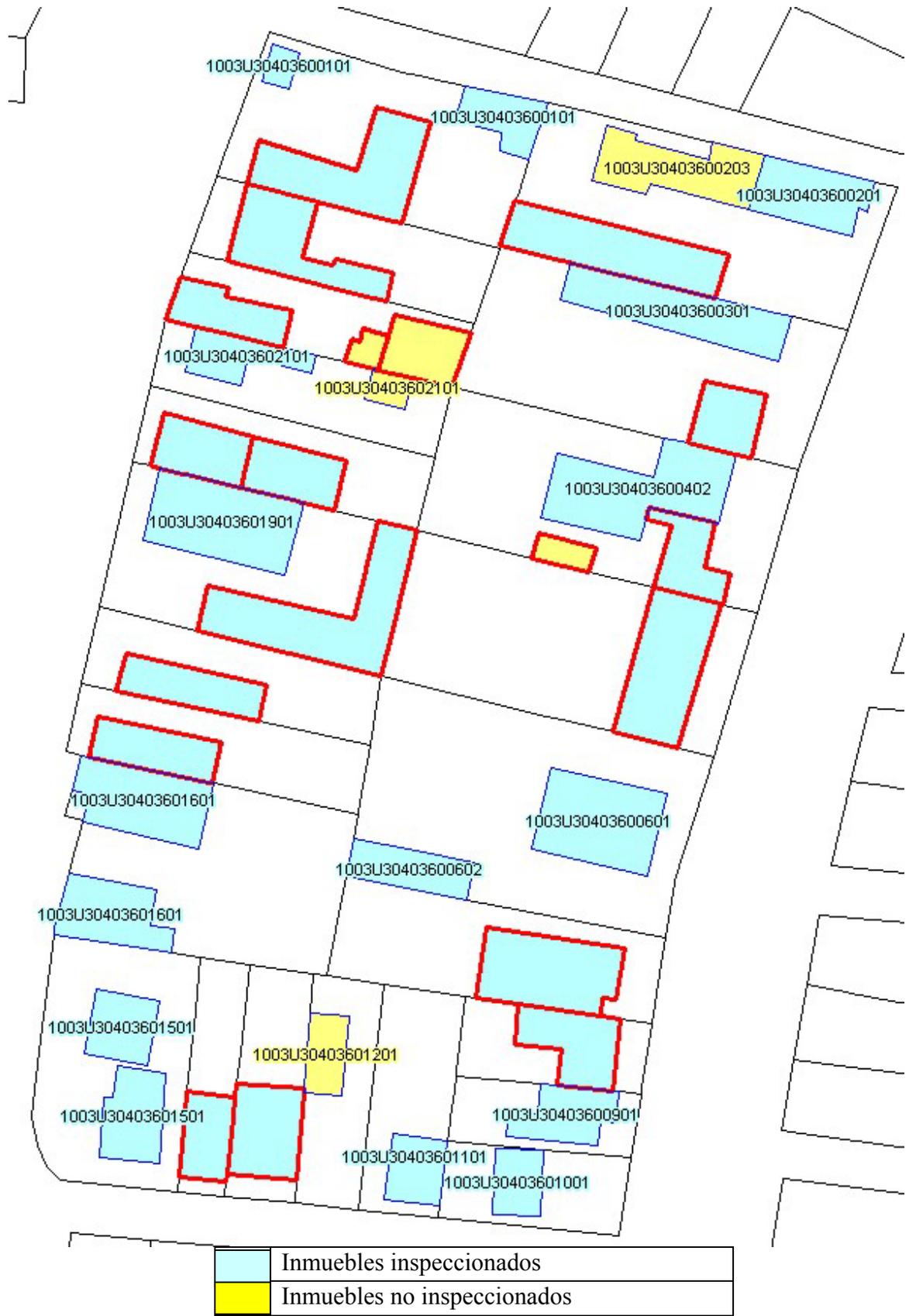


Figura 2- 9: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U304036

Tabla 2- 4: Datos recabados de la manzana 1003U304036

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	No. de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	No. de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
1003U30403600101	mampostería, madera y plycem	1	ligero	oficina	4	4am/5am	minifalda	-	S	S	
1003U30403600102	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	N	S	
1003U30403600103	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	11	4 pm/8 am	minifalda	-	N	N	No existe registro
1003U30403600201	prefabricado	1	ligero	vivienda	*	*	Prefabricado	-	S	S	
1003U30403600202	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	N	N	Minifalda (shape sin código)
1003U30403600301	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U30403600302	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	N	N	Mampostería (shape sin código)
1003U30403600401	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (shape sin código)
1003U30403600402	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	N(7)	minifalda
1003U30403600501	madera	1	tejas	vivienda	*	*	madera	-	N	N	Madera (shape sin código)
1003U30403600601	madera	1	ligero	vivienda	*	*	madera	-	S	N(10)	Mampostería
1003U30403600602	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	N(7)	Laminas de fibro cemento
1003U30403600701	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (shape sin código)
1003U30403600801	mampostería	1	ligero	vivienda y negocio	6	7 pm/7 am	muros de mampostería	-	N	N	Minifalda (shape sin código)
1003U30403600901	mampostería	1	ligero	vivienda	4	7 pm/7 am	muros de mampostería	-	S	S	
1003U30403601001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	N(13)	ripio
1003U30403601101	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U30403601301	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (shape sin código)
1003U30403601401	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Minifalda (shape sin código)
1003U30403601501	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U30403601502	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	N	S	
1003U30403601601	mampostería y	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	No. de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	No. de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
	madera										
1003U30403601602	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	N	S	
1003U30403601701	madera	1	ligero	vivienda	*	*	madera	-	N	N	Madera (shape sin código)
1003U30403601801	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	N	N	Minifalda (shape sin código)
1003U30403601901	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U30403601902	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (shape sin código)
1003U30403602001	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	N	N	Minifalda (shape sin código)
1003U30403602002	mampostería	1	Ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	No hay registro
1003U30403602101	mampostería y madera	1	Ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U30403602201	mampostería	1	Ligero	vivienda	1	24 hrs.	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (shape sin código)
1003U30403602301	mampostería	1	Ligero	vivienda	5	4 pm/8 am	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (shape sin código)

* No se pudo entrevistar a ocupantes.

Inmuebles inspeccionados 32 (82.2%, marcados con color celeste en la Figura 2- 6)
 Inmuebles no inspeccionados 6 (15.8%, marcados con color amarillo en la Figura 2- 6)
 Total 38

De los edificios inspeccionados:

Los códigos coinciden en 13 casos (40.6) y difieren o no existen en los restante 19 casos (59.4%, marcados con borde rojo)

Edificios con error en el sistema estructural 20 (62.5%)

Edificios con el sistema estructural correcto 12 (37.5%)

El error en la asignación del sistema estructural se debió a:

- error en los datos del catastro 4 casos (20%)
- falta de datos en catastro 2 casos (10%)
- error o falta de código del shape 14 casos (70%)

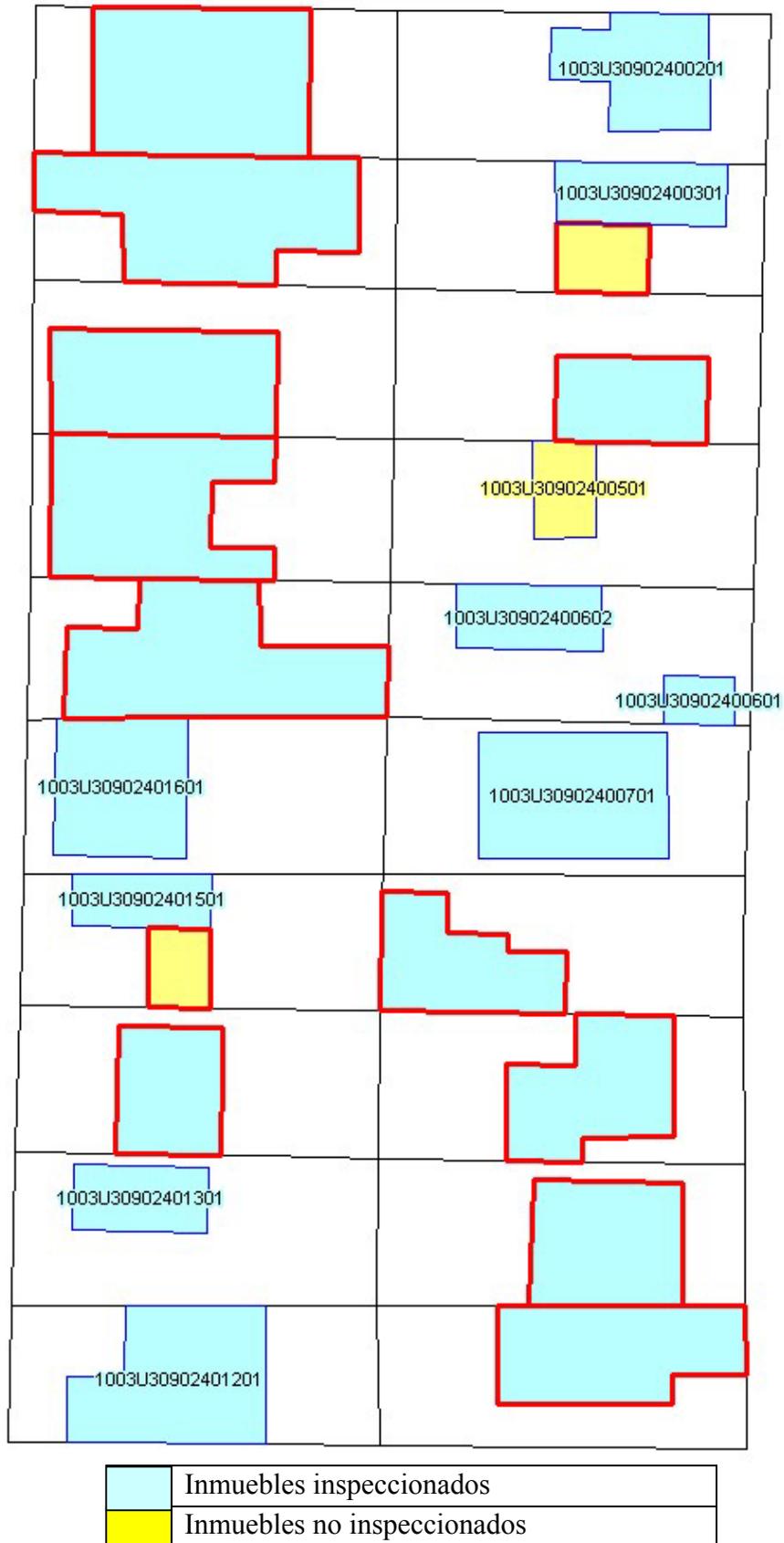


Figura 2- 10: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U309024

Tabla 2- 5: Datos recabados de la manzana 1003U309024

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	No de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	No de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
1003U30902400101	mampostería	1	ligero	vivienda	4	4pm/7am	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (shape sin código)
1003U30902400201	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U30902400301	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U30902400401	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (shape sin código)
1003U30902400601	varios	1	ligero	vivienda	5	6pm/7am	ripios	-	S	N(7)	Lámina metálica
1003U30902400602	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	5	6pm/7am	minifalda		S	S	
1003U30902400701	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U30902400801	madera	1	ligero	vivienda	*	*	madera	-	N	N	Mampostería (shape sin código)
1003U30902400901	mampostería y prefabricado	1	ligero	vivienda	4	24 hrs.	mixto (mampostería y prefabricado)	-	N	N	Mampostería (shape sin código)
1003U30902401001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (shape sin código)
1003U30902401101	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	N	N	Minifalda (shape sin código)
1003U30902401201	mampostería	1	ligero	vivienda	4	4pm/7am	muros de mampostería	-	S	S	
1003U30902401301	mampostería y madera	1	ligero	bodega	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U30902401401	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	minifalda (shape sin código)
1003U30902401501	prefabricado	1	ligero	vivienda	5	5 pm/7am	prefabricado	-	S	S	
1003U30902401601	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U30902401701	mampostería	1	ligero	vivienda	3	7pm/7am	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (shape sin código)
1003U30902401801	mampostería	1	ligero	vivienda	5	7pm/7am	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (shape sin código)
1003U30902401901	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (shape sin código)
1003U30902402001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (shape sin código)

* No se pudo entrevistar a ocupantes.

Inmuebles inspeccionados	20 (87.0%, marcados con color celeste en la Figura 2- 6)
Inmuebles no inspeccionados	3 (13.0%, marcados con color amarillo en la Figura 2- 6)
Total	23

Existen 13 casos en los que hay un problema con el código de identificación del edificio.

De los edificios inspeccionados:

Los códigos coinciden en 9 casos (45%) y difieren o no existen en los restante 11 casos (55%)

Edificios con error en el sistema estructural	12 (60%)
Edificios con el sistema estructural correcto	8 (40%)

El error en la asignación del sistema estructural se debió a:

- error en los datos del catastro 1 caso (8.3%)
- error o falta del código del shape 11 casos (91.7%)

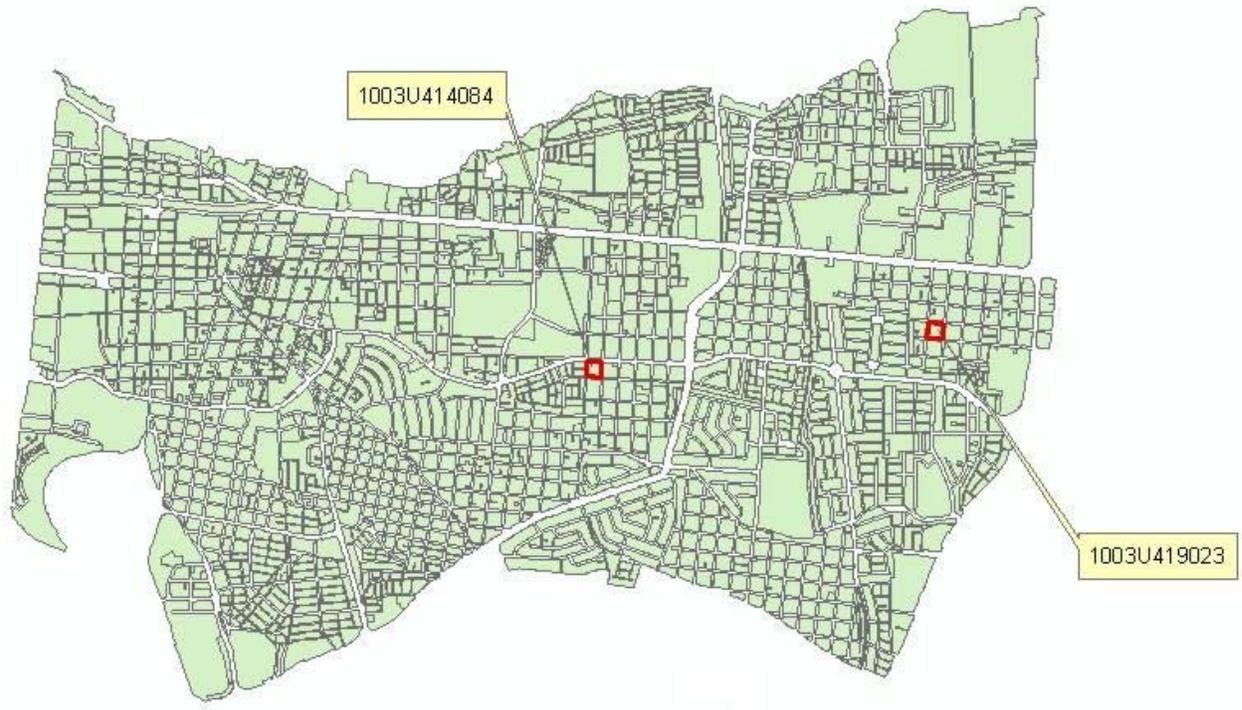


Figura 2- 11: Ubicación de manzanas inspeccionadas en Distrito IV

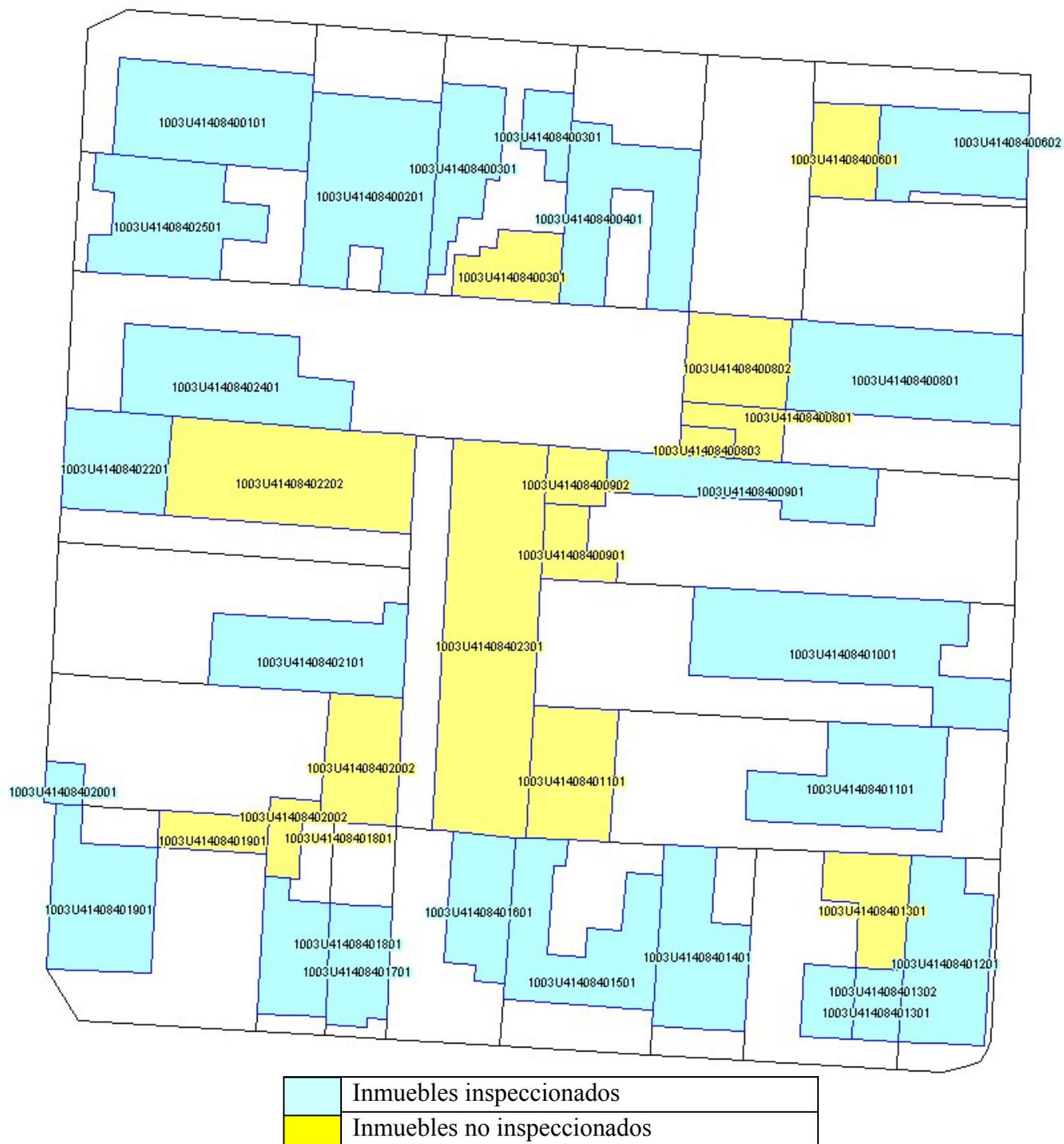


Figura 2- 12: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U414084

Tabla 2- 6: Datos recabados de la manzana 1003U414084

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	Número de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	Número de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructura I ok	Muros Catastro
1003U41408400101	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U41408400201	mampostería	1	ligero	tienda de electrónica	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U41408400301	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U41408400302	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	N	S	
1003U41408400401	mampostería y madera (ruinas)	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U41408400602	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	N(7)	Láminas de fibro cemento
1003U41408400801	mampostería	2	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	**	S	S	
1003U41408400901	mampostería y madera	1	ligero	vivienda y taller de mecánica	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U41408401001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U41408401101	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U41408401201	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U41408401301	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U41408401302	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	N(10)	mampostería
1003U41408401401	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	N(7)	minifalda
1003U41408401501	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	Minifalda	-	S	N(10)	mampostería
1003U41408401601	madera	1	ligero	vivienda	*	*	marcos de madera		S	S	
1003U41408401701	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U41408401801	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U41408401901	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U41408402001	mampostería y madera	1	ligero	taller de mecánica automotriz	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U41408402101	mampostería (en construcción)	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	N(7)	minifalda
1003U41408402201	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	N(10)	mampostería
1003U41408402401	mampostería y	1	ligero	vivienda	12	10 pm/7 am	minifalda		S	S	

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	Número de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	Número de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
	madera										
1003U41408402501	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	

* No se pudo entrevistar a ocupantes.

** No se pudo conocer.

Inmuebles inspeccionados 24 (61.5%, marcados con color celeste en la Figura 2- 6)
 Inmuebles no inspeccionados 15 (38.5%, marcados con color amarillo en la Figura 2- 6)
 Total 39

De los edificios inspeccionados:

Los códigos coinciden en 23 casos (95.8) y difieren en 1 caso (4.2%)

Edificios con error en el sistema estructural 6 (25%)

Edificios con el sistema estructural correcto 18 (75%)

El error en la asignación del sistema estructural se debió a:

- error en los datos del catastro 6 casos (100%)



	Inmuebles inspeccionados
	Inmuebles no inspeccionados

Figura 2- 13: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U419023

Tabla 2- 7: Datos recabados de la manzana 1003U419023

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	Número de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	Número de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
1003U419023026001	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U419023025001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U419023024001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U419023022003	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U419023022002	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U419023021001	madera y mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U419023020001	madera y mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U419023019001	madera y mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U419023018001	mampostería	1	-	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U419023017001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U419023016001	mampostería	1	ligero	iglesia	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U419023015001	madera y mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U419023014001	mampostería	1	ligero	vivienda	6	6 pm/7 am	muros de mampostería	-	S	S	
1003U419023013001	mampostería y prefabricado	1	ligero	vivienda	*	*	mixto	-	S	S	
1003U419023012001	madera y mampostería	1	ligero	vivienda	7		minifalda	-	S	S	
1003U419023011001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U419023010001	madera	1	ligero	vivienda	*	*	marcos de madera	-	S	S	
1003U419023009001	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	N(13)	Ripio
1003U419023008001	madera y mampostería	1	ligero	vivienda	8	7 pm/7 am	minifalda	-	S	S	
1003U419023007001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U419023006001	madera	1	ligero	vivienda y farmacia	*	*	marcos de madera	-	S	S	
1003U419023005001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U419023004001	mampostería	2	ligero	vivienda	7	8 pm/7 am	muros de	**	S	S	

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	Número de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	Número de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
							mampostería				
1003U419023003001	madera y mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U419023002001	madera y mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U419023001001	madera y mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	

* No se pudo entrevistar a los ocupantes.

** No se pudo conocer.

Inmuebles inspeccionados 26 (76.5%, marcados con color celeste en la Figura 2- 6)
 Inmuebles no inspeccionados 8 (23.5%, marcados con color amarillo en la Figura 2- 6)
 Total 34

De los edificios inspeccionados:

Los códigos coinciden en el 100% de los casos

Edificios con error en el sistema estructural 1 (3.8%)

Edificios con el sistema estructural correcto 25 (96.2%)

El error en la asignación del sistema estructural se debió a:

- error en los datos del catastro 1 caso (100%)

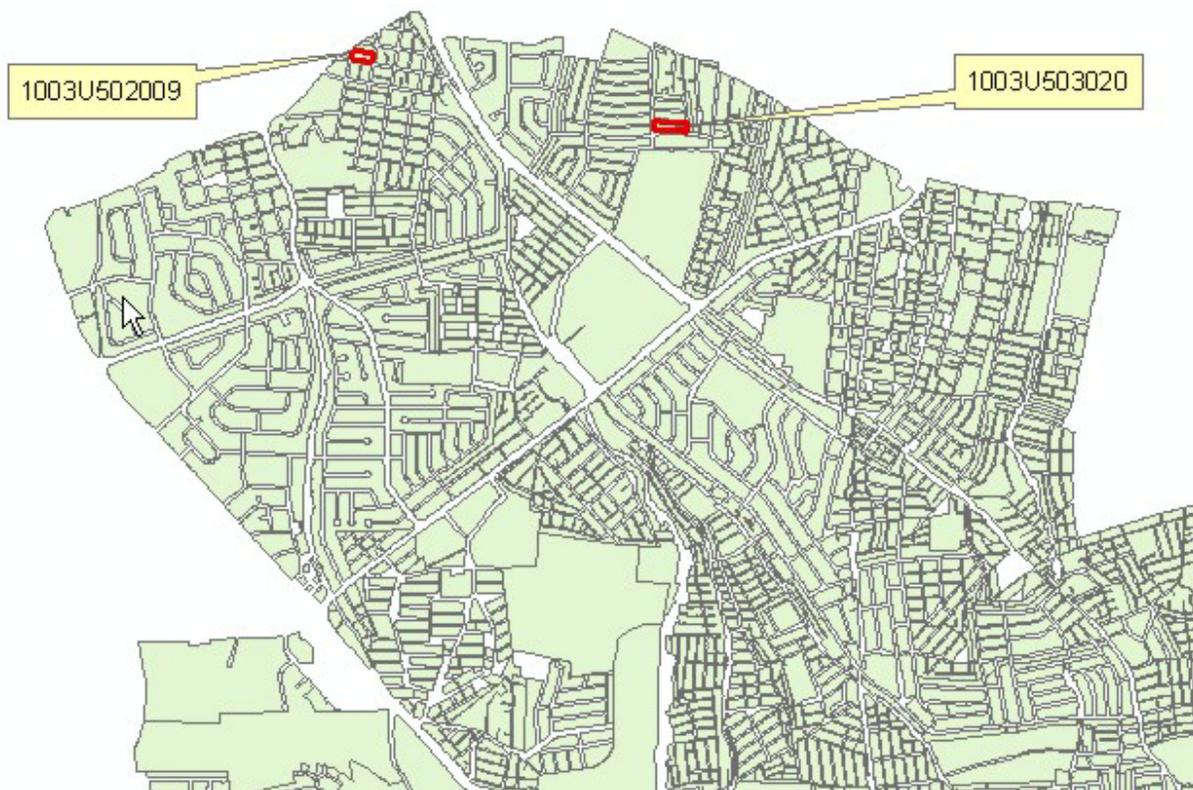


Figura 2- 14: Ubicación de manzanas inspeccionadas en Distrito V

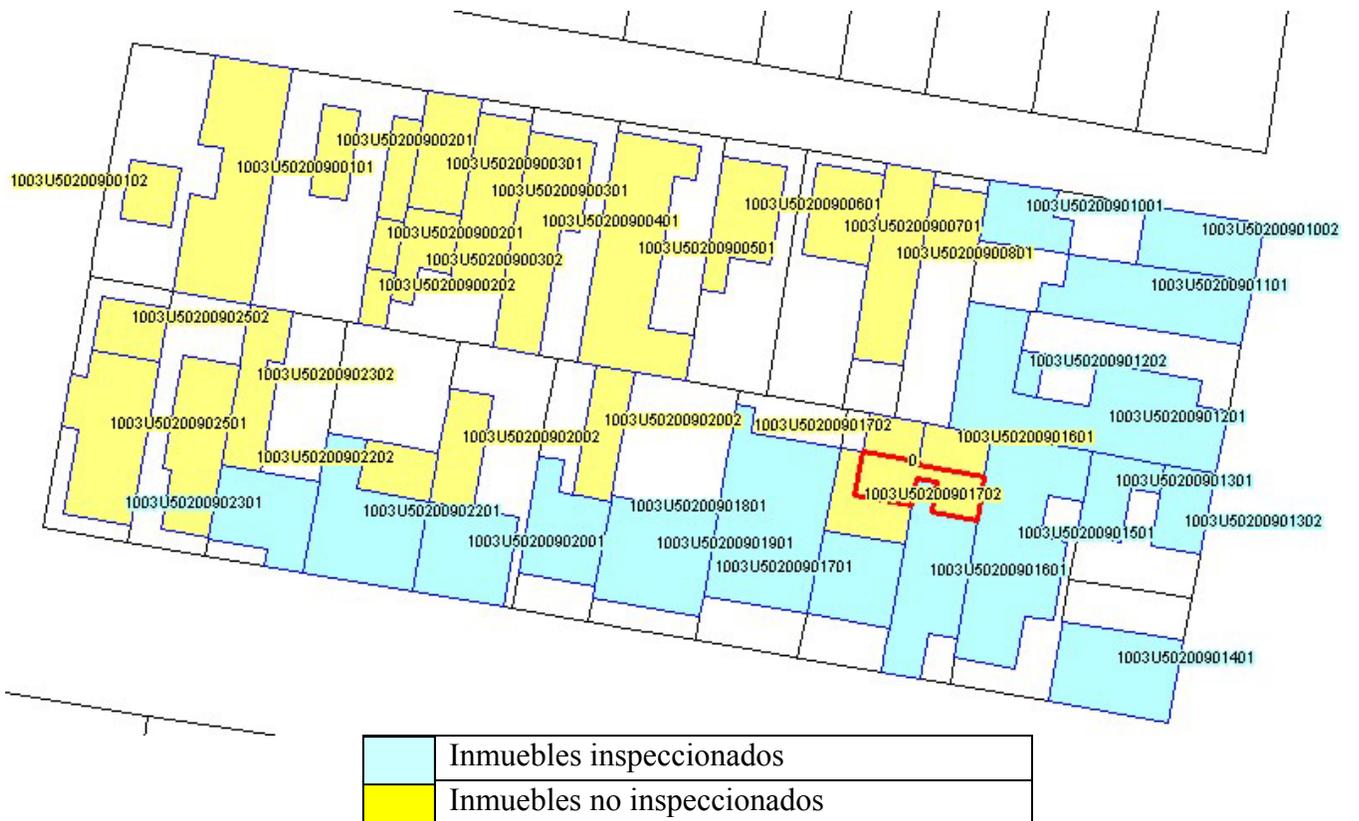


Figura 2- 15: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U502009

Tabla 2- 8: Datos recabados de la manzana 1003U502009

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	Número de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	Número de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
1003U50200902201	Mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	N(7)	minifalda
1003U50200901001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	N(10)	No hay registro
1003U50200901002	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	N(13)	No hay registro
1003U50200901101	Mampostería y zinc	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	N(10)	mampostería
1003U50200901101	Mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	Muros de mampostería	-	¿?	¿?	
1003U50200901102	Mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	¿?	¿?	
1003U50200901201	Mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	Minifalda	-	S	N(10)	mampostería
1003U50200901201	Mampostería	1	ligero	ferretería	*	*	Muros de mampostería	-	¿?	¿?	
1003U50200901202	Mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U50200901301	Mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	Minifalda	-	S	S	
1003U50200901302	Mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	N(13)	ripio
1003U50200901303	Mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	¿?	¿?	
1003U50200901401	Mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	
1003U50200901401	Mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	¿?	¿?	
1003U50200901401	Mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	Minifalda	-	¿?	¿?	
1003U50200901501	Mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50200901501	Mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	Minifalda	-	¿?	¿?	
1003U50200901501	Mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	Muros de mampostería	-	¿?	¿?	
1003U50200901502	Mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	¿?	¿?	
1003U50200901601	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50200901601	Mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	Minifalda	-	¿?	¿?	
1003U50200901701	Mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	N(10)	mampostería
1003U50200901701	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	¿?	¿?	
1003U50200901801	Mampostería y	1	ligero	vivienda	*	*	minifalda	-	S	S	

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	Número de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	Número de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
	madera										
1003U50200901801	Mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	Minifalda	-	¿?	¿?	
1003U50200901901	Mampostería primer nivel y madera segundo nivel	2	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	**	S	N(7)	Minifalda
1003U50200901901	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	¿?	¿?	
1003U50200902001	Mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	Minifalda	-	S	S	
1003U50200902101	Mampostería y madera	1	ligero	vivienda	*	*	Minifalda	-	N	S	
1003U50200902301	Mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	N(7)	madera

*No se pudo entrevistar a los habitantes.

** No se pudo conocer

Inmuebles inspeccionados 17 (39.5%, marcados con color celeste en la Figura 2- 6)
 Inmuebles no inspeccionados 26 (60.5%, marcados con color amarillo en la Figura 2- 6)
 Total 43

De los edificios inspeccionados:

Los códigos coinciden en 16 casos (94.11%) y no existen en 1 casos (5.89%, marcados con borde rojo en la Figura 2- 6)

Edificios con error en el sistema estructural 9 (52.9%)

Edificios con el sistema estructural correcto 8 (47.1%)

El error en la asignación del sistema estructural se debió a:

- error en los datos del catastro 7 casos (77.8%)
- falta de datos en catastro 2 casos (22.2%)

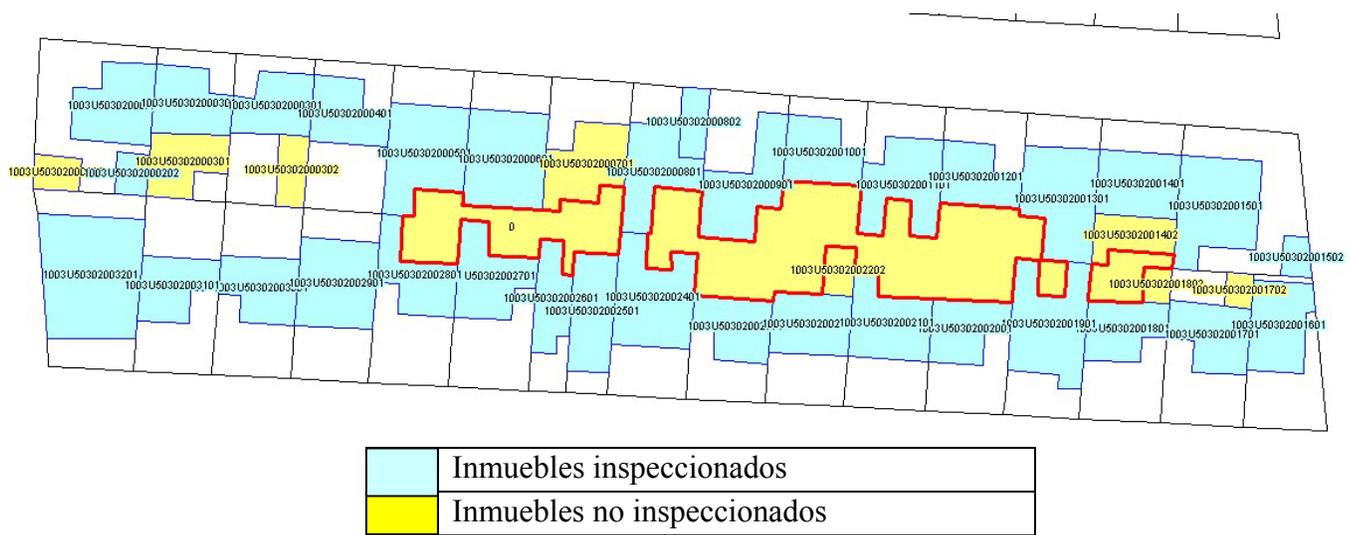


Figura 2- 16: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U503020

Tabla 2- 9: Datos recabados de la manzana 1003U503020

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	Número de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	Número de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
1003U50302000201	Mampostería	1	ligero	Restaurante	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302000203	prefabricado	1	ligero	**	*	*	prefabricado	-	S	N	No hay registro
1003U50302000301	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302000303	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	S	
1003U50302000401	mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302000501	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302000601	mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302000801	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	Muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302000802	Mampostería	1	ligero	Barbería	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302000901	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302001001	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	Muros de mampostería	-	S	S	
1003U503020010701	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	■		
1003U50302001101	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302001201	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302001301	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302001401	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302001501	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302001502	Mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	Muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302001601	mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302001701	mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302001801	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302001901	Mampostería y madera	1	ligero	Academia de costura	*	*	minifalda	-	S	N	mampostería
1003U50302002001	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302002101	mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de	-	S	S	

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	Número de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	Número de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
							mampostería				
1003U50302002201	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302002301	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302002401	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302002501	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302002601	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302002701	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302002801	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302002901	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302003001	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302003101	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U50302003201	Mampostería	1	ligero	Vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	

*No se pudo entrevistar a los habitantes.

** No se pudo conocer

Inmuebles inspeccionados 34 (80.95%, marcados con color celeste en la Figura 2- 6)

Inmuebles no inspeccionados 8 (19.05%, marcados con color amarillo en la Figura 2- 6)

Total 42

Además existen 4 SHAPES que no corresponden con edificios (marcados con borde rojo en la Figura 2- 6)

De los edificios inspeccionados:

Los códigos coinciden en 33 casos (97.06%) y no coincide en 1 caso (2.94%)

Edificios con error en el sistema estructural 2 (5.88%)

Edificios con el sistema estructural correcto 32 (94.12%)

El error en la asignación del sistema estructural se debió a:

- error en los datos del catastro 1 caso (50%)

- falta de datos en catastro 1 caso (50%)

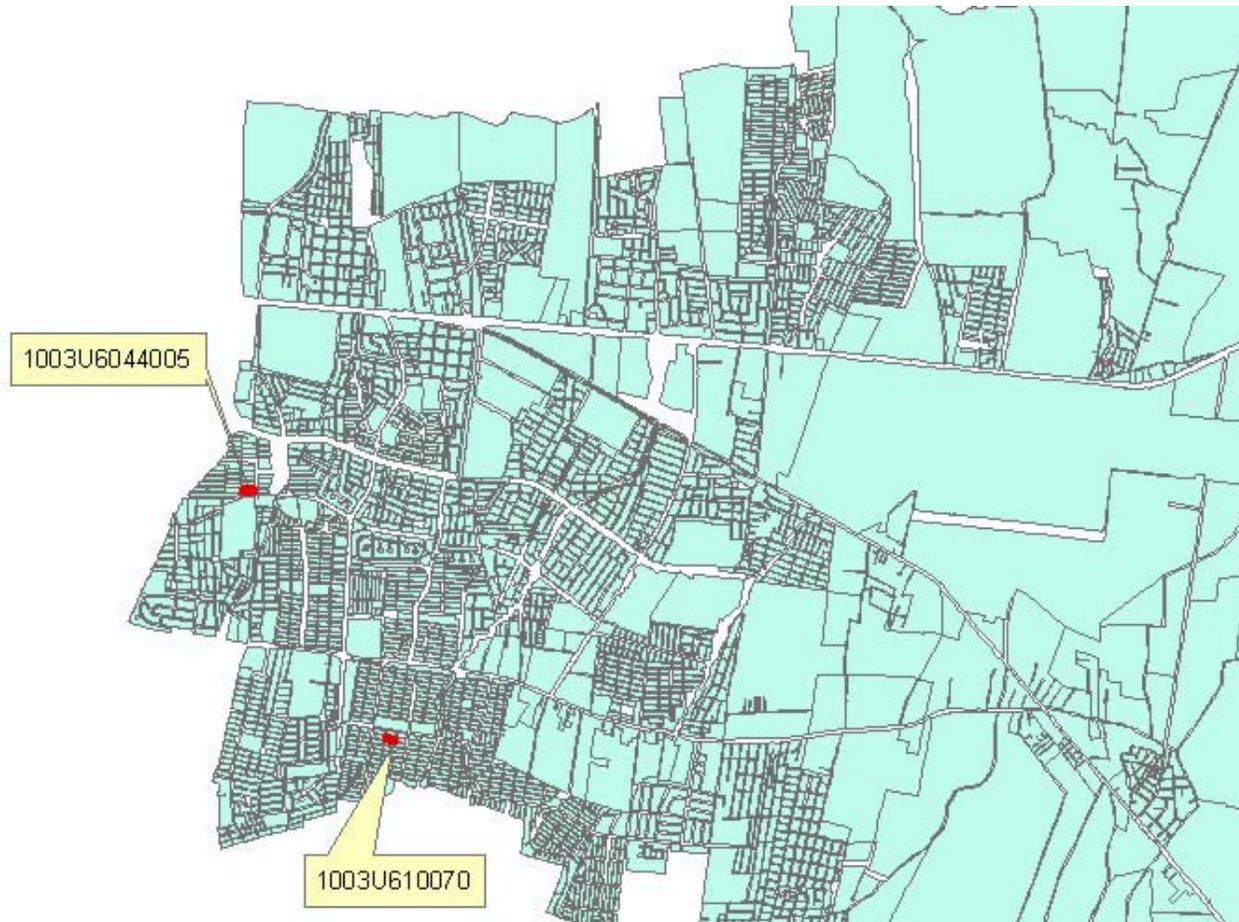
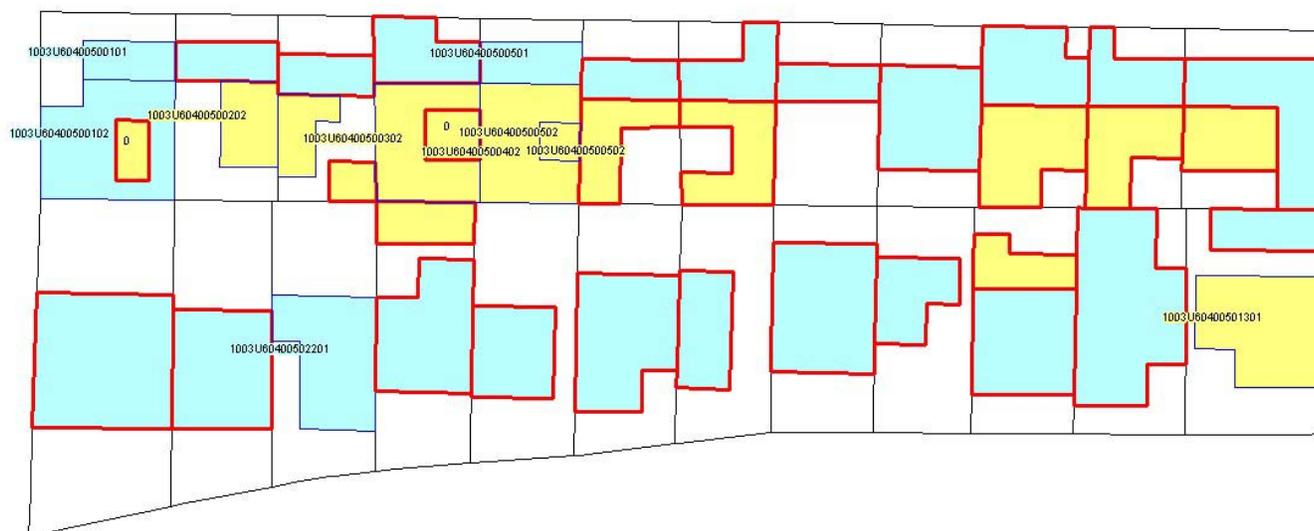


Figura 2- 17: Ubicación de manzanas inspeccionadas en Distrito VI



	Inmuebles inspeccionados
	Inmuebles no inspeccionados

Figura 2- 18: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U604005

Tabla 2- 10: Datos recabados de la manzana 1003U604005

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	Número de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	Número de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
1003U60400500101	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U60400500102	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U60400500201	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)
1003U60400500301	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)
1003U60400500401	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)
1003U60400500501	mampostería		ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U60400500601	mampostería		ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)
1003U60400500701	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)
1003U60400500801	mampostería		ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)
1003U60400500901	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)
1003U60400501001	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)
1003U60400501101	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)
1003U60400501201	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)
1003U60400501301	mampostería	1	ligero	vivienda y comidería	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U60400501401	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)
1003U60400501501	mampostería	2	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	**	N	N	Mampostería (Shape sin código)
1003U60400501601	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Minifalda (shape sin código)
1003U60400501701		1	ligero	vivienda y billar	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)
1003U60400501801	mampostería y madera	1	ligero	vivienda y pulpería	4	7 pm/7 am	minifalda	-	N	N	Minifalda (Shape sin código)
1003U60400501901	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	sin código)
1003U60400502001	mampostería	1	ligero	vivienda y comidería	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Minifalda (Shape sin código)
1003U60400502101	mampostería	1	ligero	vivienda y cyber-café	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)
1003U60400502201	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U60400502301	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	Número de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	Número de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
1003U60400502401	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	N	N	Mampostería (Shape sin código)

*No se pudo entrevistar a los habitantes.

** No se pudo conocer

Inmuebles inspeccionados	25 (61.0%, marcados con color celeste en la Figura 2- 6)
Inmuebles no inspeccionados	16 (39.0%, marcados con color amarillo en la Figura 2- 6)
Total	41

Los SHAPES marcados con borde rojo en la Figura 2- 6 no tienen código asignado o dicho código esta repetido.

De los edificios inspeccionados:

Los códigos coinciden en 5 casos (20%) y no coincide o no existen en 20 casos (80%)

Edificios con error en el sistema estructural 20 (80%)

Edificios con el sistema estructural correcto 5 (20%)

El error en la asignación del sistema estructural se debió a:

- no hay código para el shape 20 casos (100%)

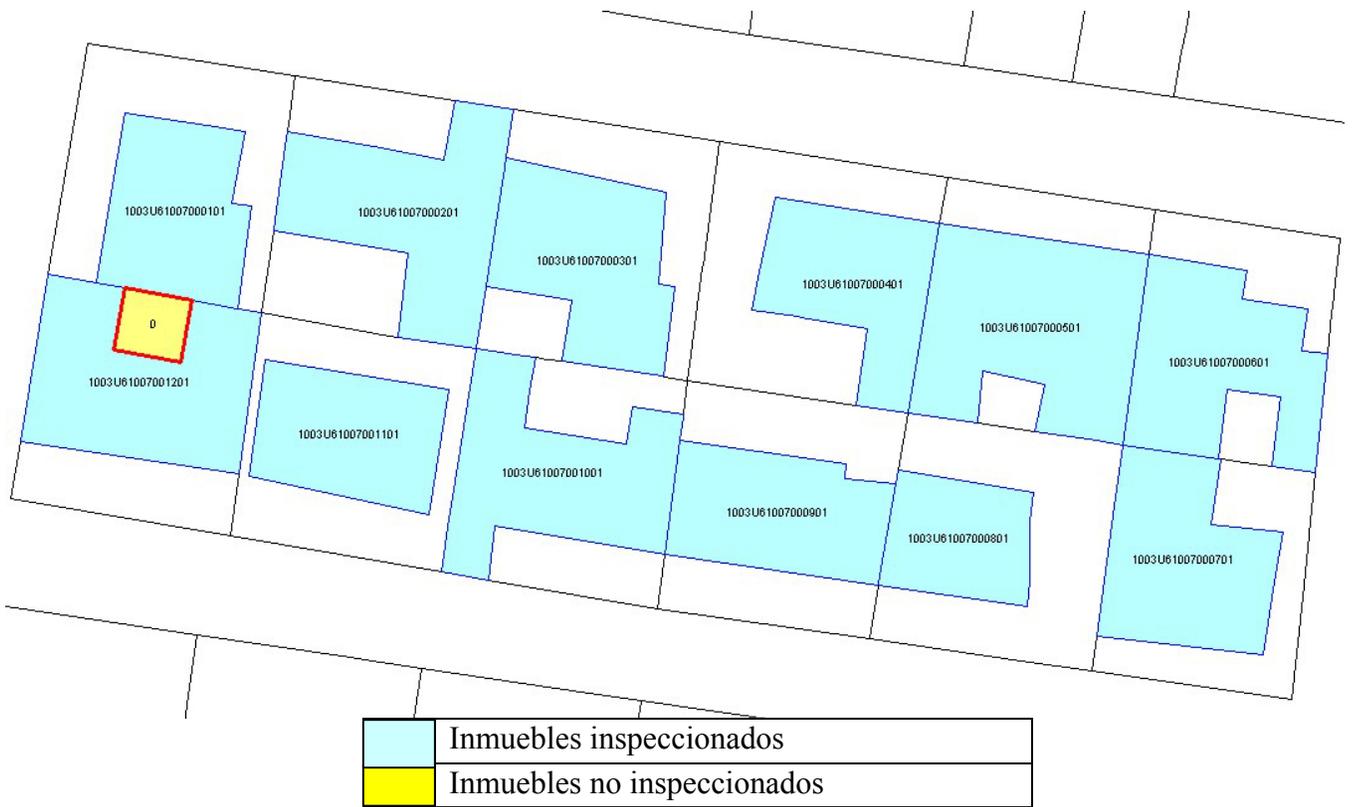


Figura 2- 19: Ubicación de predios y edificios en manzana 1003U610070

Tabla 2- 11: Datos recabados de la manzana 1003U610070

EDIFICIO	Material de paredes exteriores	Número de niveles	Material de cubierta	Uso predominante	Número de ocupantes	Horario de mayor ocupación	Sistema estructural	Material de losa de piso	Código ok	Sist. Estructural ok	Muros Catastro
1003U61007000101	madera	1	ligero	vivienda	7	7 pm/7 am	marcos de madera	-	S	N	Ripio
1003U61007000201	mampostería	1	ligero	vivienda	15	7 pm/7 am	muros de mampostería	-	S	S	
1003U61007000301	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	2	2 pm/7 am	minifalda	-	S	S	
1003U61007000401	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	2	2 pm/7 am	minifalda	-	S	S	
1003U61007000501	madera	1	ligero	vivienda	2	24 hrs.	marcos de madera	-	S	N	Ripio
1003U61007000601	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U61007000701	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	
1003U61007000801	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	4	7 pm/7 am	minifalda	-	S	S	
1003U61007000901	mampostería	1	ligero	vivienda	5	7 pm/7 am	muros de mampostería	-	S	N	Minifalda
1003U61007001001	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	8	7 pm/7 am	minifalda	-	S	S	
1003U61007001101	mampostería y madera	1	ligero	vivienda	16	7 pm/7 am	minifalda	-	S	S	
1003U61007001201	mampostería	1	ligero	vivienda	*	*	muros de mampostería	-	S	S	

* No se pudo entrevistar a ocupantes.

Inmuebles inspeccionados 12 (92.3%, marcados con color celeste en la Figura 2- 6)
 Inmuebles no inspeccionados 1 (7.7%, marcado con borde rojo en la Figura 2- 6)
 Total 13

De los edificios inspeccionados:

Los códigos coinciden en 12 casos (100%)
 Edificios con error en el sistema estructural 2 (25%)
 Edificios con el sistema estructural correcto 9 (75%)

El error en la asignación del sistema estructural se debió a:
 - error en los datos del catastro 3 caso (100%)

Conclusiones y recomendaciones

- De la inspección a las manzanas se concluye que el catastro tiene información errónea o no tiene información en un 50 por ciento de los casos. Si bien inspeccionar todo Managua es una actividad enorme y tal vez fuera de proporción, si es recomendable hacerlo en manzanas de alto riesgo, alta densidad de población o con construcciones muy vulnerables. De igual manera, hay algunas manzanas en donde no se cuenta con el código por lo que no es posible saber los datos de esos predios. En resumen, la información del catastro debe ser considerada como información básica cuando no se tienen mejores datos, pero a la larga debe contarse con una base de datos propia en donde las inspecciones tengan mucho más peso y sustituyan a los datos del Catastro.
- La determinación del sistema estructural a partir de los datos del catastro coincidieron con lo observado en las inspecciones a las manzanas en un alto porcentaje (99.6%). Esto indica que la estrategia seguida para determinar el tipo estructural es bastante confiable, y que la principal fuente de errores es la información catastral disponible. Para mejorar las estimaciones del tipo estructural será necesario mejorar la información contenida en el catastro de la ciudad de Managua.
- Se recomienda ampliamente un plan de inspección en donde participen las universidades a través de sus profesores y estudiantes donde estos últimos harán barridos completos de manzanas para recabar la información útil y adecuada.
- No se cuenta con la información de porcentajes de ocupación de inmuebles según la hora del día incluyendo la gente que se encuentra en la calle tanto en lugares abiertos como transportándose.
- Es necesario analizar el riesgo de las instalaciones esenciales para la atención a la emergencia en el caso de sismo, como son hospitales y demás centros de salud, estaciones de bomberos y policías y otros edificios gubernamentales. Las inspecciones realizadas en este proyecto deben complementarse con otras inspecciones, ya que el objeto de estas era dar información útil para determinar el sistema estructural del edificio, y no dictaminar sobre su estado de conservación e integridad estructural.

Capítulo 3. Cálculo de funciones de vulnerabilidad para los tipos estructurales de Managua

La vulnerabilidad de una estructura es la relación entre el nivel de amenaza del fenómeno que sea de interés, y el nivel de daño que ella experimenta. En el caso particular de los sismos, la intensidad del movimiento sísmico (o nivel de amenaza) se define con la ubicación de su epicentro y la magnitud. El daño en una edificación, en términos generales, se debe a la suma de los daños en sus tres rubros: inmueble o infraestructura, contenidos y consecuencias. Este daño da como resultado una pérdida, denominada pérdida bruta. En este estudio, se trata únicamente el caso de pérdidas en inmuebles o infraestructura.

Funciones de vulnerabilidad sísmica

El daño en un inmueble está relacionado con las características estructurales, que para su estudio se han clasificado en tipos estructurales como se indica en el capítulo 8. Los códigos de diseño sísmico actuales centran sus disposiciones en 2 parámetros de diseño: la resistencia y las deformaciones laterales; sin embargo, trabajos recientes han reconocido al segundo de ellos como el parámetro más importante de diseño, y que mejor se relaciona con el desempeño esperado de la estructura, por lo que es razonable suponer que la nueva generación de reglamentos sísmicos den mucho mayor énfasis al control de las deformaciones laterales. Existen estudios que muestran que el daño o pérdida se relaciona con el valor de la distorsión de entrepiso, γ , la cual se define como la relación entre el desplazamiento relativo entre dos niveles y la altura de entrepiso (Moehle 1992; Wallace 1994; Priestley 1996). Existe un número importante de estudios que han concluido que este parámetro de respuesta estructural es el que tiene mejor correlación con el daño estructural y no estructural y por lo tanto con la pérdida bruta. La pérdida bruta relativa β se puede estimar con la siguiente expresión:

$$E(\beta / \gamma) = 1 - 0.5^\theta, \quad \theta = \left(\frac{\gamma}{\bar{\gamma}} \right)^\rho \quad (3.5)$$

Donde:

$\bar{\gamma}$ = distorsión referencial asociada a una pérdida del 50% del valor total del inmueble. Este parámetro depende del sistema estructural y la fecha de construcción.

ρ = parámetro de vulnerabilidad que depende del tipo estructural y de la antigüedad es del orden de 2.

La distorsión máxima de una estructura depende de la intensidad sísmica denominada pseudoaceleración espectral, la cual se relaciona directamente con la fuerza sísmica que la edificación soportaría. La distorsión máxima se estima de la siguiente manera (Miranda 1999, Miranda y Reyes 2002):

$$\gamma = a \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 \eta^2 N^{3/4}}{4\pi^2 H} \quad (3.6)$$

donde:

a = Valor esperado de la aceleración espectral que depende del periodo fundamental de vibración y del amortiguamiento de la estructura.

β_1 = factor de amplificación que permite la estimación del desplazamiento lateral máximo en el nivel superior de la estructura a partir del desplazamiento espectral, considerando comportamiento elástico lineal. Este factor depende de la estructuración y del número de pisos de la estructura. Se calcula a partir

de la solución de la ecuación diferencial de un sistema acoplado de una viga en corte y otra en flexión sujeto a cargas laterales.

β_2 = factor de amplificación para estimar la distorsión máxima de entrepiso a partir de la distorsión global de la estructura, la que a su vez se define como el desplazamiento lateral máximo de la azotea dividido entre la altura total del edificio. El factor β_2 depende de las contribuciones de las deformaciones de corte y de flexión en la deformada total de la estructura. Este factor toma en cuenta que las deformaciones de entrepiso varían con la altura y que existe una tendencia a concentrar las mayores deformaciones en algunos entrepisos. La forma de calcular este factor es calculando la derivada de la ecuación diferencial de un sistema acoplado consistente en una viga de corte y una de flexión. En vista de que β_1 y β_2 son factores relacionados, el valor del producto $\beta_1 \beta_2$ se ha determinado para los distintos tipos estructurales (agrupados en función de su similitud de comportamiento en 7 grandes grupos) y el número de niveles. La figura 3-1 muestra los grupos estructurales y el valor de $\beta_1 \beta_2$ para cada caso.

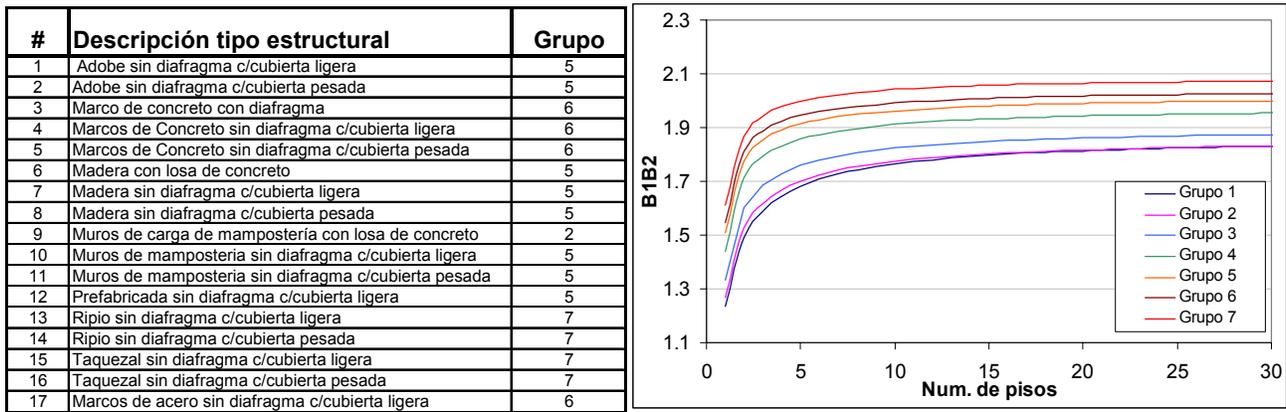


Figura 3- 1: Valores de $\beta_1 \beta_2$

β_3 = Este factor depende de la ordenada espectral de pseudoaceleraciones asociada al periodo fundamental de vibración de la estructura (T), de su resistencia lateral y del factor de reducción de fuerzas laterales. La resistencia lateral de la estructura se determina a partir de su ubicación y su antigüedad, que nos dice de manera indirecta el código con el que fue diseñada. A continuación se muestra la expresión para el cálculo de este factor.

$$\beta_3 = \left[1 + \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right) \exp(-12T\mu^{-0.8}) \right] \quad (3.7)$$

En la fórmula anterior, μ es una medida de la ductilidad demandada a la estructura, y T es el periodo estructural. μ puede calcularse como el cociente entre el valor calculado de S_a (la aceleración espectral, calculada con las leyes de atenuación) entre la resistencia (puede ser el coeficiente sísmico de diseño del reglamento de construcciones). En estructuras de más de 1 nivel se calcula la aceleración espectral del primer modo y se le multiplica por el factor de participación modal que se puede estimar con la siguiente fórmula aproximada:

$$F_i = 1 + \frac{1}{9T} - \frac{3}{10T} e^{(-2*(\text{Log}(T)-0.2)^2)} \quad (3.8)$$

Una gráfica de la variación del valor de β_3 con respecto a la ductilidad μ y el periodo estructural T se presentan en la Figura 3- 2. Para valores de μ no mostrados en esta gráfica, deberá hacerse una interpolación lineal.

El periodo estructural se puede estimar con la siguiente fórmula aproximada: $T = \eta N^{0.7}$ donde η es un parámetro que depende del tipo estructural (se describe ampliamente más adelante) y N es el número de niveles.

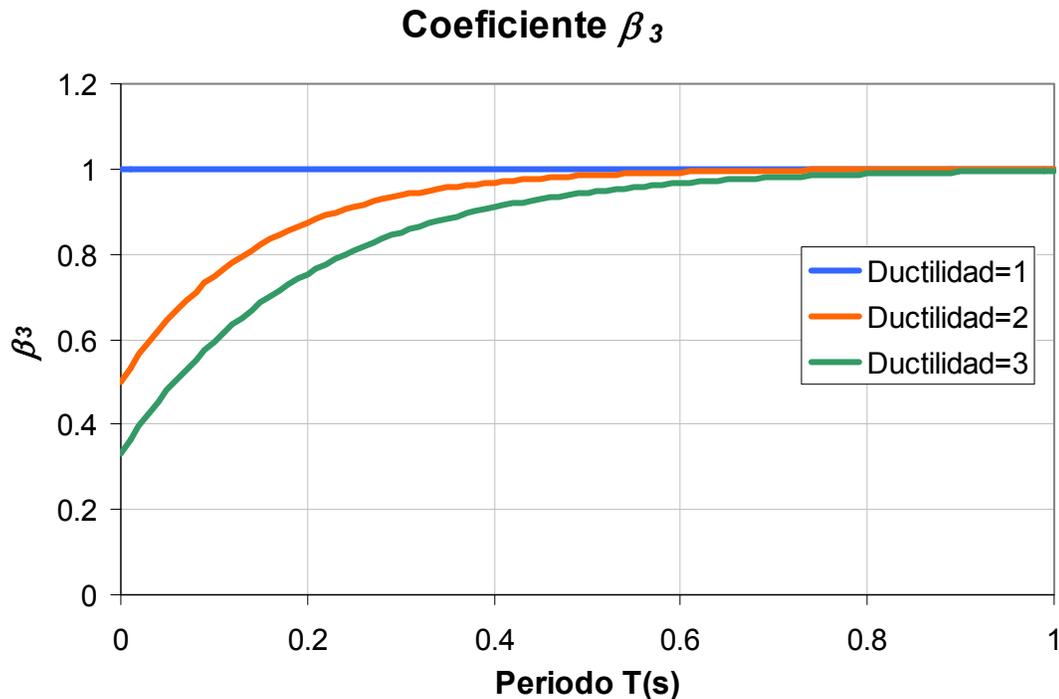


Figura 3- 2: Valores de β_3

Tabla 3-1: Valores del parámetro η para los tipos estructurales de Managua

#	Descripción tipo estructural	η
1	Adobe sin diafragma c/cubierta ligera	0.227
2	Adobe sin diafragma c/cubierta pesada	0.250
3	Marco de concreto con diafragma	0.226
4	Marcos de Concreto sin diafragma c/cubierta ligera	0.203
5	Marcos de Concreto sin diafragma c/cubierta pesada	0.215
6	Madera con losa de concreto	0.678
7	Madera sin diafragma c/cubierta ligera	0.576
8	Madera sin diafragma c/cubierta pesada	0.634
9	Muros de carga de mampostería con losa de concreto	0.080
10	Muros de mampostería sin diafragma c/cubierta ligera	0.256
11	Muros de mampostería sin diafragma c/cubierta pesada	0.288
12	Prefabricada sin diafragma c/cubierta ligera	0.379
13	Ripio sin diafragma c/cubierta ligera	0.749
14	Ripio sin diafragma c/cubierta pesada	0.836
15	Taquezal sin diafragma c/cubierta ligera	0.634
16	Taquezal sin diafragma c/cubierta pesada	0.720
17	Marcos de acero sin diafragma c/cubierta ligera	0.230

No obstante, es probable que en muchos casos la práctica de diseño y construcción tradicional no este necesariamente normalizado por un reglamento o código de construcción. En esos casos, será necesario contar con la opinión experta de profesionales locales para establecer de manera aproximada pero con suficiente certeza, los niveles de resistencia adecuados.

β_4 = factor que permite modificar el valor de la respuesta de la estructura en función de determinado aspectos que incrementan la vulnerabilidad, como son la existencia de columnas cortas, la asimetría e irregularidad de las construcciones y la existencia de sobrepeso en algunos niveles. El valor de este factor se determina con base en la experiencia, sin embargo solo es aplicable cuando existe una gran cantidad de información disponible del edificio. En el caso particular de las construcciones en Managua, y dado que la información para el análisis proviene de una base de datos catastral, se consideró en todos los casos un valor de 1.

H = es la altura total de la estructura. Ésta se calcula multiplicando la altura promedio de entrepiso por el número total de pisos.

N = es el número de pisos de la estructura y

η = factor que sirve para estimar el periodo fundamental de la estructura a partir del número de pisos. Este factor depende de la ubicación del inmueble, su tipo estructural, el suelo y su antigüedad. Este factor toma en cuenta que la capacidad de deformación de estructuras desplantadas en zonas de alta sismicidad es mayor que las de baja sismicidad. También considera que las estructuras desplantadas en suelo blando son más flexibles debido a la flexibilidad de la cimentación debido al efecto del bamboleo. Este factor también toma en cuenta que la rigidez de las estructuras depende del material y de la estructuración de los edificios. Las calibraciones con modelos analíticos y mediciones experimentales han mostrado que este parámetro es adecuado para la determinación de periodos estructurales.

El valor de la distorsión máxima de entrepiso calculada con la ecuación (1), se puede incrementar debido a la existencia de factores que incrementen la vulnerabilidad del sistema como pueden ser irregularidades tanto en planta como en elevación, posibilidad de golpear con el edificio vecino, la existencia de daño previo sin reparación, columnas cortas, etc.

Cuando $\gamma_i = \bar{\gamma}$, el valor esperado de la pérdida $E[\beta \gamma_i]$ es igual a 0.5, que es una condición de la forma funcional. Por otra parte, el tamaño de las pérdidas cuando γ_i es muy pequeño es también pequeño, y varia lentamente a medida que aumenta la distorsión, situación que se presenta también cuando el valor de γ es muy alto. Quiere decir que, en las situaciones extremas (muy poca distorsión o muy alta distorsión), el incremento del daño o pérdidas varia poco. Esta forma no lineal de la función de vulnerabilidad permite una gran flexibilidad para representar una familia grande de tipos estructurales variando el valor de algunos parámetros ($\bar{\gamma}$ y ρ). En lo que sigue, se analizaran los tipos estructurales mas comunes en Managua, y se determinará para cada una de ellas los valores de estos parámetros en función de su comportamiento ante cargas laterales.

Funciones de vulnerabilidad para los distintos tipos estructurales en Managua

Las funciones de vulnerabilidad para Managua se propusieron a partir de las funciones de vulnerabilidad empleadas por el sistema RS-MEX v2.1 (2002) y que es ampliamente empleado en México para la evaluación de pérdidas y evaluación de carteras en el sector asegurador mexicano. El alcance del proyecto de Vulnerabilidad Sísmica de Managua implica el uso de funciones de vulnerabilidad de un

universo muy amplio de construcciones, la mayoría no incluidas en el mencionado programa, razón por la cual se trazó una estrategia para construir dichas funciones con base en lo utilizado por él. Los sistemas estructurales que se presentan tanto en México como en Managua, y a partir de los cuales se comienzan a establecer las demás funciones de vulnerabilidad son el sistema de marcos de concreto con o sin muros y losa de concreto en la cubierta, y el sistema de mampostería (confinada o reforzada) con losa de concreto. En la Figura 3- 3 se muestra la gráfica de la función de vulnerabilidad para el caso de sistemas estructurales con base en muros de carga de mampostería (reforzada o confinada) con losa de concreto.

Las construcciones de concreto en Managua se volvieron más usadas a partir del terremoto de 1972 (ver capítulo 8), mientras que en México ha sido un sistema muy empleado antes incluso que 1958. En vista de ello, es razonable suponer que las construcciones de concreto en Managua, presenten menos daño que muchas de las construcciones de concreto en México, por ello se modificó ligeramente la función que corresponde a Nicaragua para tomar en consideración que para distorsiones intermedias el daño esperado es menor que para construcciones similares en México (ver Figura 3- 4). A pesar de que hasta ahora hemos asociado el daño a la distorsión de entrepiso γ , es claro que dicha distorsión se debe a la presencia de aceleraciones (fuerzas) actuando sobre la estructura, y que depende no solo de la aceleración del suelo sino de las características dinámicas de la estructura; en vista de ello, en ocasiones es útil representar las funciones de vulnerabilidad teniendo en las abscisas el valor de la aceleración espectral (seudoaceleración) correspondiente a este sistema estructural. En lo que sigue se mostrarán las funciones de vulnerabilidad en ambas formas, es decir, como función de la distorsión de entrepiso y como función de la aceleración espectral S_a . Los correspondientes valores de los parámetros $\bar{\gamma}$ y ρ para todos los tipos estructurales considerados en este estudio se pueden ver en la Tabla 3-2, (página 100).

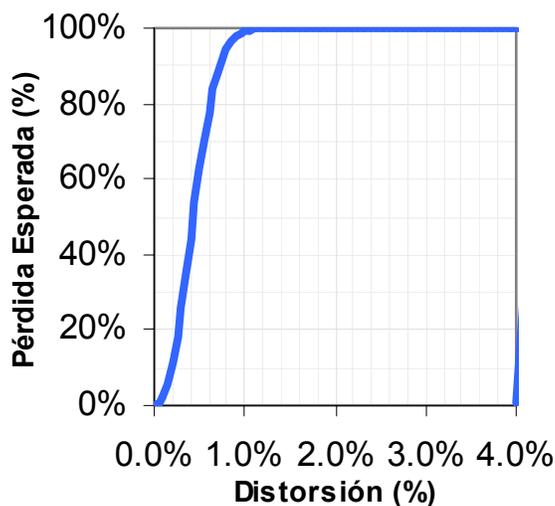


Figura 3- 3: Gráfica de la función de vulnerabilidad para sistemas con base en muros de carga de mampostería, con losa de concreto en la azotea.

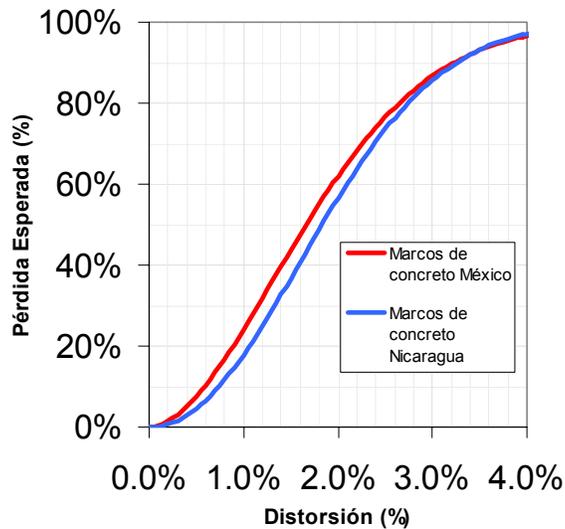


Figura 3- 4: Gráficas de función de vulnerabilidad para edificios de marcos de concreto con losa de concreto, para México y para Nicaragua.

Con base en estas dos funciones para construcciones en Nicaragua se construyeron las funciones para los demás tipos estructurales, siguiendo los criterios que se señalan a continuación. Es necesario aclarar que, para fines comparativos, todas las gráficas se mostrarán para valores de distorsión de entrepiso entre 0 y 4%, valor que en la mayoría de los casos resulta muy difícil de alcanzar con estructuras convencionales. Esto no quiere decir que las funciones estén limitadas a ese rango de valores, ya que puede verse claramente que la ecuación (3-1) puede aplicarse a cualquier valor positivo de γ .

Adobe sin diafragma rígido con cubierta ligera: El adobe es esencialmente una construcción con base a muros de carga de mampostería, en el que las unidades empleadas son ladrillos o bloques de tierra o arcilla elaborados artesanalmente y secados al sol. Como todo muro de mampostería, su mejor desempeño se presenta cuando es sometido a cargas gravitacionales causando esfuerzos de compresión en el muro. Cuando por alguna razón, alguna sección del muro es sometida a esfuerzos de tensión entonces se evidencia una de las principales debilidades de estas construcciones que es su casi nula capacidad de resistirla. En sistemas en los que no existe un diafragma rígido los muros de adobe experimentan fuerzas perpendiculares a su plano, lo que induce una flexión en una sección de poco peralte (el espesor del muro) y por lo tanto esfuerzos elevados de compresión y tensión, que (teóricamente) solo pueden ser compensados por la compresión producida por las cargas muertas y vivas. Debido a esto, este sistema estructural es mucho más vulnerable que una construcción de mampostería con losa de concreto (sistema de referencia). La gráfica de la función propuesta para este sistema es el mostrado en la Figura 3- 5.

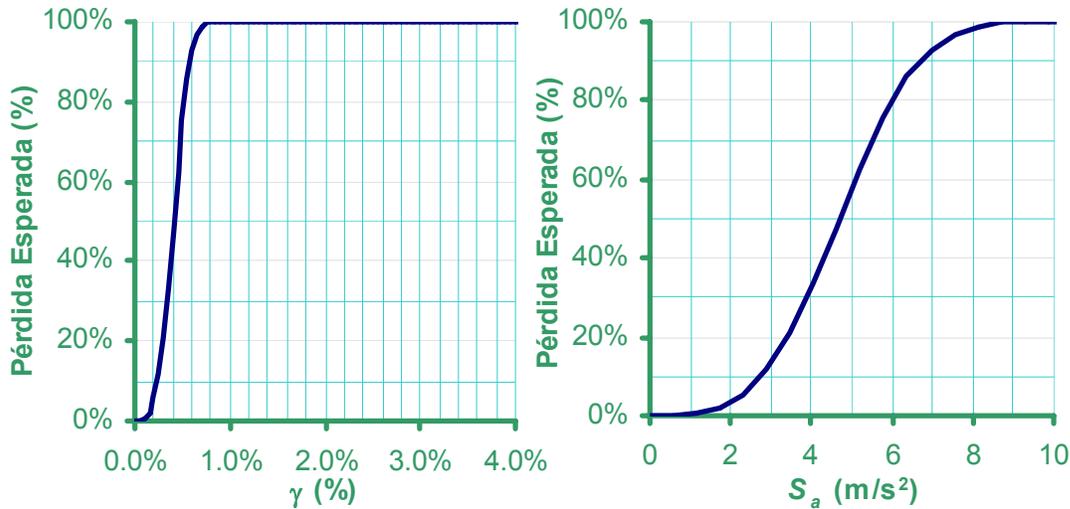


Figura 3- 5: Función de vulnerabilidad para sistemas estructurales de adobe con cubierta ligera

Adobe sin diafragma rígido con cubierta pesada: Este sistema estructural tiene un comportamiento muy parecido al de adobe con cubierta ligera, con el agravante del mayor peso de la cubierta, sin que ello signifique la existencia de un diafragma rígido. Esto produce dos efectos negativos: el primero es que esto representa mayores fuerzas de sismo perpendiculares al plano del muro, lo que implica mayores esfuerzos de tensión; el segundo efecto es una mayor fuerza inducida por la aceleración vertical del suelo, lo que favorece la caída de las zonas centrales de los techos, principal causa de daños a personas en sismos pasados. Para tomar en cuenta ambos efectos se modificó el sistema estructural de adobe con cubierta ligera, resultando en una gráfica como la mostrada en la Figura 3- 6.

Marcos de concreto con diafragma rígido: Este es un sistema de referencia, y fue descrito en párrafos anteriores (página 91).

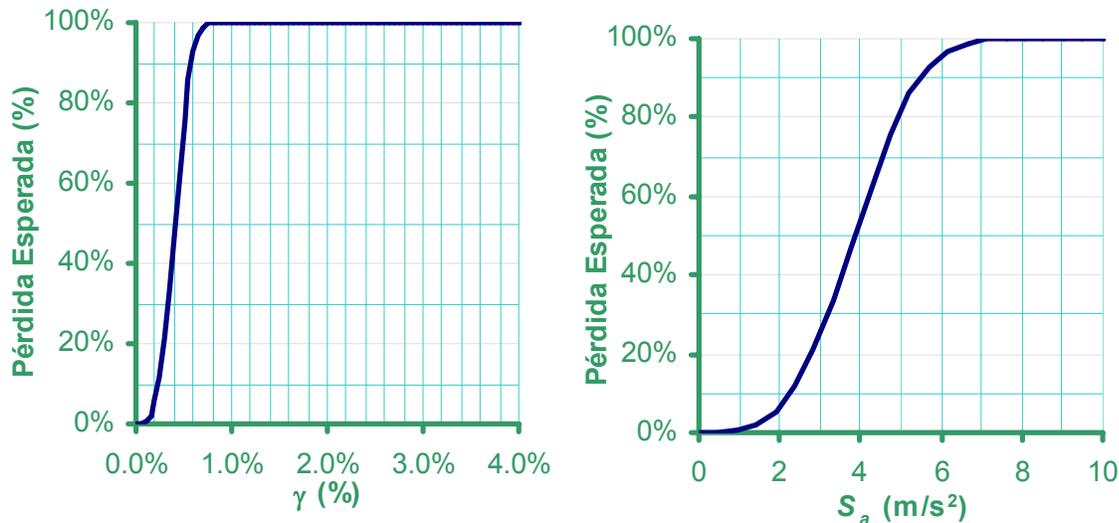


Figura 3- 6: Función de vulnerabilidad para sistemas estructurales con base en muros de adobe sin diafragma rígido con cubierta pesada

Marcos de concreto sin diafragma rígido y cubierta ligera: En este tipo de sistemas estructurales, a diferencia del sistema con diafragma rígido, cada marco debe resistir una fuerza de sismo proporcional

al área tributaria que le corresponde cargar, a diferencia del sistema con diafragma en el que la fuerza es proporcional a la rigidez del marco. Esta diferencia puede resultar benéfica o perjudicial, dependiendo de la configuración y regularidad de la estructura, sin embargo la diferencia no resulta tan radical como en el caso de estructuras de muros de mampostería debido a que el sistema estructural esencialmente trabaja igual con diafragma o sin el. Desde un punto de vista conservador, y dado que existe la posibilidad de que algunos marcos tengan que resistir fuerzas más altas que las que corresponden a un sistema con diafragma, se modificó la función de vulnerabilidad para que en este caso el daño fuera marginalmente mayor que en el caso de referencia, y se obtuvo la función de la Figura 3- 7.

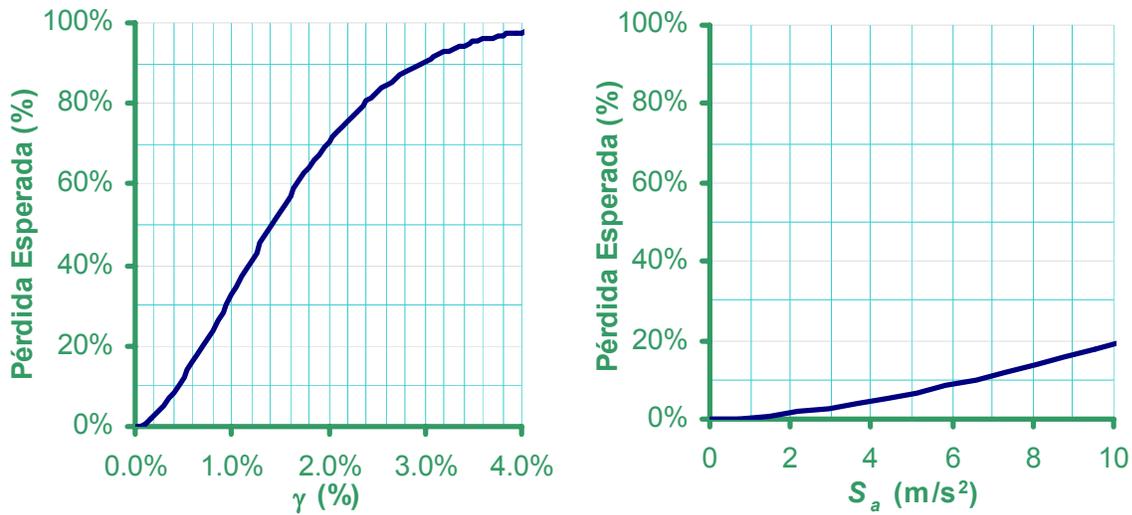


Figura 3- 7: Función de vulnerabilidad para estructuras de marcos de concreto sin diafragma rígido con cubierta ligera.

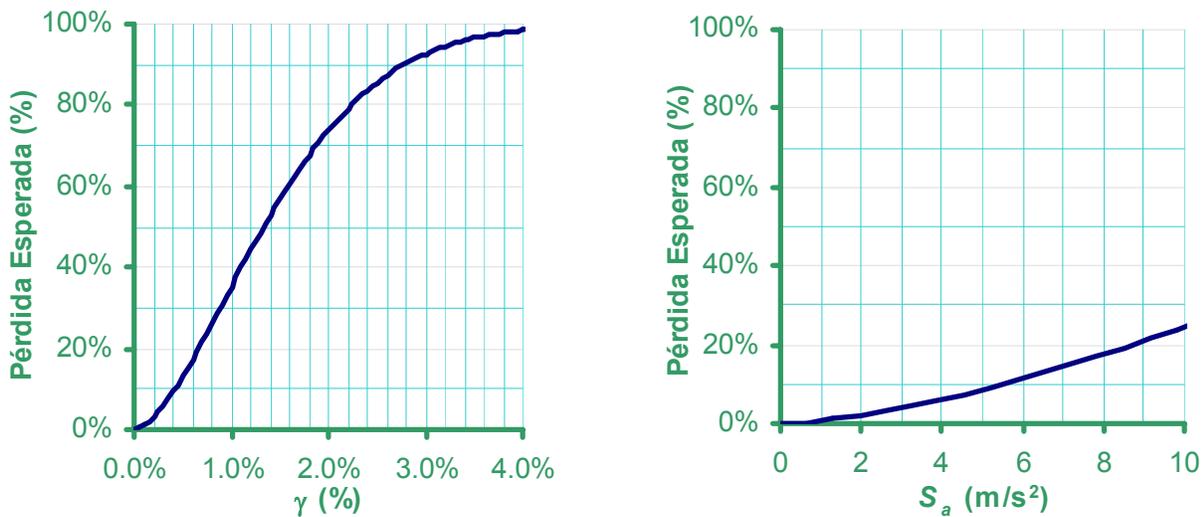


Figura 3- 8: Función de vulnerabilidad para estructuras de marcos de concreto sin diafragma rígido con cubierta pesada

Marcos de concreto sin diafragma rígido y cubierta pesada: En este caso se tomó la misma consideración que en el caso de estructuras de adobe, es decir, el mayor peso de la cubierta producirá mayores fuerzas de sismo en la parte alta, y además se incrementará notablemente la fuerza debido a la aceleración vertical del terreno. Por estas razones, este sistema es más vulnerable, que el correspondiente a cubierta ligera, pero no resulta tan determinante como en el caso del adobe. La función que se consideró se muestra en la Figura 3- 8.

Madera con diafragma rígido: La combinación de estructura de madera con cubierta de concreto difícilmente se presenta en la realidad, y consideramos que los casos que, según el catastro, tienen estas características (22 casos, ver capítulo 8) pueden deberse más a un error en la captura o toma de datos. No obstante ello, se propuso una función de vulnerabilidad de acuerdo a esta situación bastante desfavorable, ya que la losa de concreto incrementa notablemente las fuerzas de sismo a un sistema estructural más apropiado para cubiertas ligeras que pesadas, lo que es en parte compensado con una gran flexibilidad de la estructura y un periodo alargado debido a la mayor masa. La función de vulnerabilidad se puede ver en la Figura 3- 9.

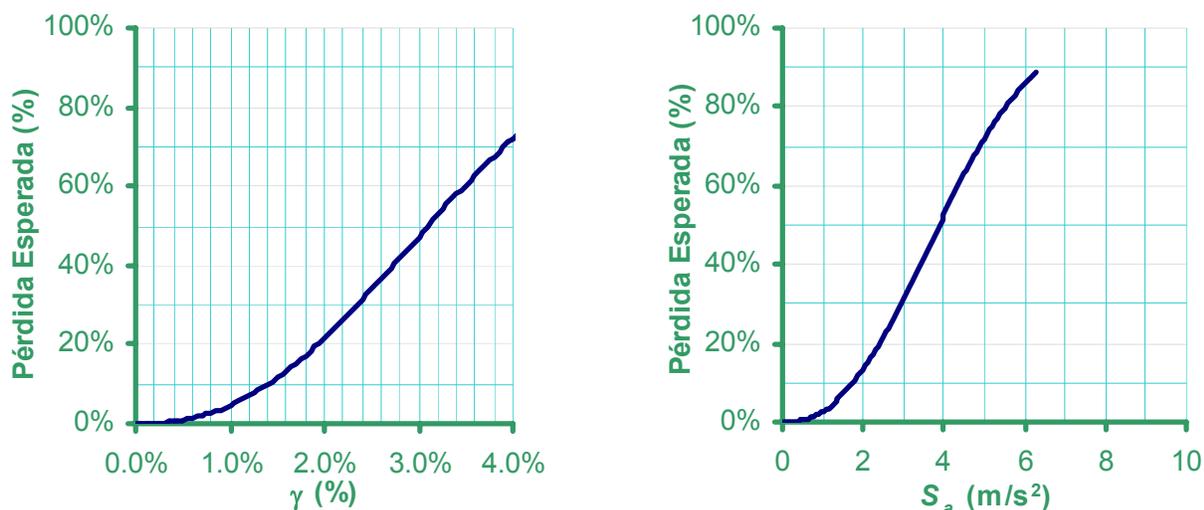


Figura 3- 9: Función de vulnerabilidad para construcciones de madera con cubierta de concreto

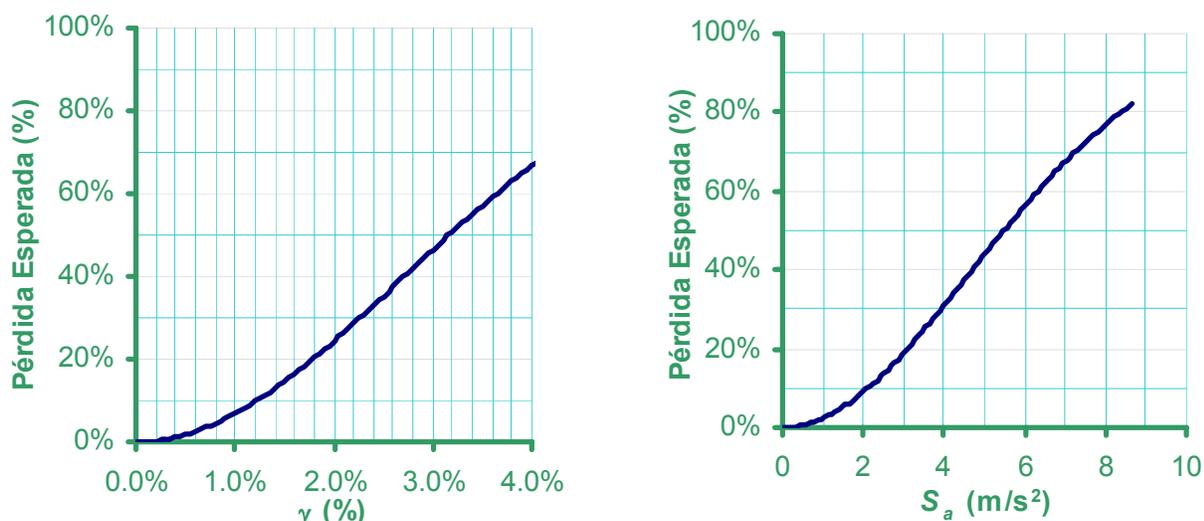


Figura 3- 10: Función de vulnerabilidad para estructuras de madera sin diafragma con cubierta ligera

Madera sin diafragma rígido y cubierta ligera: Estos sistemas estructurales son relativamente flexibles, y permiten deformaciones mayores que los de la mayoría de materiales estructurales, sin embargo tienen

menor resistencia. Por estas razones, las funciones de vulnerabilidad muestran valores de daño bajos para distorsiones para las cuales otros materiales mostrarían severo deterioro, pero también es de esperar que las deformaciones que experimente esta estructura durante un sismo sean mayores que las de otros sistemas estructurales, lo que puede devenir en mayores daños. La Figura 3- 10 muestra la gráfica de la función de vulnerabilidad propuesta para este sistema.

Madera sin diafragma rígido y cubierta pesada: Al igual que en los casos anteriores, la presencia de cubiertas pesadas sin un diafragma rígido incrementa la vulnerabilidad de este sistema estructural, sin embargo, al igual que en el caso de los marcos de concreto, en estos sistemas el efecto desfavorable no es tan determinante como en otros sistemas. Ver en la Figura 3- 11 una gráfica de la función de vulnerabilidad para este sistema.

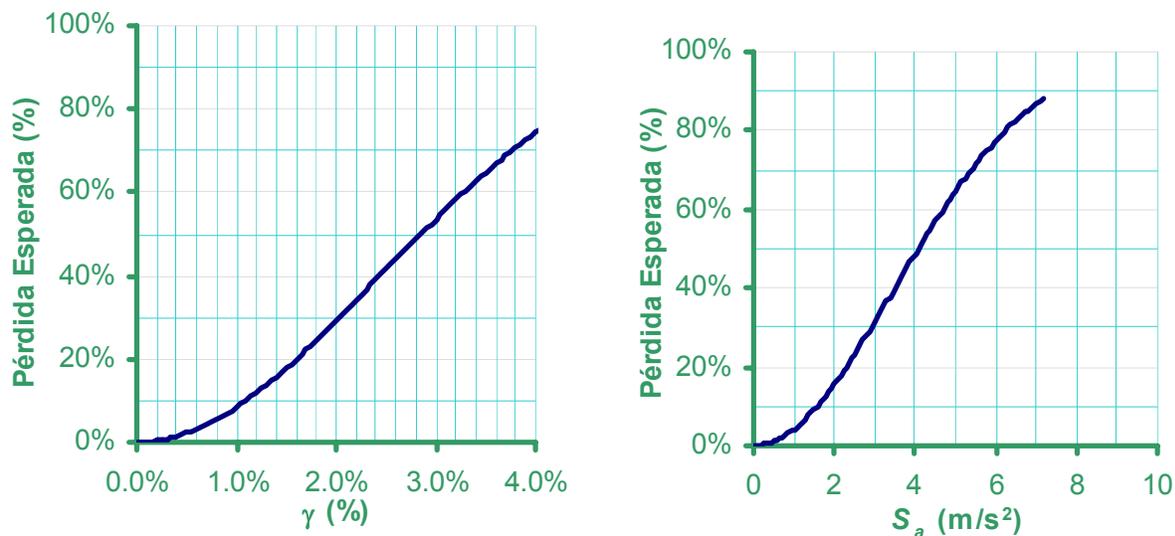


Figura 3- 11: Función de vulnerabilidad para estructuras de madera sin diafragma rígido con cubierta pesada.

Mampostería con cubierta de concreto: Este es el sistema de referencia ya descrito en las páginas 90 y 91 como muros de carga de mampostería con diafragma rígido.

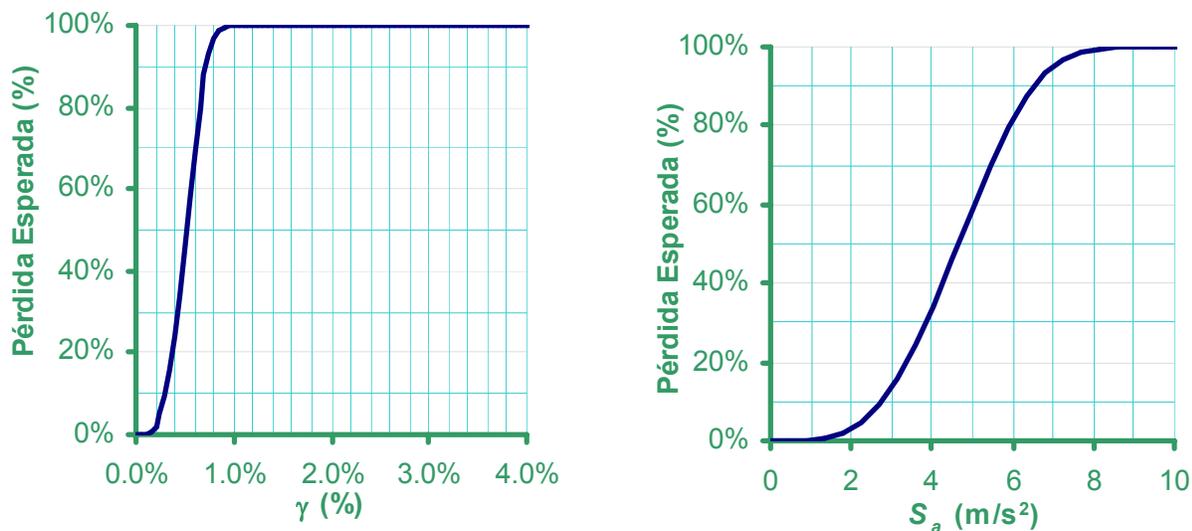


Figura 3- 12: Función de vulnerabilidad para sistemas con base en muros de mampostería sin diafragma con cubierta ligera

Mampostería sin diafragma rígido y cubierta ligera: La falta de un diafragma rígido cambia el comportamiento de los muros de mampostería, y los hace experimentar fuerza perpendiculares a su

plano. Aunque los elementos de confinamiento de concreto pueden tener capacidad para resistir fuerzas perpendiculares a su plano, lo usual es que no se les diseñe para estas situaciones, lo que provoca un incremento notable en la vulnerabilidad de estas construcciones comparada con las construcciones de mampostería con diafragma rígido. El volteo de los muros, falla característica de este tipo de sistemas, es súbita y extremadamente peligrosa para la estructura (la caída de un muro desencadena una serie de fallas de otros muros llegando, en ocasiones, al colapso de la estructura), y para los ocupantes de la misma. Esto se puede observar en la Figura 3- 12.

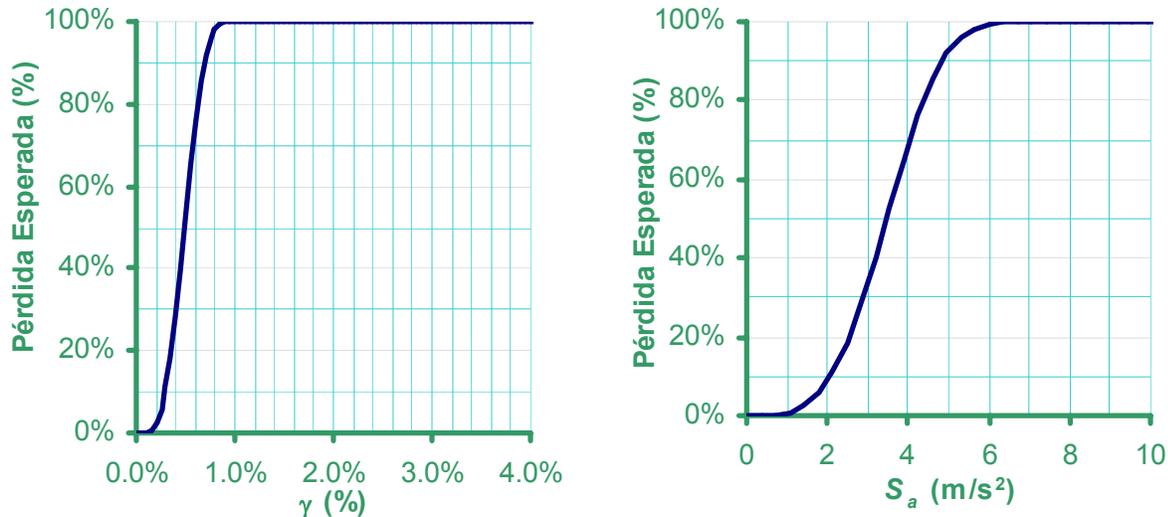


Figura 3- 13: Función de vulnerabilidad para sistemas estructurales con base en muros de mampostería sin diafragma rígido con cubierta pesada.

Mampostería sin diafragma rígido y cubierta pesada: Al igual que en los sistemas anteriores, la presencia de materiales pesados en una cubierta que no constituye un diafragma rígido aumenta la vulnerabilidad. Ver Figura 3- 13.

Prefabricado de concreto sin diafragma rígido con cubierta ligera: El sistema prefabricado consiste en postes de concreto (a veces presforzados) ranurados, en donde se colocan paneles de concreto delgados de unos 30 o 40 cm de alto. Este sistema es muy empleado en obras eventuales o provisionales, y en bardas, debido a que tienen una capacidad resistente limitada y un pobre comportamiento dúctil, característica fundamental de las estructuras sismo-resistentes. Por esta razón, este sistema es de los más vulnerables que se pueden encontrar en Managua. Ver Figura 3- 14.

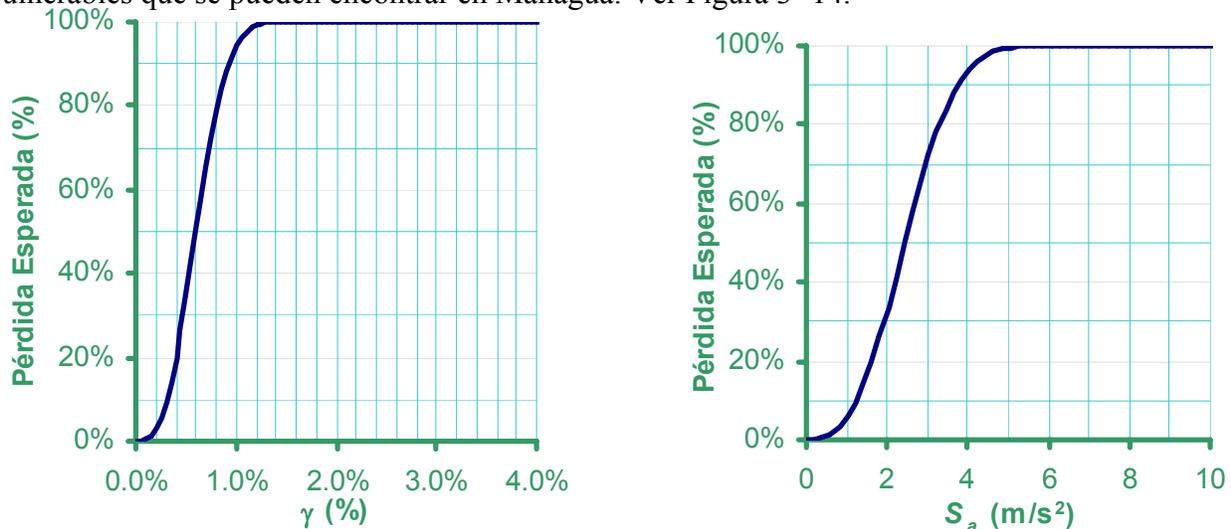


Figura 3- 14: Función de vulnerabilidad para estructuras prefabricadas de concreto con cubierta ligera.

Ripio sin diafragma rígido con cubierta ligera: Difícilmente estas construcciones tendrán un sistema estructural de material competente. Lo que podría identificarse como estructura en estos casos probablemente sean postes de madera y algunos larguero del mismo material, aunque con conexiones pobremente detalladas. No obstante, se puede considerar que la mayor flexibilidad de estas construcciones permitirán deformaciones importantes con daños relativamente bajo. Se puede ver una gráfica de la función de vulnerabilidad propuesto para este sistema en la Figura 3- 15.

Ripio sin diafragma rígido con cubierta pesada: Por las mismas razones que los casos anteriores, la existencia de una cubierta pesada se traduce en una mayor vulnerabilidad de este sistema, aunque es probable que la combinación de ripio en paredes y cubierta pesada puede ser mas producto de errores de captura que reflejo de construcciones existentes. Ver Figura 3- 16.

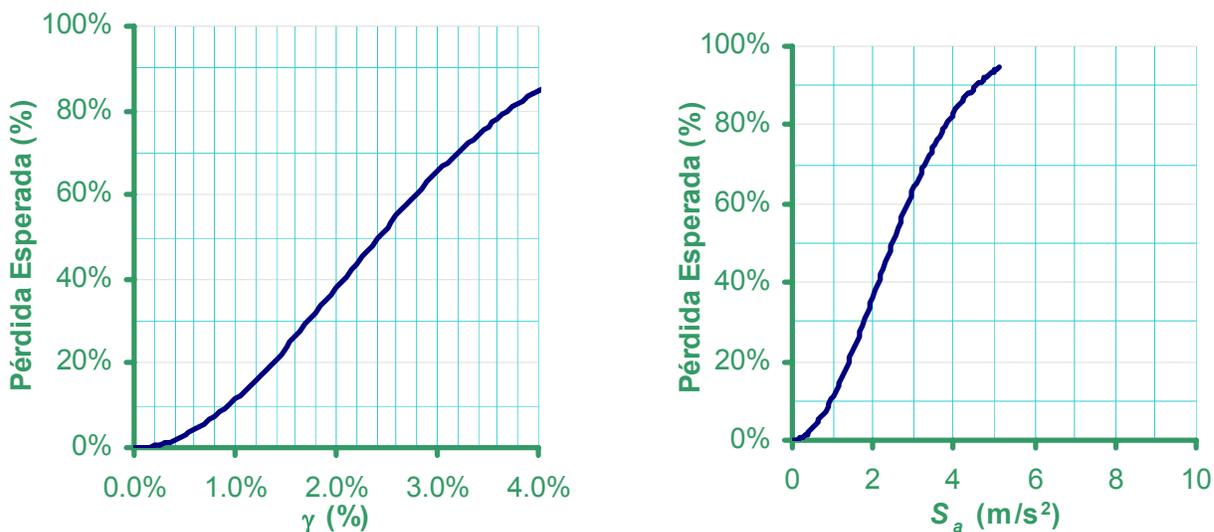


Figura 3- 15: Función de vulnerabilidad para estructuras de ripio con cubierta ligera.

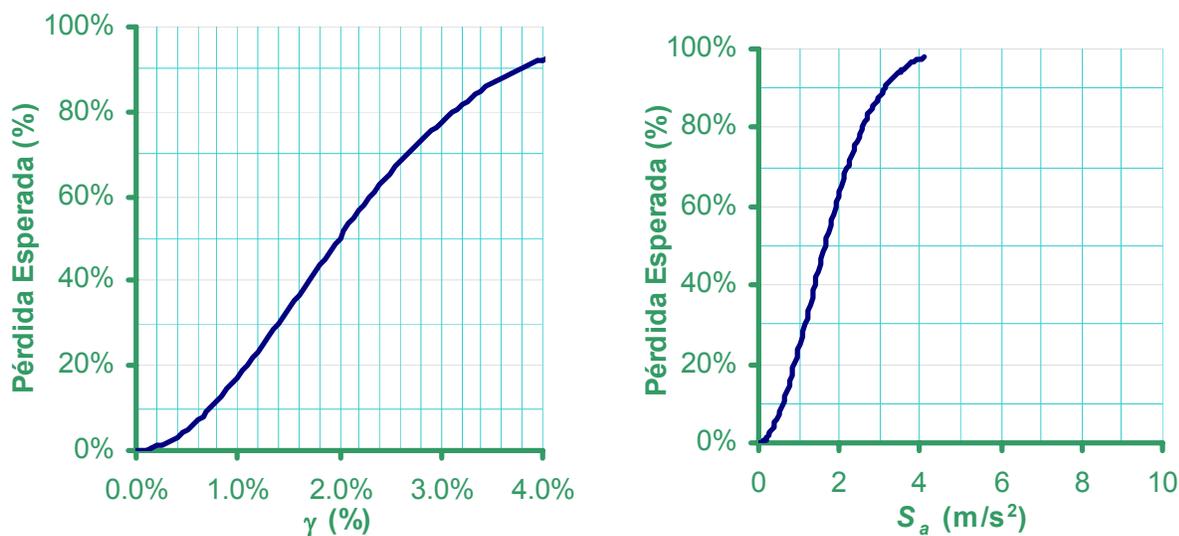


Figura 3- 16: Función de vulnerabilidad para estructuras de ripio con cubierta pesada.

Taquezal sin diafragma rígido con cubierta ligera: El taquezal es un sistema estructural que evidenció gran vulnerabilidad en el temblor de 1972. A pesar de que las estadísticas indican que es un sistema en desuso, todavía existen algunas construcciones con este sistema y por lo tanto se le consideró en el análisis. Puesto que una parte importante de la estructura está conformada por elementos de madera, es probable que muestre una flexibilidad mayor que otros sistemas estructurales, aunque limitada debido a la existencia de materiales frágiles entre postes de madera. La función se puede ver en la Figura 3- 17.

Taquezal sin diafragma rígido con cubierta pesada: Es un sistema más vulnerable por las mismas razones descritas en otros sistemas estructurales. Ver Figura 3- 18.

Acero con cubierta ligera: Es otro sistema cuya función de vulnerabilidad fue construida a partir de la correspondiente función incorporada al RS-MEX. Ver Figura 3- 19.

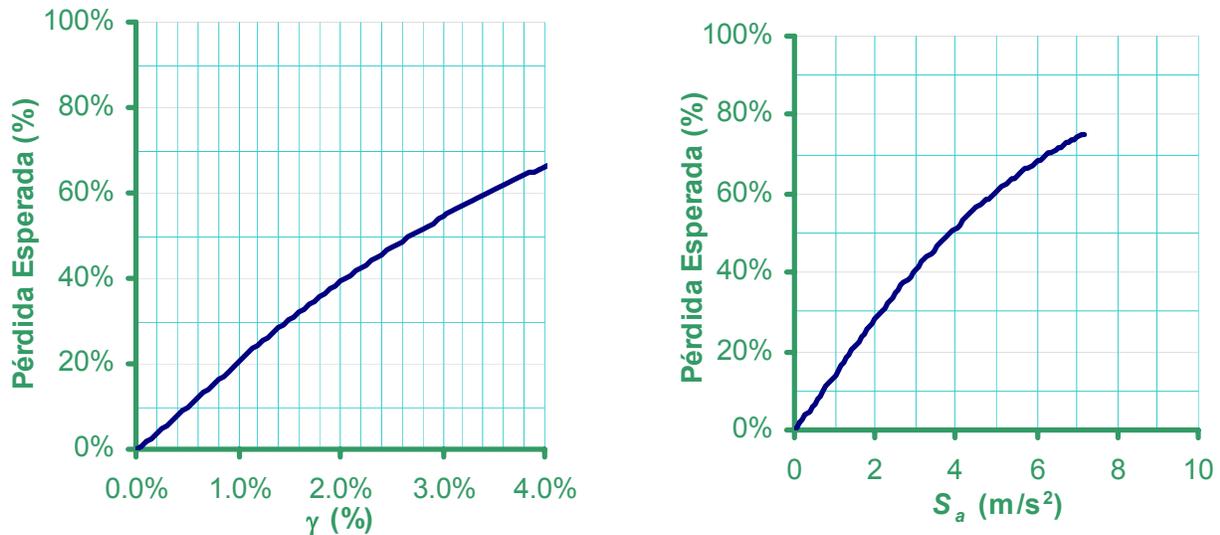


Figura 3- 17: Función de vulnerabilidad para estructuras de taquezal con cubierta ligera

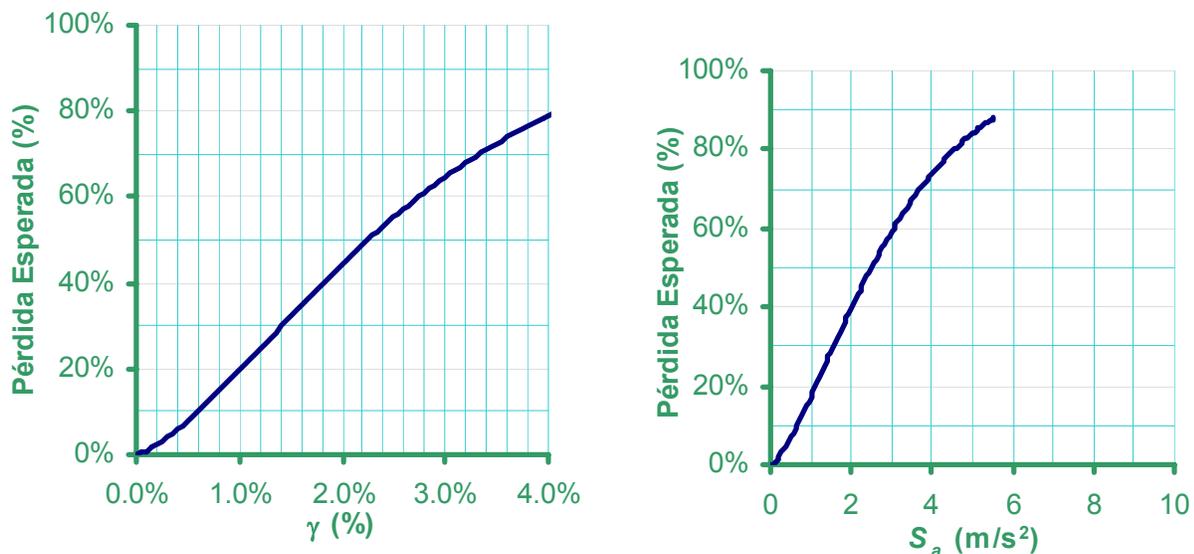


Figura 3- 18: Función de vulnerabilidad para estructuras de taquezal con cubierta pesada.

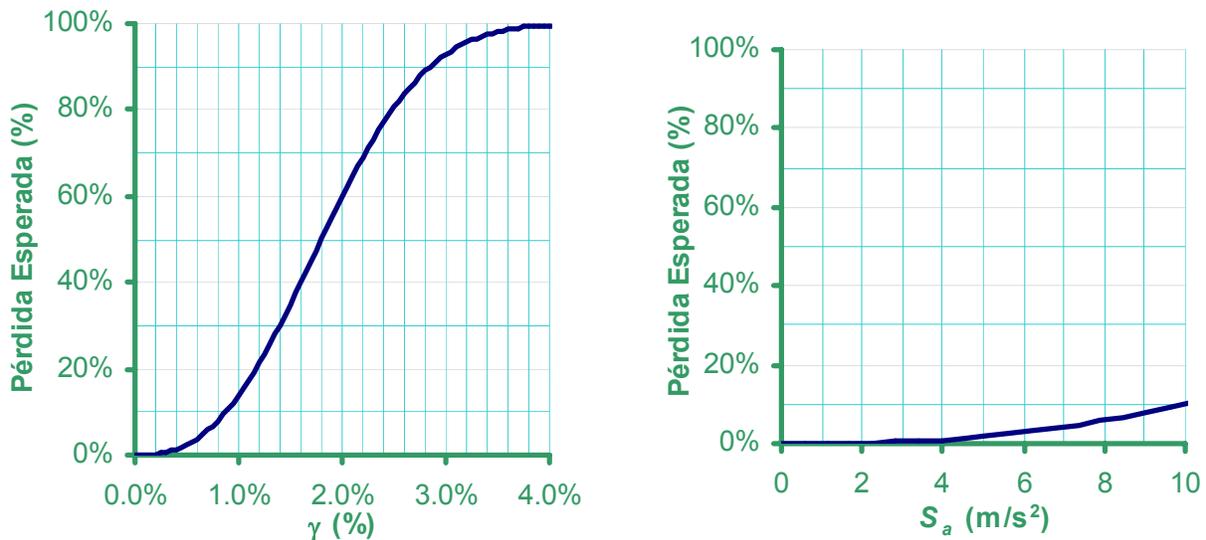


Figura 3- 19: Función de vulnerabilidad para estructuras de acero con cubierta ligera

Los valores de los parámetros γ y ρ que caracterizan a las funciones de vulnerabilidad para cada tipo estructural se muestran en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Valores de los parámetros $\bar{\gamma}$ y ρ para los tipos estructurales de Managua

#	Descripción tipo estructural	$\bar{\gamma}$	ρ
1	Adobe sin diafragma c/cubierta ligera	0.004084	3.4874
2	Adobe sin diafragma c/cubierta pesada	0.004084	3.4874
3	Marco de concreto con diafragma	0.018305	2.0847
4	Marcos de Concreto sin diafragma c/cubierta ligera	0.014145	1.6315
5	Marcos de Concreto sin diafragma c/cubierta pesada	0.013313	1.6315
6	Madera con losa de concreto	0.031003	2.3888
7	Madera sin diafragma c/cubierta ligera	0.031623	1.9770
8	Madera sin diafragma c/cubierta pesada	0.028460	1.9770
9	Muros de carga de mampostería con losa de concreto	0.004299	2.3249
10	Muros de mamposteria sin diafragma c/cubierta ligera	0.005159	3.6269
11	Muros de mamposteria sin diafragma c/cubierta pesada	0.004901	3.6269
12	Prefabricada sin diafragma c/cubierta ligera	0.006019	2.7899
13	Ripio sin diafragma c/cubierta ligera	0.024191	1.9770
14	Ripio sin diafragma c/cubierta pesada	0.019922	1.8781
15	Taquezal sin diafragma c/cubierta ligera	0.026895	1.1269
16	Taquezal sin diafragma c/cubierta pesada	0.022541	1.4086
17	Marcos de acero sin diafragma c/cubierta ligera	0.017989	2.6145

Vulnerabilidad de líneas vitales

El estudio realizado para las líneas vitales se hizo considerando la información disponible y el estado actual del conocimiento en lo referente a vulnerabilidad. Las futuras innovaciones en esta materia permitirá mejorar la caracterización realizada en este proyecto, y de igual manera, mejorar las estimaciones de daños en eventos sísmicos futuros.

Tuberías

Históricamente, el daño a las tuberías durante los sismos a menudo ha afectado todo el sistema de abastecimiento de agua. Las roturas de tuberías causan la pérdida rápida de agua y producen el vaciado de los tanques de almacenamiento.

El daño en tuberías enterradas está directamente relacionado con la deformación del suelo. Sin embargo, hay otros factores que deben ser estudiados con el propósito de hacer una adecuada evaluación del posible daño de las tuberías teniendo en cuenta sus características reales. Los principales factores pueden estar relacionados con: la propagación de ondas sísmicas, el tipo de suelo y la interacción entre la tubería y el suelo.

Una solución práctica para conocer la distribución del daño en las redes de tubería, ante sismos potenciales futuros, es recolectar datos de daños causados por sismos pasados en la red y relacionarlos con un parámetro sísmico (ej: aceleración, velocidad, etc.). De esta forma, se estaría calculando la relación de vulnerabilidad sísmica empírica para el sistema de distribución de agua analizado.

Eidinger (1998) desarrolló relaciones de vulnerabilidad con datos del sismo de Loma Prieta (1989), utilizando técnicas de sistemas de información geográfica para analizar los datos de daño de más de 3,300 millas de tuberías del sistema de agua EBMUD (East Bay Municipal Utility District), expuestas a varios niveles de movimiento del suelo. Algunos modelos de atenuación fueron desarrollados para estimar el nivel de velocidad en cada tramo de la red, éstos fueron calibrados con los valores obtenidos a partir de registros sísmicos de 12 estaciones existentes en el área de daño. La expresión propuesta por Eidinger (1998) es la siguiente:

$$NR = 0.00034433 VMS^{1.54} \quad (3.9)$$

donde: NR es la tasa de daño representada como el número de roturas por cada kilómetro de tubería; VMS es la velocidad máxima del suelo en cm/s. En la Figura 3- 20 se muestra la relación de vulnerabilidad sísmica propuesta por Eidinger.

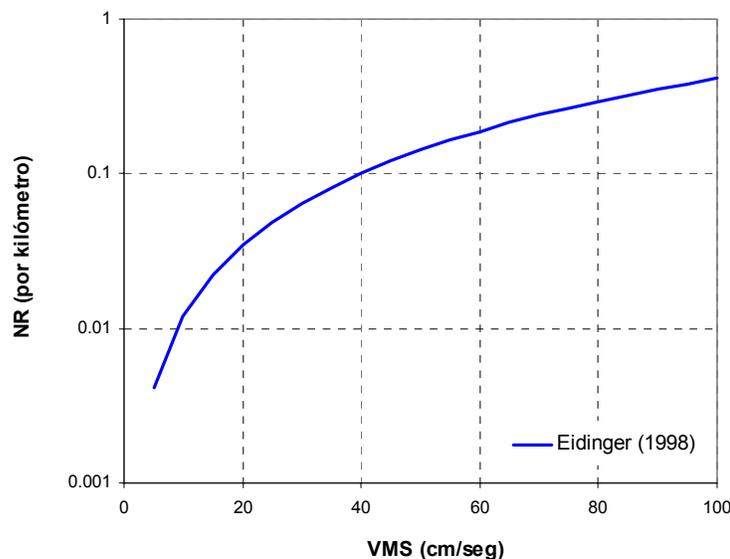


Figura 3- 20: Función de vulnerabilidad sísmica para tuberías (Eidinger, 1998)

Tanques

El funcionamiento adecuado de los tanques es un aspecto importante ya que el agua almacenada en éstos es crucial para las tareas de extinción de incendios que pueden ocurrir después de un evento sísmico. Asimismo, el colapso de tanques, a diferencia de muchas otras estructuras de los sistemas de agua, puede convertirse en una amenaza para la seguridad humana.

Los daños reportados a causa de sismos, en décadas pasadas, en tanques atmosféricos de almacenamiento de acero se refieren principalmente al fondo de tanques soldados. Por tanto, los daños que originan la pérdida de este tipo de estructuras se pueden clasificar en cuatro categorías generales:

- a. Pandeo en las placas en las paredes del casco y del fondo del tanque. El pandeo se presenta de forma más frecuentemente, por presencia de grandes deformaciones de las paredes del tanque hacia el exterior de este, y en el fondo de las placas del mismo, extendiéndose parcial o completamente alrededor del tanque, denominado a estas deformaciones tipo “pata de elefante”. Los daños se han limitado generalmente a tanques sin anclaje.
- b. Daños en el techo, situados muy cerca de las placas del último anillo del tanque, y en columnas de soporte interno del techo debido al “chapoteo” del líquido en el contenido del tanque.
- c. Daño en tuberías y otros accesorios conectados al tanque durante un movimiento de suelo.
- d. Daños debidos a fallas en la cimentación, fallas debidas a tuberías rotas y fallas debidas a cargas intensas.

En la Figura 3- 21 se muestra una representación gráfica de la función de vulnerabilidad para tanques propuesta por la American Lifelines Alliance (ALA, 2001), la cual originalmente se propone por medio de matrices donde se indica el daño observado como función de la aceleración máxima del terreno en el sitio que se ubica el tanque. Este estudio fue desarrollado con una base de datos de los daños observados en 532 tanques que experimentaron aceleraciones máximas del terreno superiores a 0.10 g durante los sismos ocurridos entre 1933 y 1994 en varias ciudades del mundo. En esta base de datos se incluyen los sismos de 1933 en Long Beach, 1971 en San Fernando, 1972 en Managua, 1979 Imperial Valley, 1985 en Chile, 1987 Nueva Zelanda, 1989 en Loma Prieta, 1994 Northridge, entre otros.

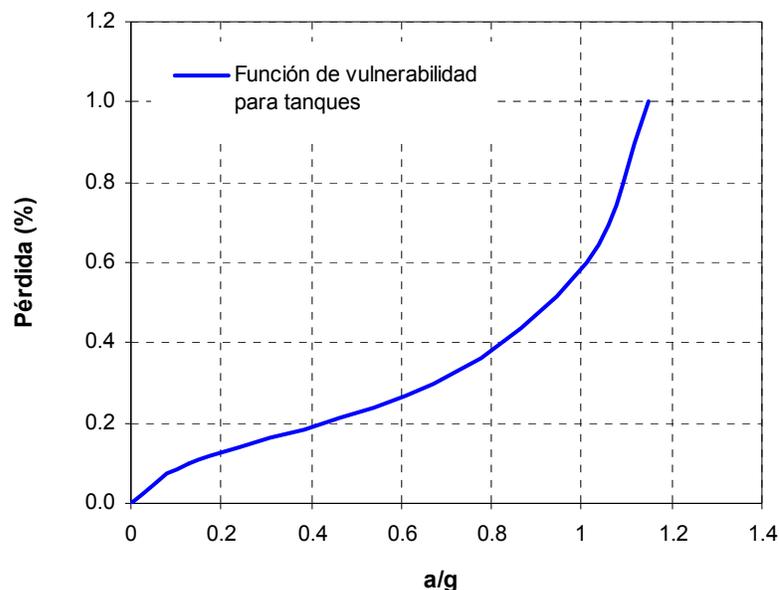


Figura 3- 21 Función de vulnerabilidad sísmica para tanques

Red de alta tensión

Los elementos de una red de alta tensión están constituidos por: subestaciones de alta tensión (115 kW o menos), torres de transmisión y líneas de alta tensión.

Subestaciones: Las subestaciones contienen equipo con formas muy particulares, a pesar de ello, se ha observado que el equipo anclado se comporta de manera adecuada, aun si el anclaje no ha sido diseñado para soportar el nivel de carga sísmica esperada. El equipo no anclado o mal anclado puede deslizarse o volcarse, lo cual podría dañar el equipo y provocar desperfectos en el suministro de energía.

Líneas de alta tensión: En general las líneas de alta tensión no presentan gran vulnerabilidad ante eventos sísmicos debido a que es poca la masa concentrada en la parte superior de las torres. La vulnerabilidad radica en que los transformadores no anclados pueden deslizarse o volcarse, los transformadores sobre postes que no han sido anclados también pueden caerse o el poste mismo puede desplomarse debido a la licuefacción del suelo en suelos arenosos.

La experiencia de sismos pasados revela que la vulnerabilidad de una red de alta tensión, en términos de su operatividad, se encuentra particularmente condicionada por los equipos de porcelana de las subestaciones eléctricas, este tipo de instalación ha sido afectada de modo reiterado por movimientos sísmicos intensos.

Las conclusiones sobre el desempeño esperado de redes de alta tensión en base a una estadística de 1400 equipos (Eidinger 1995), indican que en los equipos de 215 kW, al igual que en equipos de mayor nivel de tensión, los componentes más frágiles (columnas aisladoras de porcelana, interruptores de tanque vivo y transformadores de tensión) son más vulnerables que los equipos anclados o con centro de gravedad bajo.

Para equipos frágiles la probabilidad esperada de falla, en término medio, se puede expresar como (Rondon, 1997):

$$Pf = 0.21 + 0.43 (ao) \quad \text{para: } 0.05g < ao < 0.90g \quad (3.10)$$

En la siguiente Figura 3-22 se muestra la función de vulnerabilidad considerada para redes de alta tensión.

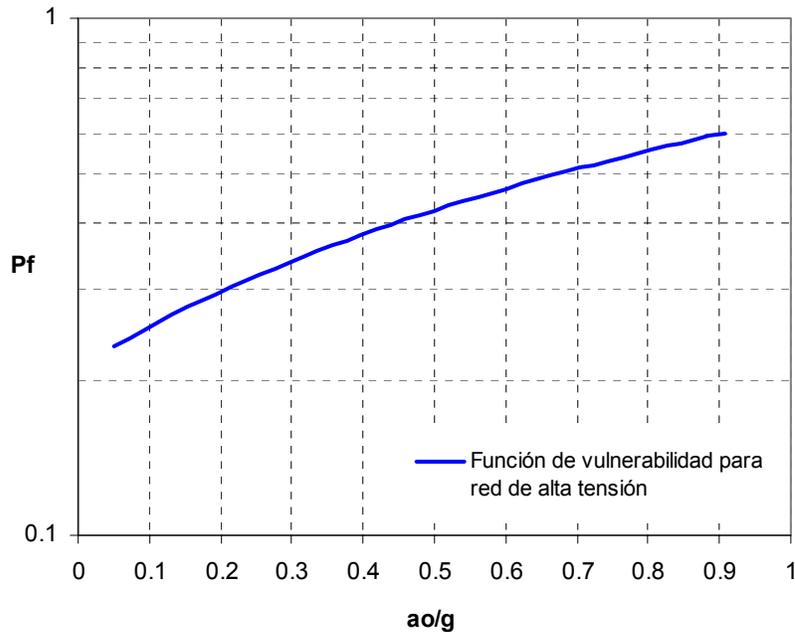


Figura 3-22 Función de vulnerabilidad sísmica para redes de alta tensión

Calles y Avenidas

Los daños en la infraestructura carretera principalmente son originados por los deslizamientos de tierra en los cortes, rellenos, terraplenes y agrietamiento de la superficie de rodamiento; también por hundimientos y rupturas en los cruces de líneas de suministro de agua, drenaje y alcantarillado, así como daños en las estructuras y asentamientos en las rampas de aproximación de los puentes.

Las calles y avenidas de Managua presentan poca vulnerabilidad ante la acción de un sismo, el daño que puede producirse es debido al corrimiento en una de las fallas geológicas que provocarían grietas que pueden repararse con relativa facilidad.

Durante el sismo del 23 de diciembre de 1972 se presentó poco daño a las vías de comunicación de Managua, excepto en el centro de la ciudad donde muchas calles quedaron bloqueadas por los escombros de los edificios. El daño en carreteras quedó limitado a una pequeña cantidad de grietas en el pavimento, generalmente asociado con asentamientos y fisuras en el material de relleno. La carretera Panamericana presentó una serie de grietas sobre 10 km (sur de Managua), así como el colapso de taludes. Se presentó el pandeo de vías de ferrocarril que atravesaban fallas geológicas.

Pérdida de vidas durante terremotos

Antecedentes

Más allá de las pérdidas económicas que los sismos ocasionan es prioritario proteger a las personas tanto de sufrir accidentes como de morir durante estos eventos, labor que debe estar a cargo tanto por parte de los gobiernos como por parte de la sociedad civil y sus individuos. En este trabajo se identifican las características de los sismos y de las estructuras que inciden en este riesgo, y algunos resultados estimados para Managua.

Estimar el número de víctimas que podría causar un sismo futuro es una actividad no solo delicada sino llena de incertidumbres y ninguna de las causas arriba mencionadas puede abordarse sin caer en grandes generalizaciones. Esto es porque para que un sismo cause víctimas se necesita la combinación de muchos factores, entre los que están los evidentes como la intensidad del sismo y la calidad de las construcciones, y además otros factores que hacen complejo el pronóstico como los sociales, económicos y culturales, y la interrelación de todos estos.

Durante el sismo de Managua de marzo 31, 1931, ocurrido a las 10:19 horas, se estima que se perdieron 1000 vidas y \$15 millones en pérdidas. En el sismo de diciembre 23, 1972, hubo 10,000 muertos, más de 20,000 heridos y 700 millones en pérdidas. La mitad de los 400,000 habitantes se quedó sin hogar. Desafortunadamente no parece existir un documento que relacione a las víctimas fatales con alguna otra variable como el tipo de estructura, uso del edificio, edad o perfil de las víctimas.

Causas de muertes durante sismos

Durante la ocurrencia de sismos en el mundo se ha observado que existen al menos cuatro causas por las que un sismo puede provocar muertos. Estas son:

1. Los que ocurren por causas individuales relacionadas con el pánico como infartos, arrojados desde pisos altos y caídas en intentos de evacuación. A la fecha no se tienen reportadas muertes asociadas a pánico grupal aunque no se descarta que en un futuro puedan ocurrir.
2. Los ocurridos por la caída o deslizamiento de los contenidos y elementos no estructurales de los edificios como muebles pesados, libreros, plafones, cristales rotos y objetos en repisas, entre otros.
3. Los ocurridos por el colapso parcial o total de los edificios.
4. Los originados indirectamente por los sismos que causan daños de grandes dimensiones como deslizamientos, derrumbes, licuación de arenas y maremotos.

Históricamente las víctimas causadas por pánico durante sismos muy intensos en el mundo solo se han podido contabilizar en sismos donde los daños no son muy grandes, y casi siempre se habla de uno o dos casos. Cuando hay colapsos, este dato es ignorado por la prensa que se concentra en las víctimas causadas por éstos. Aún más difícil es recabar información de muertos por golpes de elementos no estructurales y contenidos. En el 2003 ocurrió un gran sismo en Japón donde la prensa reportó más de 160 heridos por objetos dentro de sus casas y días después se notificó que al menos dos de estos habían perdido la vida. Recientemente se ha documentado que durante el sismo de Kobe (Hengjian et al., 2003) hasta un 6 por ciento de las víctimas mortales ocurrieron en edificios sin daño, causados por el pánico y el golpe de objetos. Para el caso de Managua podemos asumir que las muertes provocadas por estas dos causas (causas 1 y 2) serán muy difíciles de predecir pero a la vez muy pocas, del orden de uno a diez para sismos muy intensos. Por ello, en este trabajo limitaremos los alcances a cuantificar el número y tipo de afectados de acuerdo solo a los daños causados por el colapso de estructuras individuales (causa 3). Esto, para Managua, parece una simplificación razonable ya que no existirán daños por maremoto y por la configuración topográfica (causa 4) dentro del área de estudio y no debemos esperar la ocurrencia de deslizamientos masivos que afecten a varias construcciones simultáneamente.

Clasificación de víctimas durante un sismo

Podemos clasificar a las víctimas de un sismo en cuatro categorías:

1. Muertos (M)
2. Heridos de gravedad (Hg), requieren atención inmediata especializada de urgencias
3. Heridos (Hm), requieren hospitalización pero no está en peligro su vida
4. Heridos leves (Hl), requieren atención en el sitio

Con fines de rescate, conviene hacer una clasificación en términos de cuál fue la afectación que tuvieron dependiendo de su suerte como ocupantes después de la ocurrencia del sismo. Así, definimos si quedan atrapados o no y cómo influye el rescate en ellos de acuerdo a la Figura 3-23. Esta figura es un diagrama de la clasificación de muertos y heridos durante y después de la ocurrencia de un sismo. El estado final del ocupante se indica según ha muerto (M) o queda herido (H) y el número indica la etapa donde ocurre ese estado de manera que el estado 1 corresponde al momento de ocurrir el sismo y el 2 a días después.

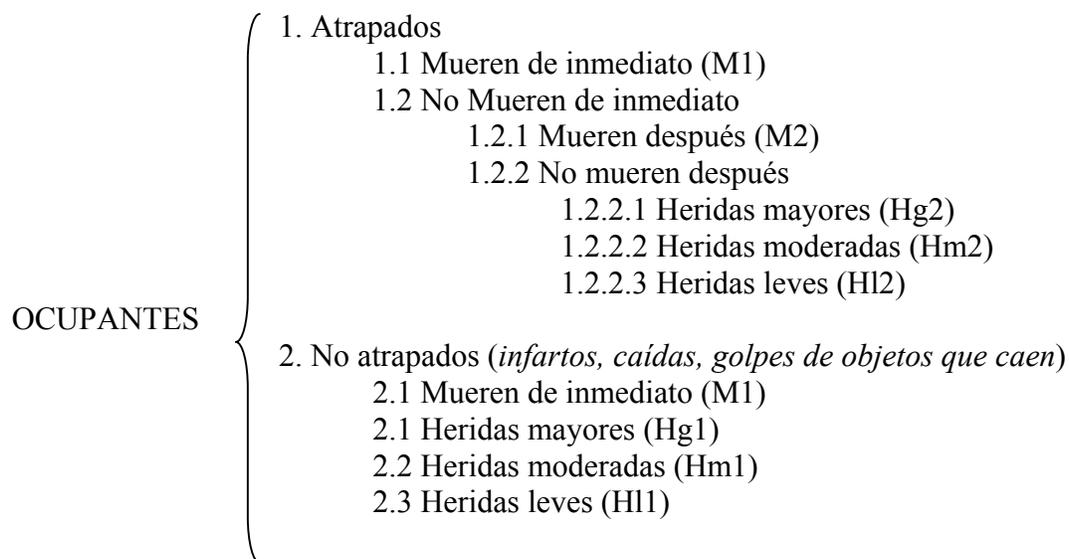


Figura 3-23 Cuadro sinóptico de la clasificación de muertos y heridos después de la ocurrencia de un sismo. El estado final del ocupante se indica según ha muerto (M) o queda herido (H) y el número indica la etapa donde ocurre ese estado de manera que el 1 corresponde al evento sísmico y el 2 a días posteriores.

El número de personas afectadas dependerá fundamentalmente de la intensidad del sismo y de la capacidad de las construcciones para resistirlo sin colapsarse o arrojar cuerpos pesados sobre las personas. Esto estará dado por la suma de los dos conceptos M1 que aparecen en la Figura 3-23 (conceptos 1.1 y 2.1).

La capacidad de reacción de la sociedad, en este caso de las instancias de emergencia que existan en Managua y de la organización de la población civil, tiene una influencia grande en los valores de M2. Esto no solo se refiere a la capacidad actualmente instalada sino que a mayores daños durante un evento sísmico, mayores valores de M2 proporcionalmente a la poca capacidad que se tendrá para atender simultáneamente a todos los edificios que presentaron colapso; desgraciadamente, no se tienen datos para poder hacer estimaciones para sismos futuros. De igual manera, otras condiciones pueden aumentar los valores de M2 como la época del año y la temperatura ambiente, la cantidad de agua de lluvia, etc. Por ejemplo, durante el sismo de Leninakan en Armenia fueron muy pocos los atrapados que fueron rescatados con vida debido al intenso frío que hubo durante la primera noche.

Metodología para estimar las víctimas por edificio durante eventos futuros en Managua

El primer paso para estimar las víctimas probables ante la ocurrencia de un sismo es calcular el riesgo sísmico de cada estructura. Para ello se deberá tomar en cuenta la intensidad sísmica y las características de vulnerabilidad. Una vez que se estima el riesgo se puede asociar esta a una cierta probabilidad de colapso. Esto no es fácil ya que el cálculo del riesgo sísmico puede arrojar una pérdida determinada pero esto no corresponde directamente a la probabilidad de colapso de esta estructura. Por la información que contamos en este estudio definiremos que a partir de una pérdida esperada mayor del 35 por ciento la probabilidad de que colapse la estructura es cercana a uno. Esto puede ser conservador para algunas

estructuras que a pesar de quedar muy dañadas no colapsan, pero no contamos con más información para llegar a un cálculo más exacto.

El número de víctimas, NV_i , para el edificio i de Managua dado un terremoto j se puede calcular como:

$$NV_i = Ocupantes_i \times Atrapados (\%) \times Fatalidad (\%) \times FC_j$$

Donde:

Ocupantes: es el número total de personas que están presentes en el edificio i a la hora que ocurre el sismo j ; este dato se obtiene de Alma Catastro (ver capítulo 6) y solo se tiene información para los edificios de vivienda.

Atrapados: en por ciento, es el número de personas que quedan con vida debajo de los escombros y depende del tipo estructural.

Fatalidad: en por ciento, es el número estimado de atrapados que eventualmente mueren.

FC_j: es el Factor de Colapso, de cero a uno, obtenido a partir del cálculo del riesgo sísmico dado por un terremoto j ; es una estimación de la probabilidad de colapso de la estructura a partir del daño de ésta.

A continuación se definen con mejor detalle estos factores.

Factor de Colapso (FC) de un edificio

El primer paso en el cálculo de víctimas mortales durante un sismo es definir si el edificio colapsará. Esto es muy difícil de hacerse de manera precisa, por lo que sólo se puede evaluar de manera general a través del porcentaje de daño. Por ello, es necesario evaluar el riesgo sísmico del edificio definiendo de la mejor manera posible sus dos grandes factores:

1. Intensidad sísmica: Magnitud, caída de esfuerzos, distancia y efectos de sitio.
2. Vulnerabilidad: tipo estructural, fecha construcción, número de pisos, uso, irregularidades en planta y elevación, golpeteo.

A partir del resultado de riesgo sísmico del edificio, hemos definido qué edificios podrían colapsar y de estos estimamos lo que le puede ocurrir a las víctimas. El resultado del riesgo sísmico es una estimación de la pérdida del 0 al 100%; es un resultado continuo por lo que no es posible indicar un solo valor bajo el cual la estructura colapsa. Así, estimamos de manera empírica con base en los daños observados en sismos tanto en México como en Managua que las estructuras con menos de 15 por ciento de pérdida no colapsarán, por lo que $FC=0$, y que las estructuras con pérdidas mayores a 35 por ciento colapsarán por completo, es decir, $FC=1.0$. Sin embargo, es posible que algunas estructuras, a pesar de experimentar poco daño, sufran algunos colapsos parciales que pudieran causar lesiones a sus ocupantes, por esa razón se propuso que la primera parte de la curva (entre daño 0 y 15%) sea una recta con un valor máximo de $FC=0.05$. Proponemos que la variación de las estructuras con pérdidas intermedias sea en forma parabólica, de la siguiente manera:

$$FC = \begin{cases} \frac{p}{300} & p \leq 15\% \\ \sqrt{\frac{1}{20}(p - 14.94987)} & 15\% < p \leq 35\% \\ 1 & p > 35\% \end{cases} \quad (3.11)$$

En la Figura 3-24 se muestra el cálculo de FC en función de la pérdida arrojada por el estudio de riesgo sísmico.

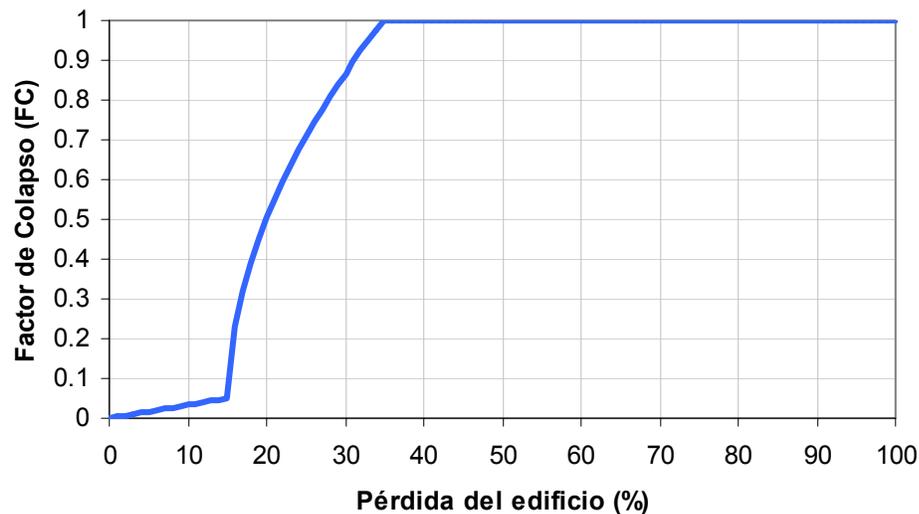


Figura 3-24 Cálculo del Factor de Colapso, FC , dada la pérdida obtenida del estudio de riesgo sísmico.

Factores que definen el número de atrapados con vida y la fatalidad

La experiencia mundial indica que no existe ningún edificio que sea cien por ciento letal. En todos ellos existen condiciones que permiten que sus ocupantes sobrevivan al colapso y, de haber buenas condiciones de rescate, poder salir con vida. Independientemente del riesgo sísmico del edificio y de todos los valores involucrados para definirlo, los siguientes son los factores que influyen, una vez que el edificio colapsa parcial o totalmente, en el número de atrapados con vida que en él se pueden encontrar.

1. **Intensidad sísmica:** si la duración del movimiento sísmico es mayor al tiempo de colapso se provocarán reacomodos que dificultarán el rescate. En el caso de Managua, al tratarse de sismos muy intensos pero cortos, este factor no se tomará en cuenta.
2. **Tipo de contenidos:** entre más voluminosos mayores espacios quedarán entre ellos. Debido a la falta de información sobre los contenidos no se tomará en cuenta esta variable para la estimación de víctimas.
3. **Hora de ocurrencia:** La hora de ocurrencia del sismo será, como se ha visto históricamente en varias ciudades y regiones del mundo, determinante para estimar a los afectados. Así, si el sismo ocurre en la noche afectará a las personas en sus viviendas, mientras que si ocurre en el día los ocupantes estarán repartidos en viviendas, escuelas y lugares de trabajo. Existe una transición entre ambos momentos, uno en la mañana y otro en la tarde, donde un alto porcentaje de la población se encuentra trasladándose, lo que también debe tomarse en cuenta en la estimación. En el caso del terremoto de Michoacán 1985 una circunstancia que sin duda influyó a que el número de víctimas fatales no fuera tan grande fue que el sismo ocurrió a la hora en que la gente se transportaba de su vivienda a escuelas y oficinas, y muchos de los colapsos ocurrieron cuando éstas estaban prácticamente vacías. En la Tabla 3- 3 se muestran los valores promedio de ocupación (basada en Spence et al. 2004); los valores de transporte han sido propuestos en este trabajo. También existirán variantes si consideramos el día de la semana ya que los factores de la Tabla 3- 3 son aproximadamente válidos para días hábiles pero serán muy diferentes para fines de semana o días festivos. Estos refinamientos no se hará en este estudio debido a que la base de

datos proporcionada por la Alcaldía de Managua solo tiene ocupantes para edificios de vivienda. Las estimaciones que resultaron de este trabajo son válidas para los sismos que ocurren en la noche cuando la mayor parte de la gente está en su vivienda. Para cálculos posteriores, los valores de la Tabla 3- 3 deben multiplicarse por el número de ocupantes indicados en la base de datos correspondiente.

Tabla 3- 3: Porcentajes de ocupación según la hora y el día de la semana

Ubicación de las personas	Día hábil			Fin semana y Festivos	
	Noche (%)	Transporte (%)	Día (%)	Noche (%)	Transporte / Día (%)
Vivienda	96	35	22	87	40
Calle y lugares abiertos	1	40	20	10	40
Lugares de trabajo	3	25	58	3	20
Total	100	100	100	100	100

4. **Edad y salud de los ocupantes:** Se tiene documentado que sitios con ocupantes con desventajas de salud y físicas tienen índices de fatalidad mayores hasta por 20%. Por ello, a partir del Uso del inmueble registrado en la base de datos se incrementará en ese porcentaje a los inmuebles cuyo uso sea Hospital, Guarderías, Clínicas de salud y Asilos. Durante el terremoto de México en 1985 el mayor número de muertos se concentró en adultos entre 25 y 40 años. Esto se debe en parte a que los muertos ocurrieron sobre todo en hospitales donde los trabajadores tenían en promedio ese rango de edad. Al no haber más información sobre esta variable no se tomará en cuenta para estimar los muertos en Managua.
5. **Tipo de estructura:** forma de colapso con o sin huecos, número de pisos, material de la estructura y del techo.

Es fundamental identificar el tipo estructural y su relación con el número estimado de atrapados después de un colapso y la posibilidad de rescatarlos con vida. Estudios del sismo de Kobe (Hengjian et al., 2003) indican que la mayor parte de los muertos (85%) ocurrieron en antiguos edificios de dos pisos de madera que no tenían espacio de supervivencia porque el sistema de piso colapsó completamente, que el 6% se presentó en edificios con colapso pero con espacio de supervivencia y, en contraste, otro 6% ocurrió en edificios sin daño. Pero esta realidad solo se presenta en esa ciudad. En Managua, como en el resto de las ciudades latinoamericanas, las víctimas mortales probablemente se presentarán en estructuras con poca ingeniería (adobe, mampostería sin confinar) o en estructuras de concreto reforzado poco dúctiles o previamente dañadas.

La fatalidad en edificios de mampostería varía desde 5-18% en Turquía y Italia hasta 75-90% en Irán (Pomonis et al., 1991). Según Pomonis et al. (1991) los edificios de concreto reforzado son los grandes responsables de las muertes durante terremotos, al menos durante los últimos 30 años. Si bien el concreto reforzado ha logrado la creación de estructuras económicas y muy resistentes, la eventual falla de estos resulta muy grave para sus ocupantes debido principalmente al tipo de colapso y al peso mismo del concreto. El primer colapso de una estructura de concreto reforzado ocurrió durante el sismo de Bucarest, donde este tipo estructural fue el causante de entre el 30 y el 80 por ciento de los muertos. La Tabla 3- 4 muestra un resumen de los sismos más importantes de 1977 a 1990 y los muertos causados por el concreto reforzado. Los muertos suman más de 20,000, que en total alcanzan alrededor de una sexta parte del total de muertos durante sismos (118,000) en el mismo lapso. El porcentaje de letalidad por edificio varía entre 20 y 97 por ciento.

Tabla 3- 4 Sismos ocurridos de 1977 a 1995 y los muertos causados por el colapso de estructuras de concreto reforzado

Sismo	Fecha	Hora	Colapsos	Muertos	Muertos en CR (%)
Bucarest, Rumania	4-Mar-77	21:21	23	1570	70
Thessaloniki, Grecia	20-Jun-78	22:03	1	45	80
Mexico, Mexico	19-Mar-79		1	35	90
Asnam, Algeria	10-Oct-80	12:25	1+	3500	40
Korinthos, Grecia	21-Feb-81	22:54	6	21	33
México, México	19-Sep-85	7:19	175	7700	80
Kalamata Grecia	12-Sep-86	20:25	1	20	30
San Salvador	10-Oct-86	11:49	8	1500	30
Leninakan Armenia	7-Dic-88	11:41	72	25000	30
Loma Prieta, USA	18-Oct-89	17:04	1	67	63
Newcastre, Australia	28-Dic-89	9:26	1	11	100
Luzón, Philippines	16-Jul-90	16:28	25+	1550	75
Carientini, Italia	9-Dic-90	1:24	3	20	75
Colima, México	9-Oct-95		1	35	100
Total				41074	896

En los dormitorios del Hospital General en el terremoto de México se llevó a cabo una entrevista con algunos de los sobrevivientes (Durkin y Ohashi, 1988) donde se encontró que 8 (44%) de ellos confesaron haber vivido gracias a los huecos dejados por vigas y contenidos; 10 (56%) de los sobrevivientes necesitaron tratamiento hospitalario; 16 (89%) quedaron atrapados aunque todos menos uno fueron rescatados dentro de las primeras 5 horas. Solo dos fueron rescatados por personal de emergencias, el resto por sus colegas y empleados del hospital.

El Factor de Letalidad (FL) se define como el cociente de número de muertos en un edificio que tuvo colapso parcial o total entre el número de ocupantes. Este factor depende de varios parámetros como el tipo estructura y su posible colapso, uso del edificio, niveles de ocupación del inmueble, tipo de movimiento del terreno, tipo de ocupantes y de acciones que ocurran después del sismo como capacidad de búsqueda y rescate. La efectividad en la estimación del número de muertos dependerá de la adecuada parametrización de los factores anteriores. Algunos factores dependen a su vez de otros, como la efectividad en la respuesta de rescate que será menor a medida que el edificio sea más grande o con más ocupantes. La Tabla 3- 5 muestra la fatalidad de algunos edificios de concreto reforzado en el mundo.

Tabla 3- 5 Algunas estructuras colapsadas de concreto reforzado y su índice de fatalidad

Sismo	Edificio	Uso	Ocupantes	Muertos	Fatalidad (%)
Michoacán 85	Nuevo Leon	Vivienda	1200	468	39
	Ctro Médico	Dormitorios	76	36	47
	Hospital Gral	Hospital	471	342	73
	Hospital Juárez	Hospital	950	561	59
San Salvador 86	Ctro Rubén Darío	"Centre"	500	300	60
	Sta. Catalina	Escuela	50	30	60
	Min. Planeación	Oficina	64	13	20
Kalamata 86	Departamentos	Vivienda	25	6	24
Leninakan 88	Textil	Fabrica	212	205	97
		Escuela	302	285	94
		Vivienda	40	10	25

En la Tabla 3- 6 presentamos un resumen de los porcentajes de atrapados y fatalidad para los tipos estructurales más comunes de Managua. Estos porcentajes han sido propuestos en función del tipo de colapso y del material de la estructura, y para ello hemos tomado en cuenta la experiencia de los sismos que han ocurrido durante los últimos 40 años en todo el mundo. En edificios sin colapso, los correspondientes porcentajes son nulos.

Tabla 3- 6: Porcentaje de atrapados y fatalidad para los tipos estructurales más comunes de Managua (en edificios con colapso).

#	Tipo estructural	Atrapados, %	Fatalidad, %
1	Adobe sin diafragma c/cubierta ligera	3	12
2	Adobe sin diafragma c/cubierta pesada	5	12
3	Marco de concreto con diafragma	30	50
4	Marcos de Concreto sin diafragma c/cubierta ligera	10	50
5	Marcos de Concreto sin diafragma c/cubierta pesada	20	50
6	Madera con losa de concreto	1	10
7	Madera sin diafragma c/cubierta ligera	1	10
8	Madera sin diafragma c/cubierta pesada	5	10
9	Muros de carga de mampostería con losa de concreto	3	12
10	Muros de mampostería sin diafragma c/cubierta ligera	5	12
11	Muros de mampostería sin diafragma c/cubierta pesada	7	12
12	Prefabricada sin diafragma c/cubierta ligera	10	12
13	Ripio sin diafragma c/cubierta ligera	1	50
14	Ripio sin diafragma c/cubierta pesada	1	50
15	Taquezal sin diafragma c/cubierta ligera	1	10
16	Taquezal sin diafragma c/cubierta pesada	1	10
17	Marcos de acero sin diafragma c/cubierta ligera	1	10

Factores que inciden en el número de rescates de las víctimas atrapadas con vida

Una vez que el edificio ha colapsado y dentro de él se encuentran víctimas que urge rescatar cuyo número está definido según los criterios del capítulo anterior, existen otros factores que afectan la eficiencia del rescate e influyen directamente en el valor de M2. Estos son:

1. Estructura: huecos para acceder y moverse dentro, peso total de la estructura colapsada, número de pisos. Estos factores ya se han tomado en cuenta en la Tabla 3- 6 de muertos según el tipo estructural. Sin embargo, se incrementará el valor estimado con el número de pisos llegando hasta factores adicionales de 30% para estructuras altas. Este aspecto está indicado en la Tabla 3- 5 en la columna que indica Fatalidad.
2. Daños secundarios: como, por ejemplo, fuego y fugas de gas. En el Centro Rubén Darío en San Salvador (El Salvador) la última víctima con vida fue rescatada al tercer día debido al fuego que quemó el edificio. Dada la dificultad de estimar si un colapso provocará incendios y cuál sería su magnitud, en este estudio se consideró que no ocurren incendios.
3. Efectividad y duración de las operaciones de rescate: tanto en personal como en equipo de todo tipo. En este estudio partiremos de que las labores de rescate serán efectivas y oportunas. Es de esperarse también que si el sismo es muy fuerte la magnitud del desastre sobrepase la capacidad para atenderlo lo que repercutirá en factores de letalidad mayores; esto tampoco se tomó en cuenta en los resultados.

4. Condiciones climáticas: el sismo de Leninakan Armenia, por ejemplo, tiene uno de los mayores índices de fatalidad en parte por la intensidad y el tipo constructivo pero también porque ocurrió durante el invierno y el frío era muy intenso. Por la altitud y latitud de Managua esperamos que las condiciones climáticas no sean un factor que acorte la vida de los atrapados por lo que este factor tampoco se tomó en cuenta.
5. Disponibilidad de tratamiento a heridos. En los cálculos presentados en este trabajo partimos de que habrá personal y material suficiente para atender las emergencias.

En resumen, se asumen las siguientes hipótesis para el cálculo de víctimas mortales en Managua debidas a sismo:

1. No habrá incendios que aumenten el número de víctimas
2. Se considera que el clima será templado, sin heladas ni calores excesivos que aumenten el número de víctimas
3. Se considera que las labores de emergencia no se verán rebasadas y que siempre habrá atención inmediata y hospitales suficientes
4. No se consideran explícitamente muertos por causas de pánico (infartos, caídas, arrojados) ni muertos por impacto de los contenidos del edificio. Sin embargo, el número estimado de muertos lo hemos aumentado 6 por ciento debido a posibles víctimas por estos efectos.

Evaluación del Grado de Riesgo de Incendio en Edificios

Durante la ocurrencia de un sismo pueden presentarse incendios, los cuales deben atenderse de manera independiente mientras se hace la completa evacuación del sitio. Esta será de acuerdo a las propias rutas de evacuación que dependen de su configuración arquitectónica y estructural. La mayoría de las construcciones en Managua son de uno o dos niveles, por lo que la evacuación se puede realizar en poco tiempo.

Para la estimación del riesgo es necesario que los dueños de las construcciones o sus habitantes aporten información útil. La falta de información a este respecto hace sumamente difícil que se puedan obtener resultados tangibles de los efectos de los incendios. La determinación del grado de riesgo de incendio se obtiene a partir de la siguiente tabla, la cual establece los criterios básicos. De esta clasificación depende el tipo de requisitos de seguridad que se deben emplear. Como son:

La estimación del riesgo se debe realizar por los dueños de los edificios y se clasificará de acuerdo a la siguiente tabla, la cual establece los criterios básicos para determinar su grado de riesgo. De esta clasificación depende el tipo de requisitos de seguridad que se deben emplear:

Tabla 3- 7: Determinación del grado de riesgo de incendio

CONCEPTO	GRADO DE RIESGO		
	BAJO	MEDIO	ALTO
ALTURA DE LA EDIFICACION, EN METROS	HASTA 25 <input type="checkbox"/>	NO APLICA <input type="checkbox"/>	MAYOR A 25 <input type="checkbox"/>
NUMERO TOTAL DE PERSONAS QUE OCUPAN EL LOCAL, INCLUYENDO TRABAJADORES Y VISITANTES	MENOR DE 15 <input type="checkbox"/>	ENTRE 15 Y 250 <input type="checkbox"/>	MAYOR DE 250 <input type="checkbox"/>
SUPERFICIE CONSTRUIDA EN METROS CUADRADOS	MENOR DE 300 <input type="checkbox"/>	ENTRE 300 Y 3000 <input type="checkbox"/>	MAYOR DE 3000 <input type="checkbox"/>
INVENTARIO DE GASES INFLAMABLES, EN LITROS (EN FASE LIQUIDA)	MENOR DE 500 <input type="checkbox"/>	ENTRE 500 Y 3000 <input type="checkbox"/>	MAYOR DE 3000 <input type="checkbox"/>
INVENTARIO DE LIQUIDOS INFLAMABLES, EN LITROS	MENOR DE 250 <input type="checkbox"/>	ENTRE 250 Y 1000 <input type="checkbox"/>	MAYOR DE 1000 <input type="checkbox"/>
INVENTARIO DE LIQUIDOS COMBUSTIBLES, EN LITROS	MENOR DE 500 <input type="checkbox"/>	ENTRE 500 Y 2000 <input type="checkbox"/>	MAYOR DE 2000 <input type="checkbox"/>
INVENTARIO DE SUDOS COMBUSTIBLES, (A EXCEPCIÓN, DEL MOBILIARIO DE OFICINA) EN KILOGRAMOS	MENOR DE 1000 <input type="checkbox"/>	ENTRE 1000 Y 5000 <input type="checkbox"/>	MAYOR DE 5000 <input type="checkbox"/>
INVENTARIO DE MATERIALES PIROFORICOS Y EXPLOSIVOS	NO TIENE <input type="checkbox"/>	NO APLICA <input type="checkbox"/>	CUALQUIER CANTIDAD <input type="checkbox"/>

Para la determinación del grado de riesgo:

- La clasificación se determinará por el grado de riesgo más alto que se tenga
- En caso de quedar clasificado en el grado de riesgo alto o medio, se podrá dividir la construcción en áreas aisladas para evaluarlas de acuerdo a la Tabla 3-6.
- Las áreas de paso, estacionamiento y esparcimiento, no se deben considerar como superficie construida.

Capítulo 4. Estudio de sismicidad y cálculo de curvas de amenaza

Amenaza sísmica. Modelos de la sismicidad local

Para los fines de este estudio, Nicaragua se ha dividido en un cierto número de fuentes generadoras de sismos, dictadas por la tectónica del país y por la historia instrumental de sismos registrados en el pasado. Después de analizar los diferentes estudios de amenaza sísmica que se han hecho en el pasado para el país, se decidió utilizar como base el modelo de sismicidad local propuesto en los documentos “Amenaza Sísmica para el Centro de la Ciudad de Managua” (Segura y Rojas, 1996) y “Microzonificación Sísmica de Managua” (INETER, 2000), aunque como se verá más adelante, también se exploró la influencia de variaciones sobre este modelo.

El modelo sismotectónico de INETER consta de las 13 fuentes horizontales del tipo área que se presentan en las figuras 4-1 y 4-2.

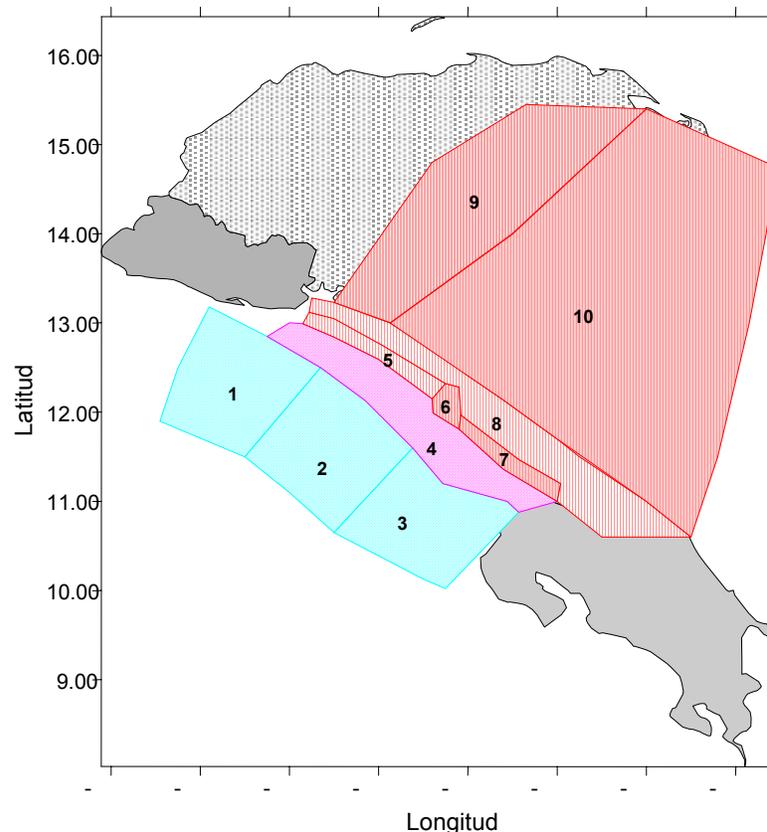


Figura 4- 1: Fuentes sísmogénicas del modelo INETER (1ª parte: fuentes superficiales)

Los documentos antes mencionados (Segura y Rojas, 1996; INETER, 2000) contienen descripciones detalladas de la sismicidad asociada a cada una de las fuentes, así como de los criterios para determinar sus parámetros de sismicidad. A continuación se da solamente una breve explicación de cada una de las fuentes consideradas.

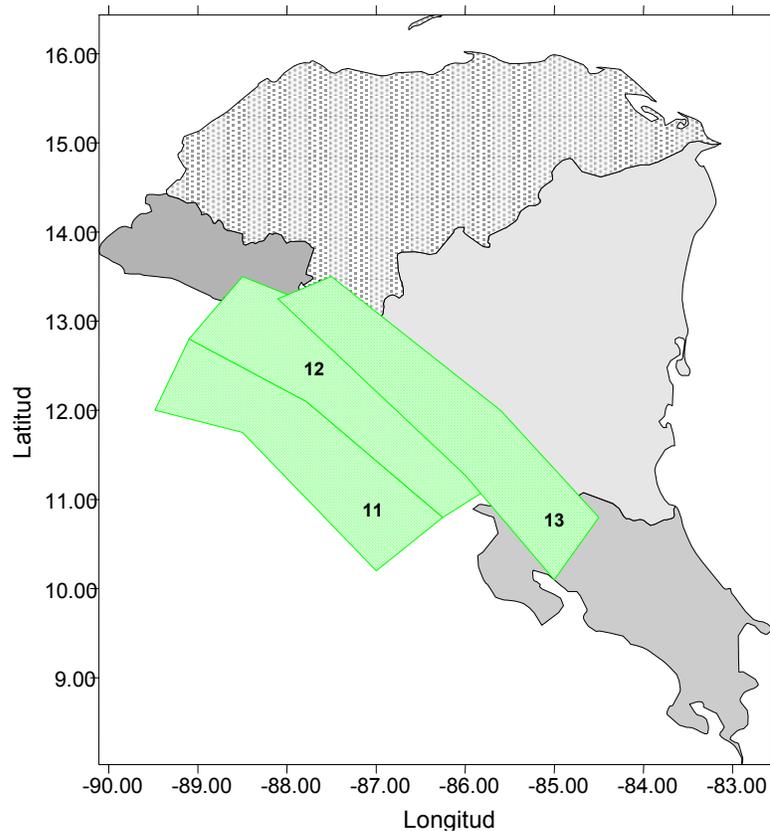


Figura 4- 2: Fuentes sísmogénicas del modelo INETER (2ª parte: fuentes de profundidad intermedia e intraplaca profundos).

Las fuentes 1-3 modelan los sismos resultado de la subducción de la placa de Cocos bajo la placa del Caribe. La fuente 4 incluye los temblores intraplaca, localizados en la Placa de Cocos subducida (y no en la interfaz, como los de las fuentes 1-3). Las fuentes 5, 6 y 7 se refieren a fallas corticales regionales asociadas a la Cadena Volcánica de Nicaragua, mientras que la fuente 8 modela la extensa zona regional del Graben de Nicaragua. La zona 9 está relacionada con la zona de fractura de Nueva Segovia-Guayape y la zona 10 modela la sismicidad tras-arco del Atlántico de Nicaragua. Todas estas fuentes están asociadas a sismos superficiales. Adicionalmente, se incluyen las fuentes 11 y 12 para tomar en cuenta los temblores de profundidad intermedia (30-110 Km) y la fuente 13 en que se incluyen los sismos intraplaca profundos (110-220 Km). A este modelo de 13 fuentes se le denominará Modelo 1.

Para el cálculo de la amenaza sísmica se supone que cada una de las fuentes genera sismos con una tasa uniforme por unidad de área. La actividad de la i -ésima fuente sísmica se especifica en términos de la tasa de excedencia de las magnitudes, $\lambda_i(M)$, que ahí se generan. La tasa de excedencia de magnitudes mide qué tan frecuentemente se generan en una fuente temblores con magnitud superior a una dada. La función $\lambda_i(M)$ considerada en este estudio es una versión modificada (Cornell and Vanmarcke, 1969) de la relación de Gutenberg y Richter (1954), en la cual la sismicidad queda descrita de la siguiente manera:

$$\lambda_i(M) = \lambda_{0i} \frac{e^{-\beta_i M} - e^{-\beta_i M_{ui}}}{e^{-\beta_i M_0} - e^{-\beta_i M_{ui}}} \quad (4-1)$$

donde $\lambda_i(M)$ es la tasa de excedencia de eventos sísmicos con magnitud M , es decir, el número de sismos promedio por año con magnitud mayor a M . λ_0 , M_0 y β son parámetros de sismicidad que definen la tasa de excedencia de cada una de las fuentes sísmicas y M_u es la magnitud máxima esperada en cada fuente.

Los parámetros de sismicidad para las zonas 1-13, tomados del trabajo de Segura y Rojas (1996), se presentan en la Tabla 4- 1. La definición de las zonas 14-16 así como la manera de obtener sus parámetros de sismicidad se describen a continuación.

Tabla 4- 1: Parámetros de las fuentes sísmicas consideradas en este estudio.

No.	Nombre	$E(\lambda_0)^1$ (1/año)	$E(\beta)^1$	$c(\beta)^2$	$E(\mu)^1$	$\sigma(\mu)^2$	M_0	H^1 (Km)
1	Subducción - Golfo de Fonseca	6.492	2.806	0.040	7.54	0.143	4.3	19.0
2	Subducción - Masachapa	7.823	2.429	0.030	7.52	0.160	4.3	17.0
3	Subducción - Papagayo	9.124	2.443	0.031	7.46	0.120	4.3	19.0
4	Intraplaca	1.720	1.955	0.037	6.33	0.162	4.3	16.0
5	Cortical CVN-1	0.214	2.921	0.050	6.06	0.180	4.3	12.0
6	Cortical CVN-2 (Managua)	0.150	1.433	0.280	6.28	0.214	4.3	6.0
7	Cortical CVN-1	0.184	1.817	0.080	6.18	0.223	4.3	12.0
8	Grabén de Nicaragua	0.907	1.794	0.081	6.06	0.233	4.3	13.0
9	Nueva Segovia-Guayape	0.476	2.024	0.072	6.94	0.233	4.3	16.0
10	Atlántico de Nicaragua	0.518	1.817	0.080	6.60	0.300	4.3	16.0
11	Profundidad intermedia 1	8.274	2.535	0.047	7.02	0.160	4.5	60.0
12	Profundidad intermedia 2	16.373	2.231	0.065	7.44	0.233	4.5	60.0
13	Sismos profundos	3.399	2.144	0.055	7.02	0.160	4.5	156.0
Fuentes extra: Modelo 2								
14	Subducción extra	13.833	2.559	0.034	7.51	0.141	4.3	19.0
15	Intraplaca extra	1.242	1.955	0.037	6.33	0.162	4.3	16.0
16	Cortical extra	0.630	1.968	0.107	6.35	0.230	4.3	13.0

Notas:

- 1 Valor medio calculado a partir de los propuestos por Segura y Rojas (1996)
- 2 Incertidumbre inferida de los valores propuestos por Segura y Rojas (1996)

La observación de la Figura 4- 1 sugiere que en los trabajos de Segura y Rojas (1996) e INETER (2000) las fuentes de subducción, intraplaca y corticales no se continuaron hasta Costa Rica porque el interés principal estaba en la evaluación de la amenaza en Managua y las fuentes en Costa Rica están suficientemente lejos como para ser ignoradas. Sin embargo, con el objeto de emplear un modelo completo que pueda servir de referencia para futuros estudios, en el presente trabajo se integró al estudio todas las fuentes sísmicas que pudieran afectar al territorio nicaragüense.

Como un primer intento de determinar la influencia de las fuentes en Costa Rica, formamos un segundo modelo sismotectónico que, además de las 13 fuentes ya señaladas, contiene otras tres, que se presentan en la Figura 4- 3: la fuente 14, asociada a la subducción, la 15 a los temblores intraplaca y la 16 a los corticales.

Se adoptaron como parámetros de sismicidad los que se indican en la Tabla 4- 1 (fuentes extra). Para determinarlos, se tomaron, en todos los casos excepto λ_0 , los promedios de las fuentes similares (subducción, intraplaca y corticales). Para λ_0 se tomó el promedio de la sismicidad por unidad de área. Al modelo con estas tres fuentes adicionales se le denominará Modelo 2.

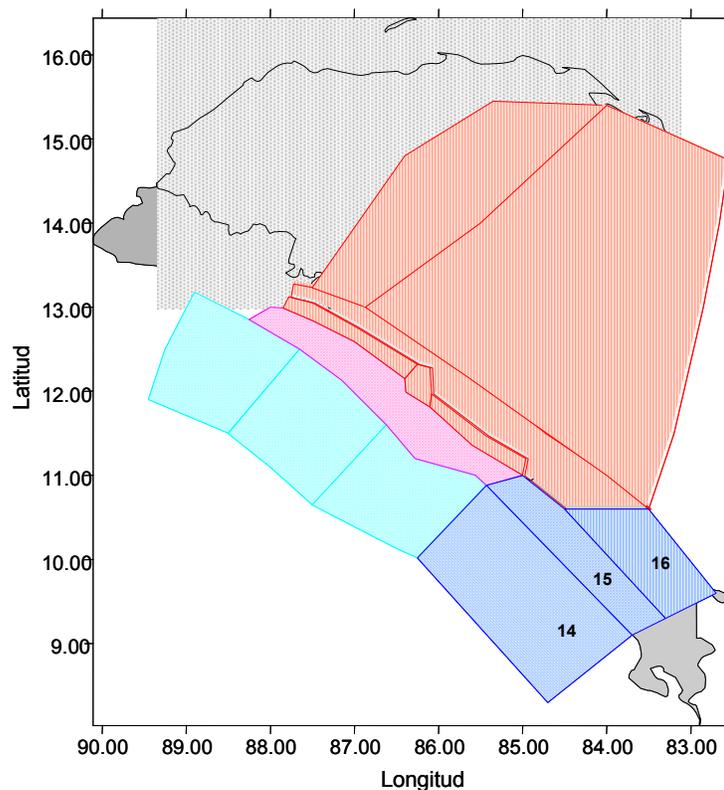


Figura 4- 3: Fuentes superficiales adicionales (14, 15 y 16) consideradas para el Modelo sismotectónico 2. Se incluye como referencia el resto de las fuentes superficiales.

Leyes de atenuación

Una vez determinada la tasa de actividad de cada una de las fuentes sísmicas, es necesario evaluar los efectos que, en términos de intensidad sísmica, produce cada una de ellas en un sitio de interés. Para ello se requiere saber qué intensidad se presentaría en el sitio en cuestión, hasta ahora supuesto en terreno firme, si en la *i*-ésima fuente ocurriera un temblor con magnitud dada. A las expresiones que relacionan magnitud, posición relativa fuente-sitio e intensidad se les conoce como leyes de atenuación.

Usualmente, la posición relativa fuente-sitio se especifica mediante la distancia focal, es decir, la distancia entre el foco sísmico y el sitio. Como se verá más adelante, se considera que las intensidades sísmicas relevantes son las ordenadas del espectro de respuesta S_a (pseudoaceleraciones, 5% del amortiguamiento crítico), cantidades que son aproximadamente proporcionales a las fuerzas laterales de inercia que se generan en las estructuras durante sismos.

Dadas la magnitud y la distancia epicentral, la intensidad sísmica no está exenta de incertidumbre por lo que no puede considerarse determinista. Suele suponerse que, dadas la magnitud y la distancia, la intensidad S_a es una variable aleatoria distribuida lognormalmente con mediana dada por la ley de atenuación y desviación típica del logaritmo natural igual a σ .

Siguiendo a Segura y Rojas (1996), en este estudio se ha tomado, para un primer análisis, la ley de atenuación de Climent *et al.* (1994) desarrollada para la aceleración máxima del terreno, A_{max} , en roca. De acuerdo con esta ley:

$$E(\ln A_{\max}) = -1.687 + 0.553M - 0.537 \ln R - 0.00302R \quad (4-2)$$

donde A_{\max} está en cm/s^2 . Se ha tomado $\sigma=0.6$, que es el valor promedio considerado en el estudio de Segura y Rojas (1996).

Para determinar leyes de atenuación para ordenadas espectrales asociadas a otros periodos (hay que recordar que A_{\max} puede considerarse como la aceleración espectral asociada a periodo nulo), se procedió como se señala en el trabajo de Ordaz et al (1989). A continuación se describe brevemente este procedimiento:

- 1) Se construye un modelo teórico de fuente y atenuación para el espectro de amplitudes de Fourier. En este caso se considera un modelo ω^2 de Brune (1970) con caídas de esfuerzo y parámetros elásticos y de atenuación apropiados para zonas de subducción (Ordaz y Singh, 1992).
- 2) Se determina la duración de fase intensa como función de la magnitud y la distancia.
- 3) Con el espectro de amplitudes y la duración de la fase intensa, es posible determinar tanto la aceleración máxima como las ordenadas espectrales a cualquier periodo y amortiguamiento, mediante el uso de la teoría de vibraciones aleatorias.
- 4) Los espectros de respuesta obtenidos se escalan a fin de que, dadas una magnitud y una distancia, la aceleración máxima del suelo tenga exactamente el valor predicho por la ley de atenuación, en este caso dada por la ecuación (4- 2).

Mediante este procedimiento fue posible construir leyes de atenuación para otras ordenadas del espectro de pseudoaceleraciones para 5% del amortiguamiento crítico.

En un primer modelo, se asignó esta ley de atenuación a todas las fuentes sísmicas. Sin embargo, es claro que la ley de Climent *et al.* no es apropiada para regímenes extensionales, como el que se tiene en una amplia zona de Nicaragua.

Por esta razón, en un segundo modelo, se utilizó la ley de atenuación SEA96 (Spudich *et al.*, 1996) para todas las fuentes sísmicas excepto las profundas y las de subducción. Esta ley de atenuación fue construida utilizando datos de diversas regiones del mundo, exclusivamente en regímenes extensionales, incluyendo Nicaragua y otros países de Centroamérica. Por esta razón, la consideramos adecuada para este estudio. Sin embargo, como se verá más adelante, la elección de ley de atenuación para las fuentes superficiales no resulta relevante.

La ley de atenuación SEA96 tiene la siguiente forma:

$$E(\log Y) = b1 + b2(M - 6) + b3(M - 6)^2 + b4R + b5 \log R + \Gamma b6 \quad (4-3)$$

donde:

Y es A_{\max} (expresada como fracción de g) o la ordenada de pseudovelocidad (en cm/s) para diversos periodos y 5% del amortiguamiento crítico.

$R = \sqrt{R_{JB}^2 + H^2}$, siendo R_{JB} la distancia Joyner-Boore, definida como la mínima distancia a la proyección en la superficie de la Tierra del área de falla y H un parámetro que se definirá más adelante.

$$\Gamma = \begin{cases} 0 & \text{roca} \\ 1 & \text{suelo} \end{cases}$$

$b1, b2, b3, b4, b5$ y $b6$ son parámetros que se dan en la Tabla 4- 2, junto con los valores de H y σ , la desviación estándar del **logaritmo natural** de Y .

Tabla 4- 2: Parámetros de las leyes de atenuación SEA96

T (s)	$b1$	$b2$	$b3$	$b4$	$b5$	$b6$	H (Km)	σ
0.00	0.156	0.229	0.000	0.000	-0.945	0.077	5.57	0.497
0.10	1.772	0.327	-0.098	0.000	-1.051	0.079	6.27	0.617
0.11	1.830	0.318	-0.100	0.000	-1.043	0.092	6.65	0.622
0.12	1.876	0.313	-0.101	0.000	-1.035	0.102	6.91	0.626
0.13	1.912	0.309	-0.101	0.000	-1.026	0.112	7.08	0.631
0.14	1.941	0.307	-0.100	0.000	-1.018	0.120	7.18	0.636
0.15	1.964	0.305	-0.099	0.000	-1.009	0.127	7.23	0.638
0.16	1.982	0.305	-0.098	0.000	-1.001	0.134	7.24	0.642
0.17	1.996	0.305	-0.096	0.000	-0.994	0.139	7.21	0.647
0.18	2.008	0.306	-0.094	0.000	-0.986	0.145	7.16	0.652
0.19	2.016	0.308	-0.092	0.000	-0.979	0.150	7.10	0.654
0.20	2.023	0.309	-0.090	0.000	-0.972	0.154	7.02	0.659
0.22	2.032	0.313	-0.086	0.000	-0.958	0.162	6.83	0.666
0.24	2.035	0.318	-0.082	0.000	-0.946	0.168	6.62	0.674
0.26	2.036	0.323	-0.078	0.000	-0.935	0.174	6.39	0.681
0.28	2.034	0.329	-0.073	0.000	-0.925	0.179	6.17	0.686
0.30	2.030	0.334	-0.070	0.000	-0.915	0.183	5.94	0.694
0.32	2.025	0.340	-0.066	0.000	-0.907	0.187	5.72	0.699
0.34	2.020	0.345	-0.062	0.000	-0.899	0.190	5.50	0.704
0.36	2.014	0.350	-0.059	0.000	-0.892	0.193	5.30	0.711
0.38	2.008	0.356	-0.055	0.000	-0.885	0.196	5.10	0.716
0.40	2.001	0.361	-0.052	0.000	-0.879	0.198	4.91	0.721
0.42	1.995	0.365	-0.049	0.000	-0.874	0.200	4.74	0.727
0.44	1.989	0.370	-0.047	0.000	-0.869	0.202	4.57	0.732
0.46	1.983	0.375	-0.044	0.000	-0.864	0.203	4.41	0.737
0.48	1.977	0.379	-0.042	0.000	-0.860	0.205	4.26	0.742
0.50	1.971	0.384	-0.039	0.000	-0.857	0.206	4.13	0.745
0.55	1.958	0.394	-0.034	0.000	-0.849	0.209	3.82	0.757
0.60	1.946	0.403	-0.030	0.000	-0.843	0.211	3.57	0.768
0.65	1.937	0.411	-0.026	0.000	-0.838	0.212	3.36	0.776
0.70	1.929	0.418	-0.023	0.000	-0.835	0.213	3.20	0.786
0.75	1.922	0.425	-0.020	0.000	-0.833	0.214	3.07	0.794
0.80	1.917	0.431	-0.018	0.000	-0.833	0.214	2.98	0.804
0.85	1.914	0.437	-0.016	0.000	-0.833	0.215	2.92	0.811
0.90	1.912	0.442	-0.015	0.000	-0.833	0.215	2.89	0.819
0.95	1.911	0.446	-0.014	0.000	-0.835	0.215	2.88	0.827
1.00	1.912	0.450	-0.014	0.000	-0.837	0.214	2.90	0.832
1.10	1.916	0.457	-0.013	0.000	-0.842	0.214	2.99	0.845
1.20	1.923	0.462	-0.014	0.000	-0.850	0.213	3.14	0.858
1.30	1.934	0.466	-0.015	0.000	-0.858	0.212	3.36	0.871
1.40	1.948	0.469	-0.017	0.000	-0.868	0.210	3.62	0.881
1.50	1.964	0.471	-0.019	0.000	-0.879	0.209	3.92	0.892
1.60	1.981	0.472	-0.022	0.000	-0.890	0.207	4.26	0.902
1.70	2.001	0.473	-0.025	0.000	-0.902	0.205	4.62	0.912
1.80	2.022	0.472	-0.029	0.000	-0.914	0.204	5.01	0.920
1.90	2.045	0.472	-0.032	0.000	-0.927	0.202	5.42	0.930
2.00	2.068	0.471	-0.037	0.000	-0.940	0.200	5.85	0.938

Nótese que para periodo $T=0.0$ (A_{max}) los coeficientes conducen a un valor de Y que está en fracciones de g , mientras que para otros periodos Y es la pseudovelocity (5% del amortiguamiento crítico) en cm/s^2 .

Los cálculos de amenaza sísmica se llevaron a cabo con el programa CRISIS2003 (Ordaz *et al.*, 2003), versión 1.2.100, mismo que se entrega como un anexo digital al presente informe. A continuación se describen los aspectos principales de este cálculo.

Ecuaciones básicas

En los procedimientos comunes para calcular la amenaza sísmica el territorio en estudio primero se divide en fuentes sísmicas de acuerdo con consideraciones geotectónicas; en la mayoría de los casos, se asume que, dentro de una fuente sísmica, puede darse un proceso independiente de ocurrencia de temblor. Para cada fuente sísmica tasas de excedencia de magnitudes, $\lambda(M)$, son estimadas por medio de análisis estadísticos de catálogos de sismos.

En este estudio las fuentes sísmicas son áreas, de tal forma que se lleva a cabo un proceso de integración espacial para tomar en cuenta todas las ubicaciones focales posibles. Generalmente se asume que, dentro de una fuente sísmica, todos los puntos tienen la misma probabilidad de ser un epicentro (sismicidad constante por unidad de área). En nuestro caso, las tasas de excedencia de aceleración debidas a una sola fuente sísmica -la i -ésima- son calculadas con la siguiente expresión (Esteva, 1967; Cornell, 1968):

$$v_i(u) = \sum_j w_{ij} \int_{M_0}^{M_u} \left(-\frac{d\lambda_i(M)}{dM} \right) Pr(SA > u | M, R_{ij}) dM \quad (4-4)$$

donde M_0 y M_u son la menor y la mayor magnitud considerada en el análisis, respectivamente, $Pr(SA > u | M, R_{ij})$ es la probabilidad de que la aceleración exceda el valor u en el sitio, dado que a la distancia R_{ij} se origina un temblor de magnitud M . R_{ij} son las distancias entre el sitio y los sub-elementos en los que se ha dividido la fuente. Un peso w_{ij} se ha asignado a cada sub-elemento, el cual es proporcional al tamaño del sub-elemento.

De acuerdo con las definiciones de la ecuación (4-4), el término $Pr(SA > u | M, R_{ij})$ es calculado como sigue:

$$Pr(SA > u | M, R_{ij}) = \Phi \left(\frac{\ln u - E(\ln(Sa | M, R_{ij}))}{\sigma} \right) \quad (4-5)$$

donde $\Phi(\cdot)$ es la distribución normal estándar y $E(\ln(Sa | M, R_{ij}))$ está dado por la correspondiente ley de atenuación.

Finalmente, se suman las contribuciones de todas las fuentes - N - a la amenaza sísmica del sitio:

$$v(u) = \sum_{i=1}^N v_i(u) \quad (4-6)$$

Este análisis se realiza para varios periodos estructurales.

Integración espacial

Se asume que, dentro de una fuente, la sismicidad está distribuida uniformemente por unidad de área. Para tomar en cuenta correctamente esta hipótesis en el modelo, se realiza una integración espacial subdividiendo las fuentes originales. Una vez dividida en sub-fuentes, toda la sismicidad asociada a una sub-fuente se asocia a un solo punto y de esta forma la integración espacial adopta una forma de suma.

Las fuentes son dadas originalmente como polígonos en 3D. Primero, el área de la fuente se subdivide en $N-2$ triángulos. Estos triángulos se dividirán después cuando se cumpla una de las dos condiciones siguientes:

- 1) El tamaño del triángulo es menor que cierto valor dado, el “tamaño mínimo de triángulo”. Es decir, el triángulo es subdividido si todavía es grande.
- 2) La razón entre la distancia sitio-fuente y el tamaño del triángulo es mayor que el valor de la razón entre “distancia mínima”/tamaño del triángulo. En otras palabras, el triángulo se subdivide si el sitio todavía no está lo suficientemente lejos.

La sub-sub-división se realiza por medio de una función recursiva. La distancia sitio-fuente se mide desde el sitio de cálculo actual al centroide del triángulo cuya posible subdivisión está siendo examinada. El tamaño del triángulo es simplemente la raíz cuadrada de su área. La sismicidad asociada a cada centroide es proporcional al área del triángulo. Si un triángulo tiene que subdividirse, esto se hace subdividiendo el triángulo en cuatro partes nuevas, cuyos vértices son los puntos medios de los tres lados del triángulo original.

Resultados para Managua

Como se ha señalado, se llevaron a cabo cálculos con dos modelos de atenuación. En el primero (modelo 1), se utiliza la relación de Climent *et al.* (1994) para todos los sismos, mientras que en el segundo (modelo 2), que consideramos nuestro modelo definitivo, se utilizan las ley de atenuación SEA96 (Spudich *et al.*, 1996) para las fuentes superficiales.

En la Figura 4- 4 se presentan los resultados de amenaza sísmica utilizando ambos modelos. Como puede observarse, para la ciudad de Managua no hay diferencia apreciable entre los resultados de ambos modelos, por lo que la elección de ley de atenuación para los sismos superficiales no es decisiva.

Se realizaron los cálculos para obtener niveles de amenaza para diferentes periodos de retorno en Managua. En particular, interesa conocer la amenaza (medido en términos de la aceleración máxima del terreno) para 100 y 475 años de periodo de retorno. La Figura 4- 5 muestra la curva de tasas de excedencia de aceleraciones máximas del suelo para la ciudad de Managua. De acuerdo con ella, la aceleración que corresponde a un periodo de retorno de 100 años es igual a 2.14 m/s^2 ($0.218g$) y de 3.13 m/s^2 para un periodo de 475 años.

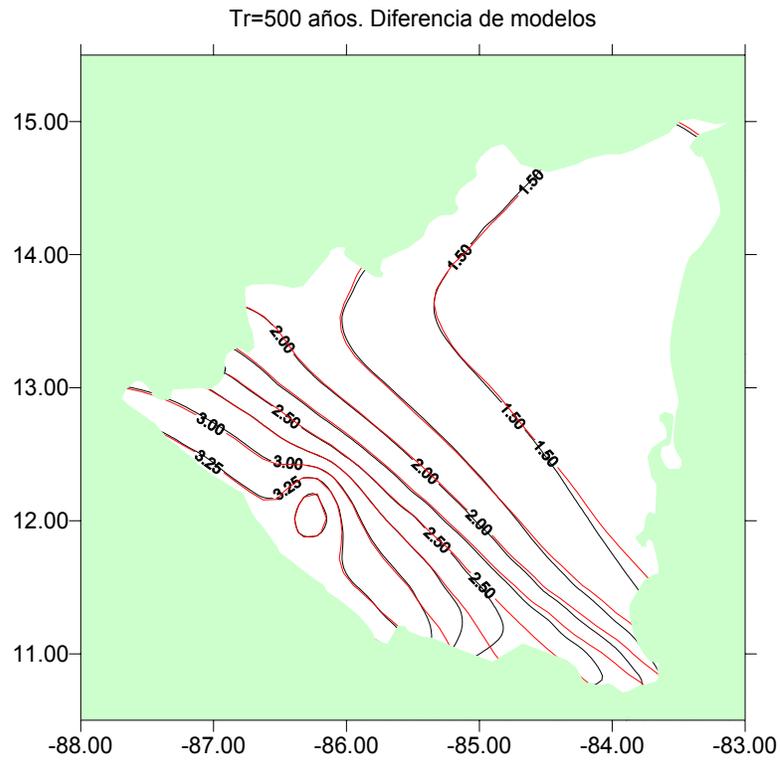


Figura 4- 4: Aceleraciones máximas del suelo para un periodo de retorno de 500 años con el modelo 1 en líneas negra y con el modelo 2 con líneas rojas.

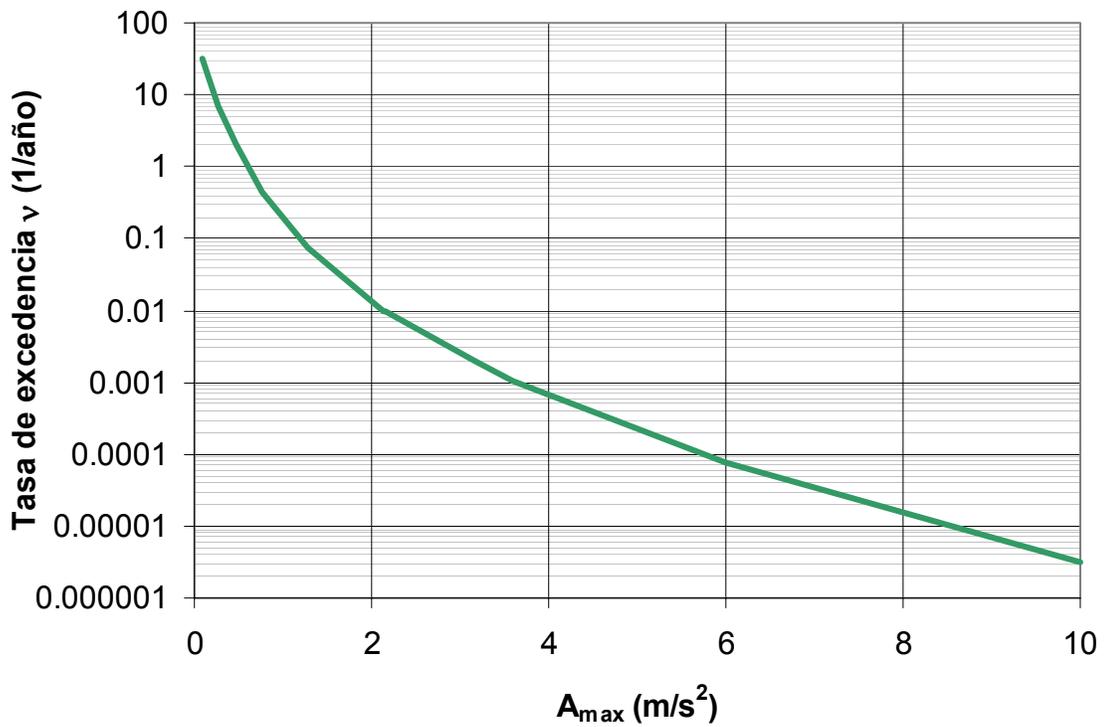


Figura 4- 5: Curva de tasa de excedencia para A_{max} en la ciudad de Managua

Los espectros de amenaza uniforme correspondientes a estos 2 periodos de retorno (100 y 475 años) se muestran en la Figura 4- 6.

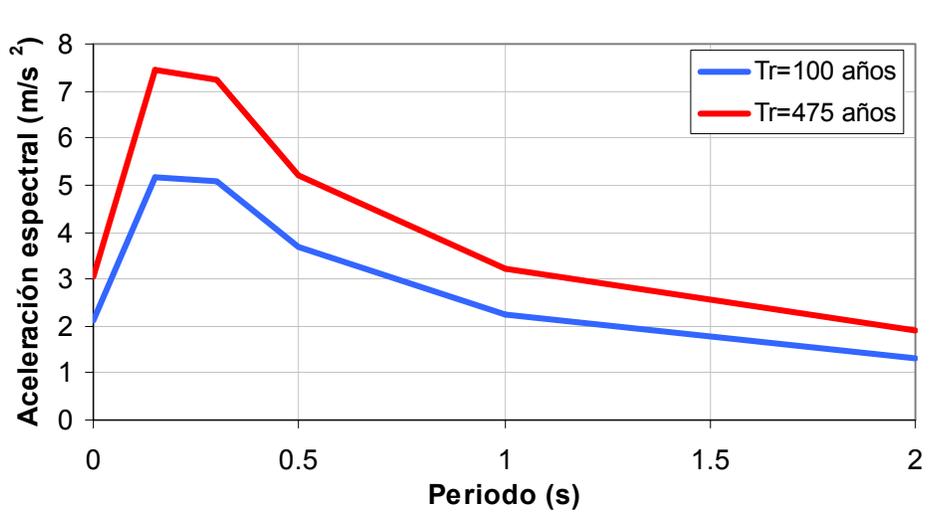


Figura 4- 6: Espectros de amenaza uniforme para 100 (azul) y 475 (rojo) años de periodo de retorno para la ciudad de Managua.

Tal como se ha mostrado en este capítulo, la determinación de la amenaza sísmica en un punto determinado (en este caso Managua) incluye el tratamiento riguroso de incertidumbres tanto en los parámetros de la actividad sísmica de las fuentes como en las leyes de atenuación. En la Figura 4- 7 se muestran los resultados de tasas de excedencia para ciertos periodos estructurales, y la correspondiente traza de su desviación estándar.

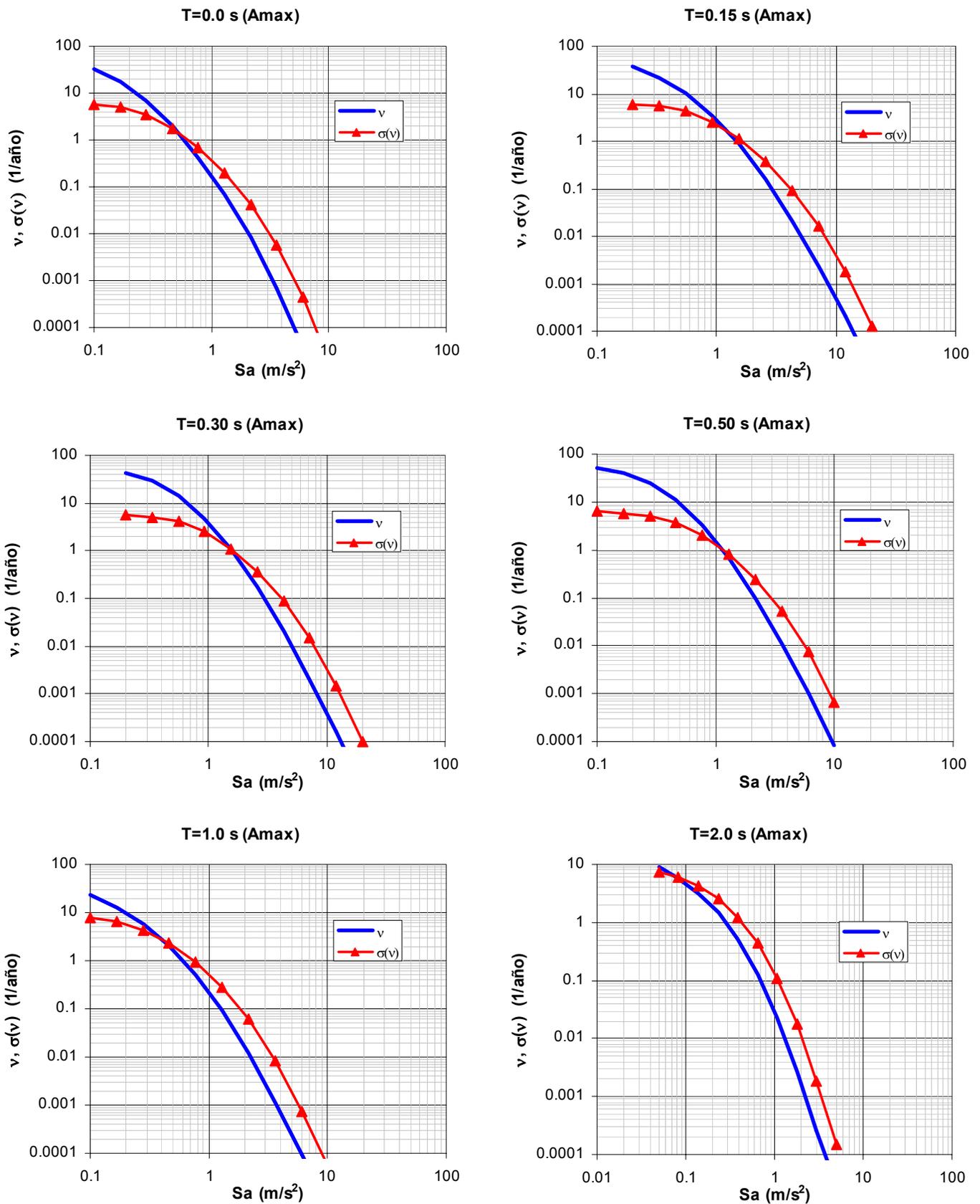


Figura 4- 7: Valor esperado de la tasa de excedencia (en azul) y su desviación estándar (en rojo) para distintos periodos estructurales

Capítulo 5. Cálculo de factores de amplificación y mapas de efectos de sitio

Como se ha hecho ver en el documento “Revisión de Información. Estudio de vulnerabilidad sísmica de Managua”, preparado por el Ing. Franklin Moore, los efectos de sitio en Managua han sido investigados por diversos grupos desde hace cerca de 30 años.

Para estas investigaciones se han empleado diversas técnicas. Históricamente, las primeras técnicas usadas fueron las analíticas (e.g., Faccioli *et al*, 1973), que generalmente han consistido en la modelación de la propagación unidimensional de ondas S, incidiendo verticalmente, a través de los estratos horizontales en que se supone dividido el suelo. El trabajo más completo a este respecto es el de Escobar y Corea (1998), quienes analizan la respuesta de sitio en decenas de sondeos de la ciudad de Managua. Los resultados principales se consignan en dos mapas. En el primero (ver Figura 5- 1) se representan las amplificaciones espectrales máximas y en el segundo (ver Figura 5- 2) se representan las aceleraciones máximas del suelo calculadas para un sismo de magnitud 6.5, llamado por los autores el “sismo máximo probable”. En el siguiente inciso se harán más comentarios a este respecto.

Posteriormente vinieron las técnicas empíricas, como las empleadas por Guzmán y Atakan (1998), Guzmán y Lindholm (1998) y Guzmán (1999). En estos estudios se ha dado una gran importancia a tratar de estimar la “frecuencia predominante del sitio”. Como señalaremos más adelante, más allá de identificar si se trata de un suelo rígido o de un suelo blando, para el caso de Managua esta frecuencia es de utilidad muy limitada.

En términos generales, los estudios empíricos son consistentes en el sentido de que se detectan para Managua, casi sin excepción, parámetros que corresponden a suelos rígidos, como frecuencias dominantes altas (mayores que 2 Hz). Por lo que respecta a los factores de amplificación medidos con la técnica de Nakamura, estos son generalmente moderados (rara vez superiores a 3) aunque, como se sabe, las amplificaciones calculadas con esta técnica deben tomarse como indicativas solamente. En vista de esta situación, el INETER concluye en su reporte de 2000 (INETER, 2000) que bastaría definir a toda la ciudad de Managua como una sola zona de terreno firme.

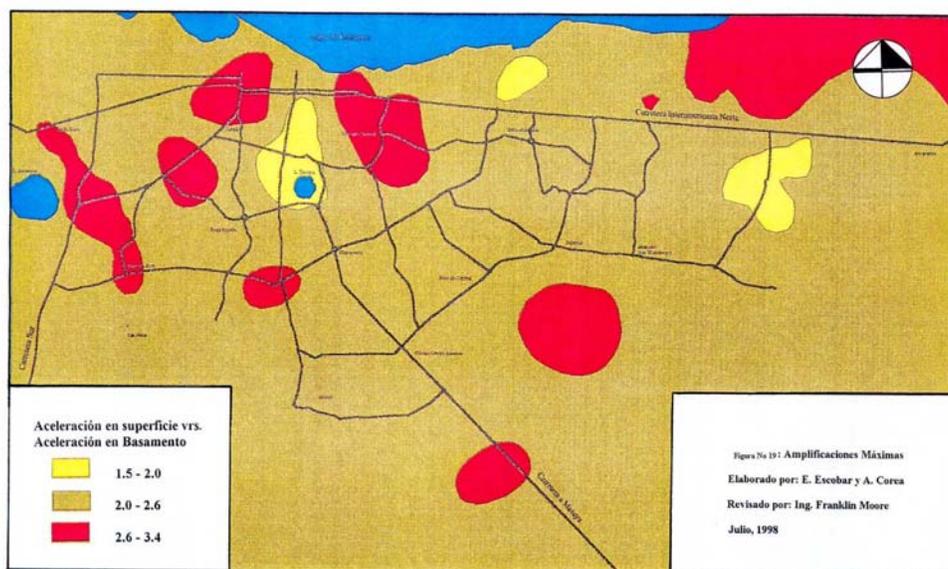


Figura 5- 1: Mapa de amplificaciones espectrales máximas calculadas por Escobar y Corea (1998) en la ciudad de Managua.

En lo que sigue mostraremos algunos cálculos preliminares que nos llevan a la misma conclusión que INETER. Haremos ver que aún en los sitios con amplitudes calculadas relativamente altas (alrededor de 3) son de esperarse movimientos del suelo no muy diferentes que los que se esperarían en otras zonas más firmes. Por otro lado, mostraremos indicios de que el tamaño de los movimientos del suelo

esperados es casi independiente de la frecuencia natural del sitio, al menos para el subconjunto de sitios examinados hasta ahora.

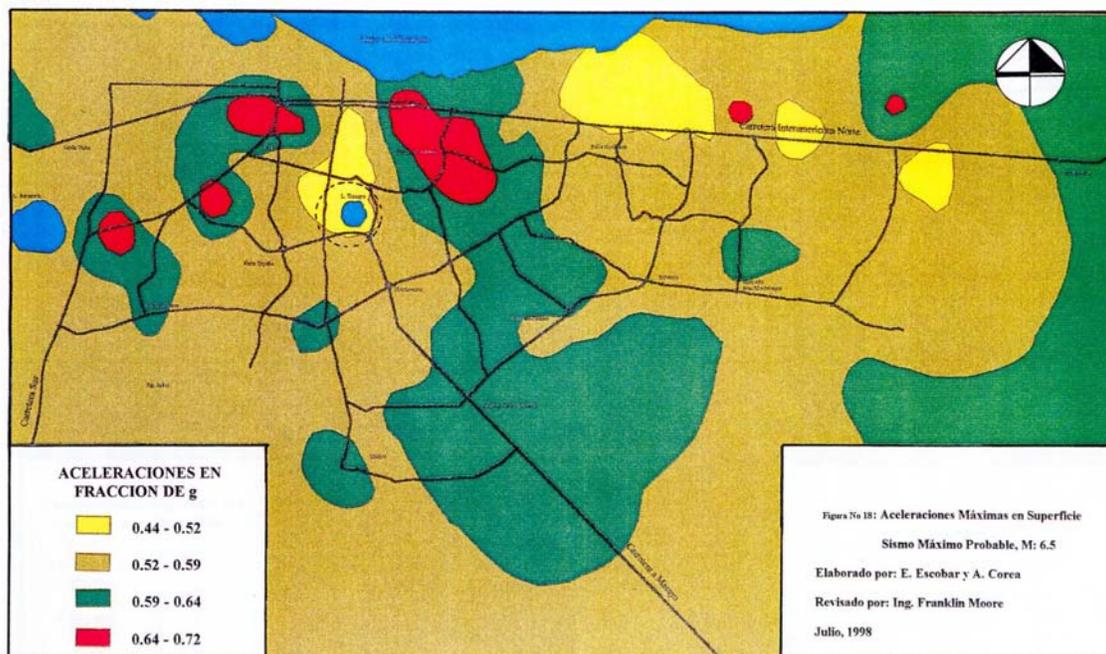


Figura 5- 2. Mapa de aceleraciones máximas del suelo durante un sismo de magnitud 6.5, calculadas por Escobar y Corea (1998) en la ciudad de Managua.

Cálculos de efectos de sitio

Como se señaló, los estudios de vibración ambiental y, en general, todos los de naturaleza empírica, llevan a la conclusión de que el suelo en Managua es, desde el punto de vista de la amplificación sísmica, relativamente homogéneo. Por tanto, para distinguir posibles microzonas en la ciudad, el camino que queda es el de interpretar los resultados de la modelación analítica del suelo.

Para ello, hemos hecho cálculos orientados a estimar los movimientos del suelo que pudieron haberse presentado durante el sismo de 1972 en diversos sitios de la ciudad. Nuestra base ha sido el registro acelerográfico obtenido en 1972 en la refinería ESSO. A partir de la información estratigráfica disponible para este sitio, hemos estimado, por deconvolución, el acelerograma que se hubiera registrado en un afloramiento de roca. Este acelerograma, por su parte, ha sido considerado el movimiento de entrada en la base de estratigrafías de sitios localizados en diversas partes de la ciudad, y con esto ha sido posible tener una idea de la variación estimada del movimiento del suelo durante este evento significativo.

Conviene señalar que, en esta etapa, todos los cálculos se han hecho considerando comportamiento lineal de los materiales. Esto, desde luego, no se verificaría durante la ocurrencia de un sismo intenso. Sin embargo, el efecto no lineal, al menos parcialmente, se cancela debido a que en nuestros cálculos intervienen dos operaciones: la deconvolución de la señal en la refinería ESSO y su posterior convolución en otros sitios. Es de esperarse que los efectos no lineales varíen de sitio a sitio. Sin embargo, la ejecución de dos operaciones inversas atenúa, al menos parcialmente, esta variación.

Existen diversas fuentes de información por lo que respecta a parámetros geodinámicos de los suelos de Managua. En el presente análisis hemos considerado las siguientes fuentes:

- 1) El estudio de Faccioli *et al* (1973), en que se estudia la respuesta en los sitios refinería ESSO, teatro Rubén Darío, hotel Balmoral y Colonia Centroamericana.
- 2) El estudio de Johansson (1988), en que se examinan los sitios INTER, Banco de América, ISCA, refinería ESSO y teatro Rubén Darío.
- 3) El estudio de Escobar y Corea (1998) en que se estudian decenas de estratigrafías, de las cuales hemos elegido 3: el sitio A4, representativo de la estratigrafía en la refinería ESSO, y los sitios B10 y B11. Estos últimos se escogieron porque en el estudio de Escobar y Corea aparecen como sitios en que serían de esperarse las mayores aceleraciones de la ciudad de Managua.

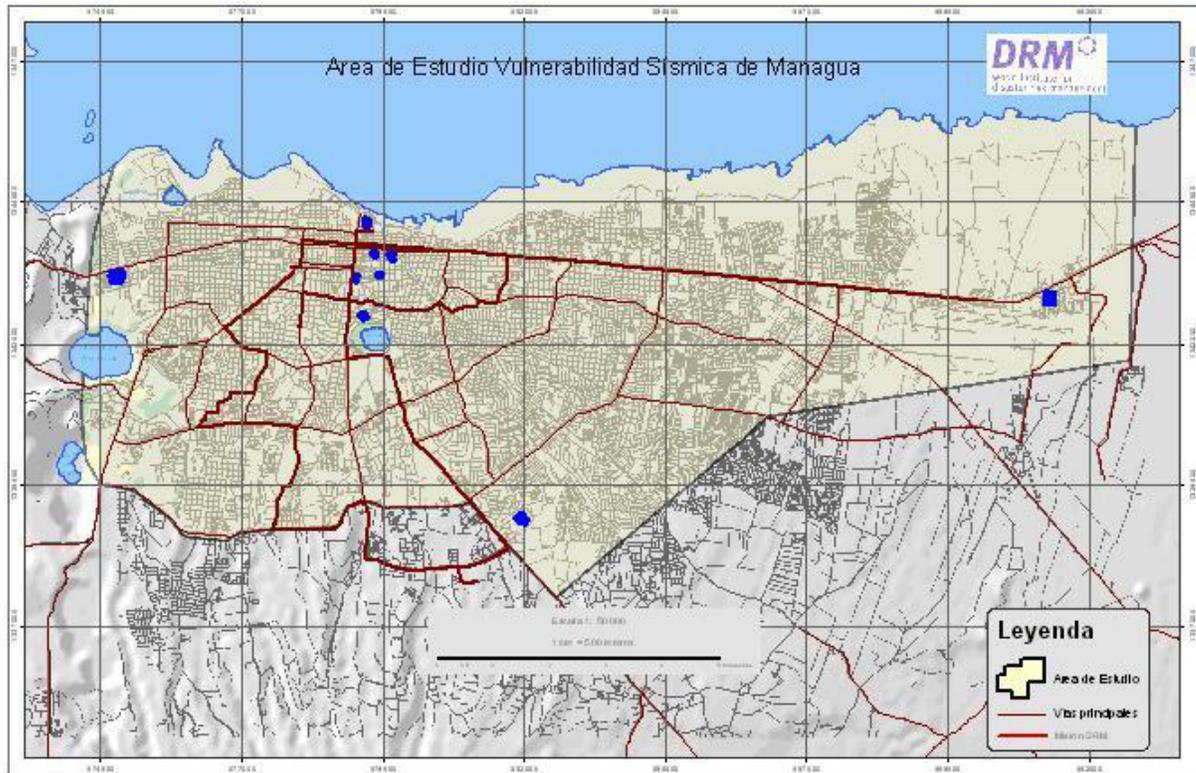


Figura 5- 3: Ubicación de puntos estudiados

Resultados para el sismo de 1972

Los sitios examinados se muestran en la Figura 5- 3, mientras que en la Figura 5- 4 se presentan los acelerogramas obtenidos por deconvolución en la refinería ESSO, utilizando las tres diferentes estratigrafías que se indican. Los cálculos son para el componente EW del movimiento registrado durante el sismo de 1972.

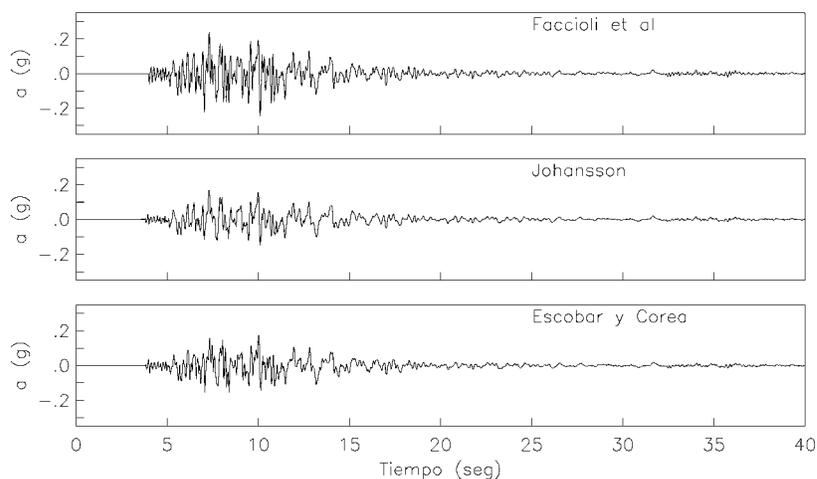


Figura 5- 4: Acelerogramas obtenidos por deconvolución en la refinería ESSO, utilizando las tres diferentes estratigrafías que se indican. Los cálculos son para el componente EW del movimiento registrado durante el sismo de 1972

En las figuras 5-5 a 5-7 se presentan los acelerogramas calculados para el grupo de sitios cuyos datos han sido tomados de los trabajos de Faccioli *et al* (1973), Johansson (1988) y Escobar y Corea (1998), respectivamente.

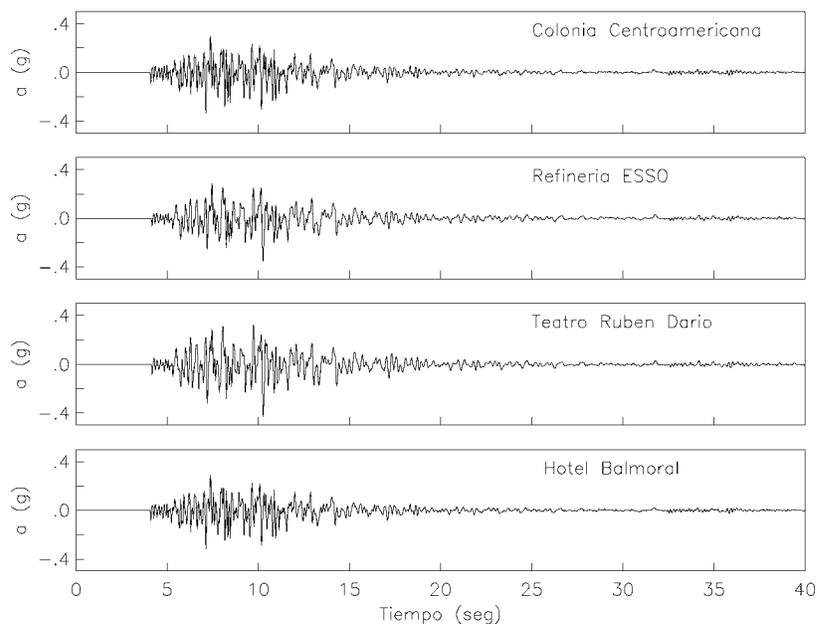


Figura 5- 5: Acelerogramas calculados para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Faccioli *et al* (1973)

Puede observarse que, en términos generales, los acelerogramas son muy parecidos, independientemente de la estratigrafía usada para hacer la deconvolución. Esto, a pesar de que, como puede apreciarse en las figuras 5-8 a 5-10, las funciones de amplificación asociadas a cada sitio son muy diferentes.

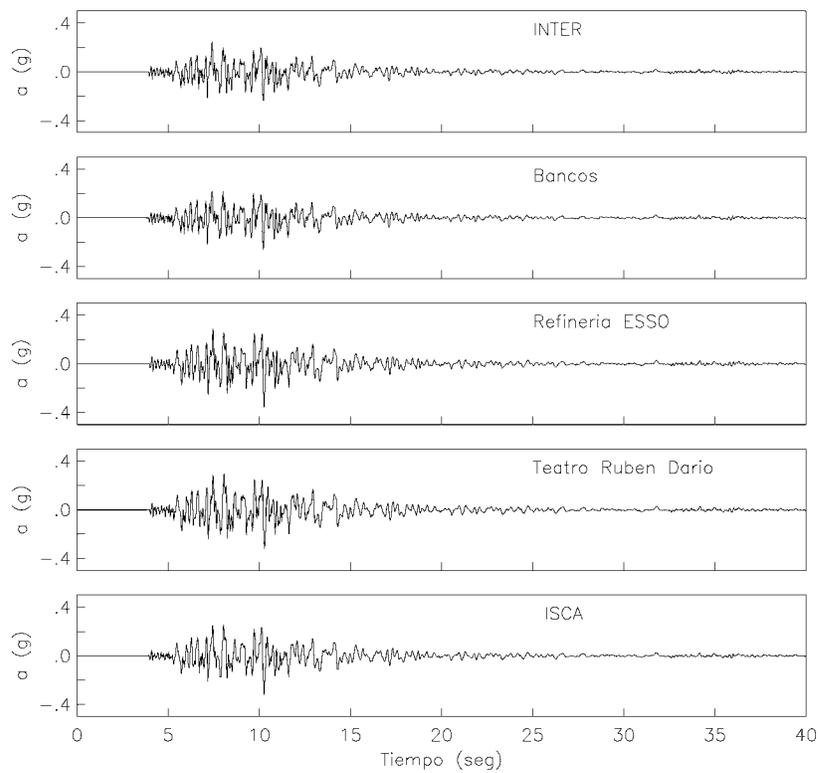


Figura 5- 6: Acelerogramas calculados para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Johansson (1988)

Que los acelerogramas calculados son de características similares independientemente del autor de las estratigrafías y del sitio en particular se corrobora con lo presentado en la Figura 5- 11, en donde se muestran los espectros de respuesta de todos los acelerogramas presentados en las figuras 5-5 a 5-7.

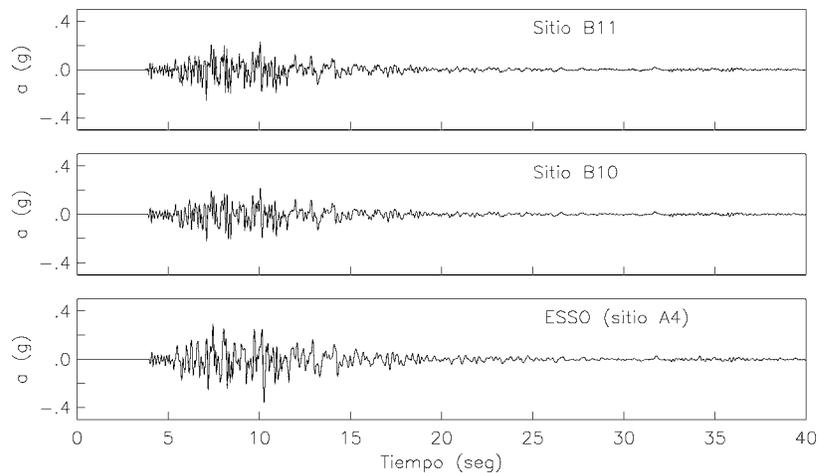


Figura 5- 7: Acelerogramas calculados para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Escobar y Corea (1998)

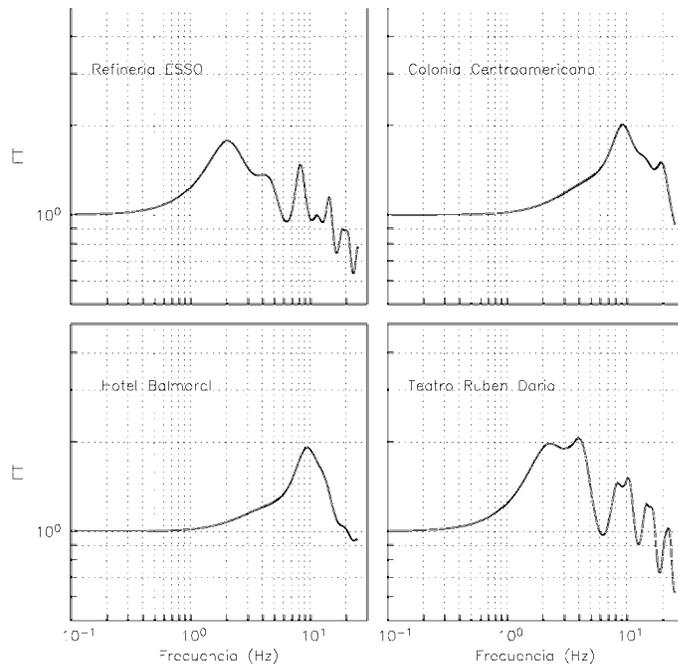


Figura 5- 8: Funciones de amplificación calculadas para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Faccioli *et al* (1973).

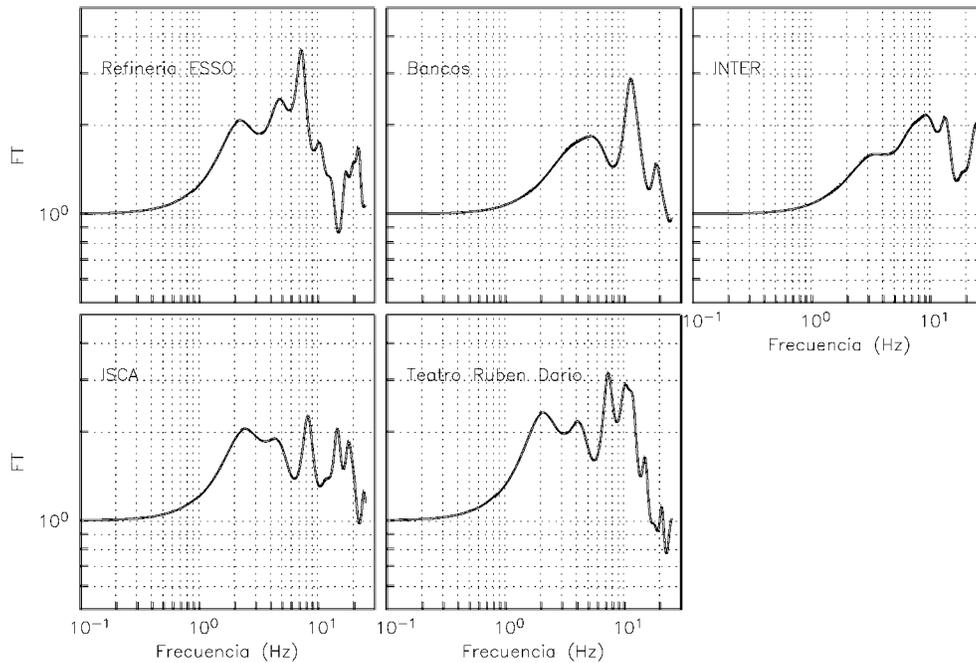


Figura 5- 9: Funciones de amplificación calculadas para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Johansson (1988)

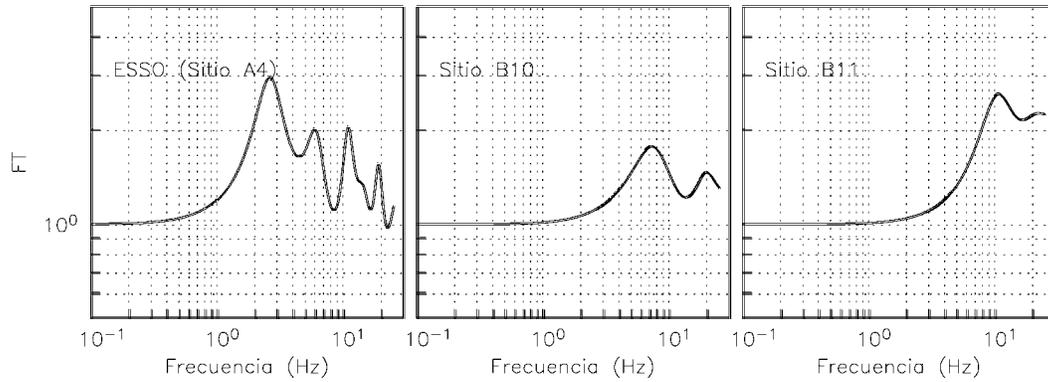


Figura 5- 10: Funciones de amplificación calculadas para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Escobar y Corea (1998)

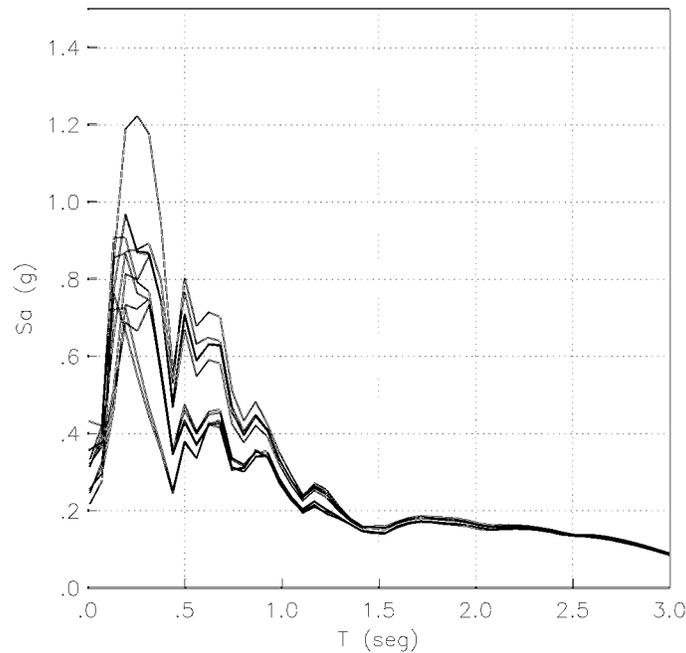


Figura 5- 11: Espectros de respuesta (seudoaceleraciones, 5% del amortiguamiento crítico) de los acelerogramas mostrados en las figuras A4-5 a A4-7. El espectro con la máxima ordenada espectral corresponde al sitio Teatro Rubén Darío utilizando las estratigrafías de Faccioli et al (1973)

Resultados para un sismo hipotético de subducción

Los resultados presentados en el inciso anterior son válidos para sismos con un contenido espectral similar al del temblor de 1972 registrado en Managua. Sin embargo, queda la duda sobre cómo serían los patrones de amplificación en otros casos. Estudiaremos estos patrones para un gran evento de subducción.

A diferencia de lo que ocurre para los sismos cercanos, no se dispone de registros acelerográficos para un gran evento de subducción que, como se muestra en el Capítulo 4, contribuye también de manera considerable a la amenaza sísmica. En vista de esto, utilizaremos acelerogramas artificiales generados para un sismo de magnitud 7.5 y distancia focal de 75 km. Como se hizo ver en el Capítulo 4, este sismo es uno de los que más contribuyen a la amenaza al nivel de 500 años de periodo de retorno, tanto en periodo corto como en periodo largo.

Un procedimiento aceptado para calcular movimientos sintéticos comprende los siguientes pasos:

1. Obtener un espectro de respuesta objetivo.
2. Obtener una densidad espectral representativa del espectro objetivo. En este estudio esto se ha hecho con el método de Der Kiureghian y Newenhofer (1991).
3. Seleccionar las fases y la duración adecuada del movimiento a simular.
4. Combinar adecuadamente la densidad espectral y las fases por medio de un análisis en el dominio de la frecuencia.

Respecto al paso 1 anterior, nuestro espectro de respuesta objetivo es el que se presenta en la Figura 5-12, y es el dictado por la ley de atenuación utilizada en este estudio para sismos de subducción, para un evento con magnitud 7.5 y distancia focal de 75 km. Se considera que este acelerograma ocurriría en la base de los depósitos de suelo para los que se efectuará el análisis.

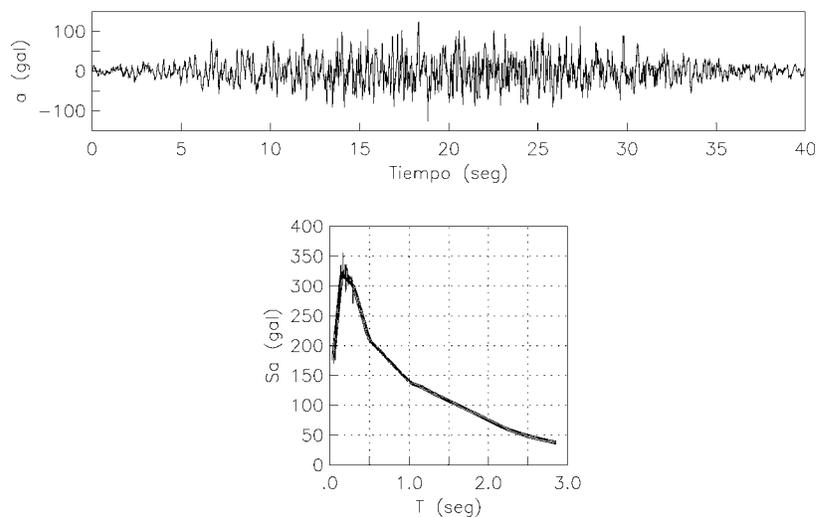


Figura 5- 12. Parte superior: acelerograma artificial generado para un sismo de subducción con magnitud 7.5 y distancia focal de 75 Km. Parte inferior: línea delgada, espectro de respuesta (aceleraciones, 5% del amortiguamiento crítico) del acelerograma mostrado; línea gruesa, espectro objetivo

Por lo que respecta a las fases, éstas se extrajeron de un ruido blando modulado en el tiempo con una función gaussiana.

La duración del movimiento fue calculada usando la expresión de Herrmann y Nuttli (1984): $D=1/Fc+0.05R$, donde R es la distancia (en km) y Fc es la frecuencia de esquina, la cual se calculó usando la expresión de Brune (1970): $Fc=4.6e-6*\beta*(Ds/Mo)^{1/3}$, donde β es la velocidad de onda de corte (en km/s), Ds es la caída de esfuerzo (en bares) y Mo es el momento sísmico (en dina-cm).

El acelerograma artificial generado con el procedimiento anterior se presenta en la Figura 5- 12. Con este acelerograma se hizo un análisis similar al que se ejecutó en el inciso anterior, es decir, se tomó el registro mostrado en la Figura 5- 12 como el movimiento de control en la base de los depósitos y se propagó a través de las diferentes estratigrafías que se han estudiado. Los acelerogramas resultantes se muestran en las Figura 5- 13 a 5-15, mientras que en la Figura 5- 16 se presentan sus correspondientes espectros de respuesta. Nótese en esta figura cómo los espectros de respuesta tienen formas similares, a pesar de la variabilidad en funciones de transferencia.

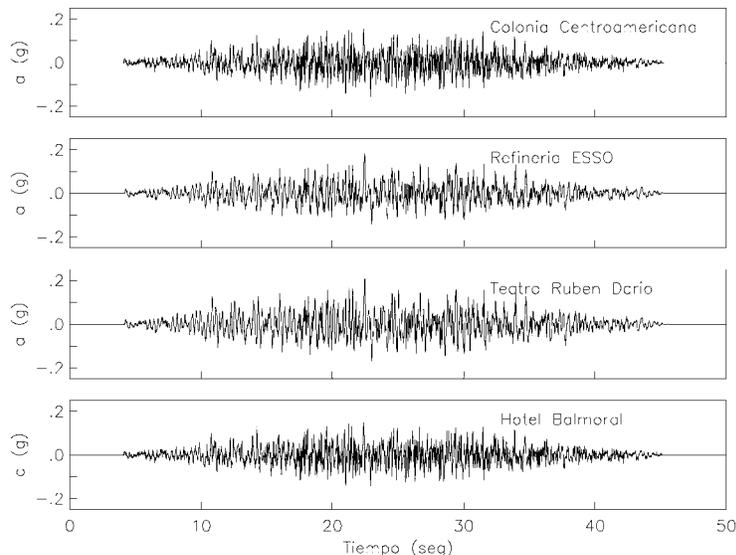


Figura 5- 13. Acelerogramas calculados para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Faccioli *et al* (1973), considerando un sismo de subducción

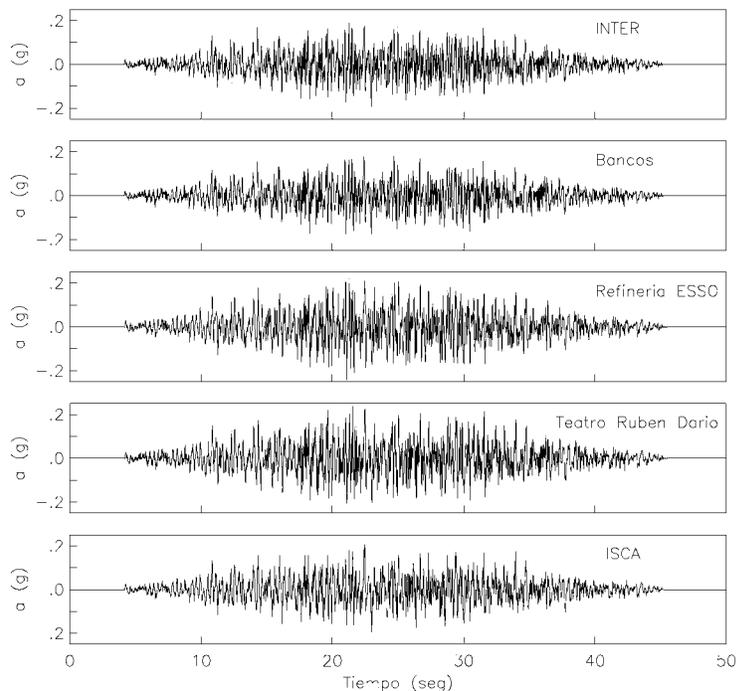


Figura 5- 14. Acelerogramas calculados para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Johansson (1988), considerando un sismo de subducción

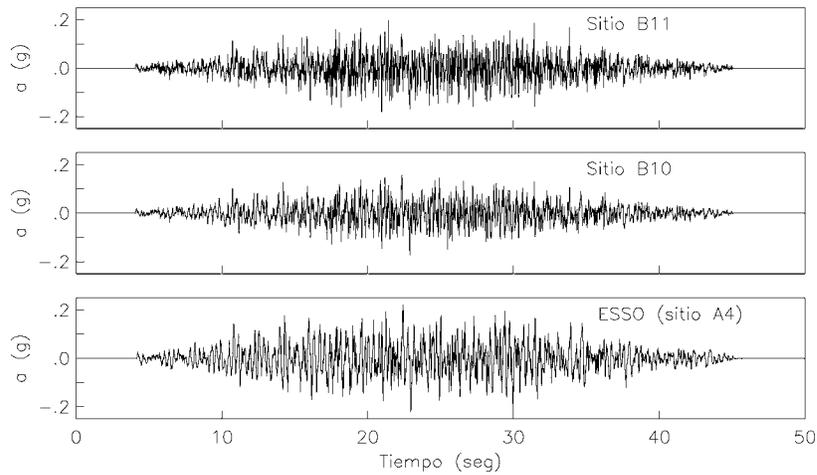


Figura 5- 15. Acelerogramas calculados para el grupo de sitios que se indican, cuyos datos han sido tomados del trabajo de Escobar y Corea (1998), considerando un sismo de subducción

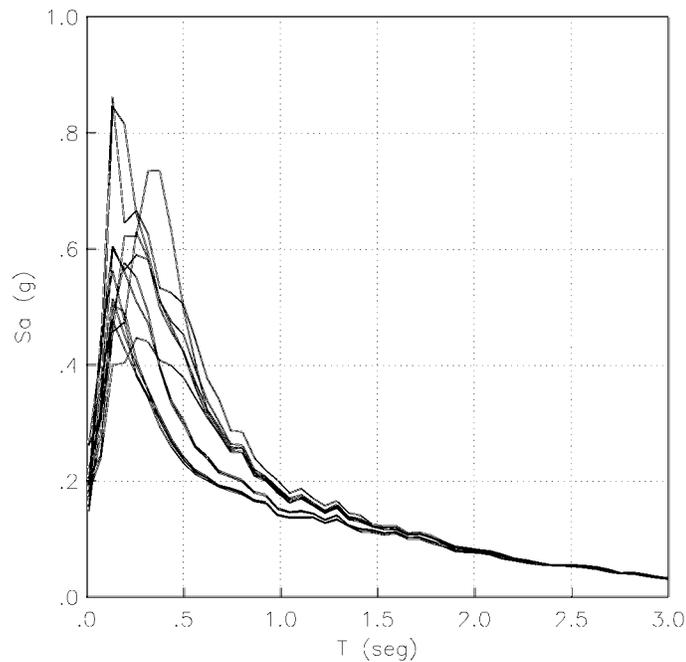


Figura 5- 16. Espectros de respuesta (seudoaceleraciones, 5% del amortiguamiento crítico) de los acelerogramas mostrados en las figuras 5-13 a 5-15.

Resultados usando registros de movimiento fuerte

A pesar de que hasta el momento no se dispone de una estación “de referencia” en Managua, esto es, una estación localizada en roca que pueda suponerse libre de efectos de sitio, es posible hacer algunos análisis de la información acelerométrica registrada recientemente.

Analizaremos los registros obtenidos (componente EW) en las estaciones DEC (Defensa Civil), INE (INETER) y REF (refinería ESSO) durante el sismo del 13 de enero de 2001. Para ello, calculamos los cocientes espectrales de las estaciones DEC e INE con respecto a la estación REF. Estos cocientes se presentan en la Figura 5- 17, en donde se comparan con cocientes análogos, obtenidos teóricamente para los sitios Hotel Balmoral, Colonia Centroamericana y Teatro Rubén Darío, estudiados por Faccioli *et al* (1973).

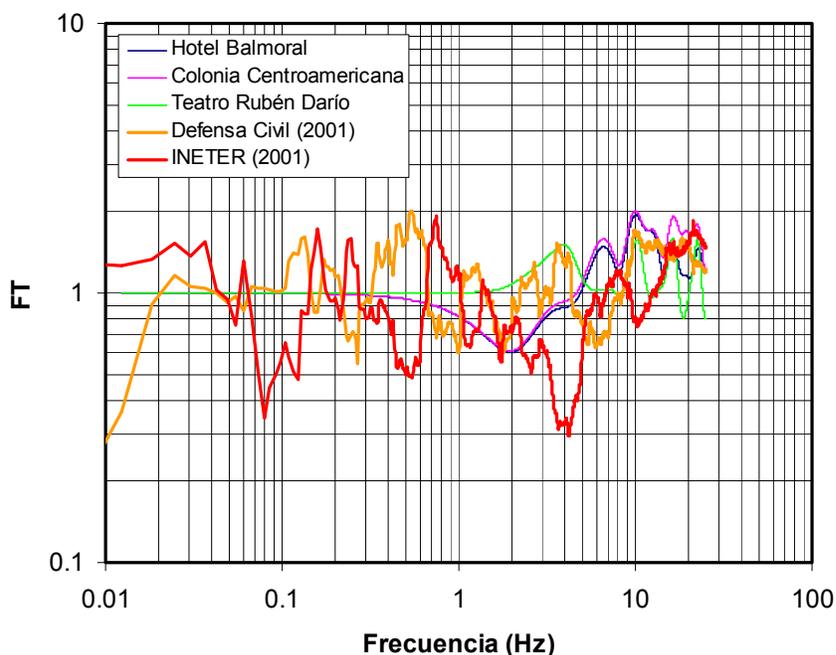


Figura 5- 17: Líneas delgadas: cocientes espectrales entre los sitios que se indican y la refinería ESSO (estratigrafías tomadas de Faccioli *et al* (1973). Líneas gruesas: cocientes espectrales entre los registros acelerométricos (componente EW) obtenidos durante el sismo del 13 de enero de 2001 en las estaciones Defensa Civil e INETER de la ciudad de Managua.

Puede observarse en la Figura 5- 17 que no existe una correspondencia exacta entre los cocientes espectrales teóricos y los cocientes empíricos. Esto era de esperarse, entre otras cosas porque no hay coincidencia entre los sitios de registro y los sitios en los que se hizo cálculo teórico. Sin embargo, sí se observa que el nivel de amplificación general predicho por la teoría es del orden del observado durante este temblor.

Esta observación da cierta confianza en los resultados de los modelos teóricos y abre la puerta para análisis empíricos en que se use la estación REF como de referencia.

Discusión de resultados y conclusiones

Los resultados de los trabajos de otros autores indican que, en términos generales, los suelos de Managua son relativamente rígidos. Adicionalmente, existen indicaciones de que los suelos son homogéneos, en el sentido que no se detectan diferencias considerables entre el tamaño y el contenido de frecuencias de los movimientos que se registran entre un sitio y otro.

Nuestro análisis nos llevó a conclusiones similares. Los resultados mostrados en la Figura 5- 11 y en la Figura 5- 16 permiten señalar lo siguiente:

- 1) El cálculo analítico muestra que, como ya se había señalado anteriormente (Escobar y Corea, 1998), entre un sitio y otro de la ciudad de Managua serían de esperarse variaciones de hasta un factor de 2 tanto en la aceleración máxima del suelo como en los valores de ordenadas espectrales para periodos inferiores a aproximadamente 0.7 seg. Para periodos superiores, las respuestas en todos los suelos estudiados son similares, lo cual indica que, tal como se ha hecho notar en los estudios empíricos, los suelos son rígidos y no muestran amplificaciones en baja frecuencia.
- 2) A pesar de que se observan esas variaciones de sitio a sitio en periodo corto, es muy probable que éstas se deban a detalles en el espectro del movimiento incidente, de suerte que, dependiendo del contenido específico de frecuencias del temblor, las aceleraciones sean mayores en unos sitios o en otros. De ser cierto esto, no sería posible una microzonificación detallada de Managua, puesto que los detalles espectrales de los movimientos que ocurran en el futuro son impredecibles. Esta conjetura ha sido parcialmente verificada utilizando para los cálculos movimientos de entrada con contenidos de frecuencia diferentes.
- 3) De verificarse esta situación en estudios posteriores, podría llegarse a la conclusión de que la “frecuencia predominante del suelo” no sería un buen indicador del tamaño de los espectros de respuesta que podrían presentarse en el futuro y, por tanto, no sería un parámetro adecuado para basar una eventual microzonificación de la ciudad. Como los resultados aquí presentados lo muestran (ver Figura 5- 11), para el sismo de 1972 el sitio con la máxima ordenada espectral calculada es el teatro Rubén Darío (cuando se usan las estratigrafías de Faccioli et al, 1973), que no es el que tiene la menor ni la mayor frecuencia fundamental de los sitios de Managua.

Capítulo 6. Cálculo de los mapas de riesgo para los escenarios propuestos

El objetivo de este capítulo es presentar las bases teóricas para el cálculo del riesgo en ciudades. El riesgo se expresa en términos de pérdidas probables. Estos resultados pueden ser útiles para toma de decisiones respecto de política de reducción y mitigación de desastres, así como para estimar el impacto económico de un evento (en este caso sísmico) en la economía local y nacional.

Las bases teóricas son aplicables al caso particular de un inmueble para el cual se desea conocer el riesgo como una medida de prevención.

Riesgo Sísmico

Son dos los factores que influyen en el riesgo sísmico de las construcciones:

Amenaza sísmica: La amenaza sísmica se valúa como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado. Para un sector de la sociedad podría expresarse en términos del valor de la probabilidad que durante un lapso, digamos de 100 años, se pueda presentar un terremoto que genere una aceleración máxima del suelo igual o superior, supongamos, al 30% de la aceleración de la gravedad. Un valor de probabilidad cercano a 1.0 significa que existe casi la certeza de que se presente el evento.

Vulnerabilidad estructural: La vulnerabilidad estructural indica el daño que puede tener el sistema estructural en estudio ante la ocurrencia de un determinado fenómeno natural. Entre más vulnerable sea una construcción mayor podrá ser el daño ante un evento potencialmente desastroso. Para valorar la vulnerabilidad es necesario conocer el tipo de estructura o inmueble que se analiza. La evaluación de la vulnerabilidad se ha desarrollado notablemente. Su estudio se ha beneficiado directamente de los aportes conceptuales y del avance tecnológico de la ingeniería estructural.

Amenaza sísmica

La amenaza sísmica de un sitio se relaciona con la intensidad de los movimientos sísmicos que se esperan en el lugar y la frecuencia con la que se exceden. La amenaza sísmica se cuantifica en términos de los periodos de retorno (o sus inversos, las tasas de excedencia) de intensidades sísmicas relevantes en el comportamiento de las estructuras. La tasa de excedencia de una intensidad sísmica se define como el número medio de veces, por unidad de tiempo, en que el valor de esa intensidad sísmica es excedido.

Para el cálculo de pérdidas de inmuebles individuales la intensidad se puede expresar en términos de la pseudoaceleración espectral del sitio, y su tasa de excedencia se puede tomar como medida del amenaza. En el caso de inmuebles geográficamente distribuidos esto no es aplicable, pues si bien se pueden encontrar las pseudoaceleraciones en cada sitio, la tasa de excedencia de dichas aceleraciones no es sencilla de evaluar por la correlación que existe entre las intensidades.

Es por ello que se utiliza la tasa de excedencias de magnitudes como medida de la amenaza sísmica. Para obtener las intensidades sísmicas en los puntos de interés se emplean leyes de atenuación, las cuales dependen de la magnitud del sismo y de su distancia al foco. Finalmente para considerar las condiciones locales del terreno se utiliza la función de amplificación.

Modelos de la sismicidad local

Para los fines de este estudio, la República de Nicaragua se ha dividido en 16 fuentes generadoras de sismos. Estas fuentes están dictadas por la tectónica del país y por la historia instrumental de sismos registrados en el pasado. Cada una de estas fuentes genera temblores a una tasa constante.

La descripción detallada de estas fuentes, los valores de los parámetros que definen su nivel de actividad y la forma en que cada una aporta a la amenaza en Managua se han descrito con detalle en el Capítulo 4

Atenuación de las ondas sísmicas

Una vez determinada la tasa de actividad de cada una de las fuentes sísmicas, es necesario evaluar los efectos que, en términos de intensidad sísmica, produce cada una de ellas en un sitio de interés. Para ello se requiere saber qué intensidad se presentaría en el sitio en cuestión, hasta ahora supuesto en terreno firme, si en la i -ésima fuente ocurriera un temblor con magnitud dada. A las expresiones que relacionan magnitud, posición relativa fuente-sitio e intensidad se les conoce como *leyes de atenuación*. Usualmente, la posición relativa fuente-sitio se especifica mediante la distancia focal, es decir, la distancia entre el foco sísmico y el sitio. Las leyes de atenuación pueden adoptar muy diversas formas. En este estudio se han empleado diversas leyes de atenuación dependiendo del tipo de sismo. Como se verá más adelante, se considera que las intensidades sísmicas relevantes son las ordenadas del espectro de respuesta S_a , (seudoaceleraciones, 5% del amortiguamiento crítico), cantidades que son aproximadamente proporcionales a las fuerzas laterales de inercia que se generan en las estructuras durante sismos.

Dadas la magnitud y la distancia epicentral, la intensidad sísmica no está exenta de incertidumbre por lo que no puede considerarse determinista. Suele suponerse que, dadas la magnitud y la distancia, la intensidad S_a es una variable aleatoria distribuida lognormalmente con mediana dada por la ley de atenuación y desviación típica del logaritmo natural igual a $\sigma_{\ln S_a}$, entonces

$$Pr(SA > Sa | M, R_i) = \Phi \left(\frac{E(\ln Sa | M, R_i) - \ln Sa}{\sigma_{\ln Sa}} \right) \quad (6-1)$$

siendo $\Phi(\cdot)$ la distribución normal estándar, $E(\ln Sa | M, R_i)$ el valor medio del logaritmo de la intensidad (dado por la ley de atenuación correspondiente) y $\sigma_{\ln Sa}$ su correspondiente desviación estándar. Si al valor de $E(\ln Sa | M, R_i)$ se le calcula el exponencial, lo que se obtiene es la mediana \hat{a} de la pseudoaceleración

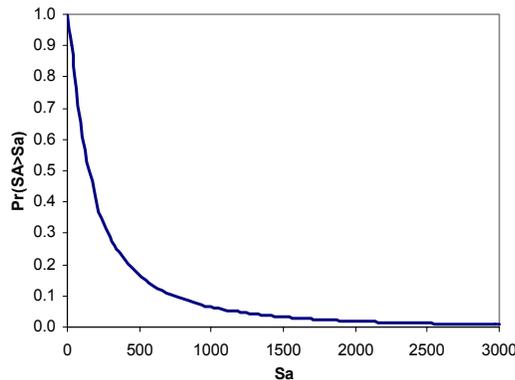


Figura 6- 1: Función de probabilidad de que la pseudoaceleración sea excedida

Los momentos de la pseudoaceleración en un punto del terreno para un evento de magnitud M generado en una fuente a una distancia R del punto en cuestión, se pueden calcular con la función generatriz de momentos.

$$E[a^k] = (\hat{a})^k \exp\left(\frac{1}{2}\sigma^2 k^2\right) \quad (6-2)$$

donde σ es la desviación estándar de la ley de atenuación y \hat{a} es la mediana de la pseudoaceleración en el sitio para una magnitud dada por la ley de atenuación.

Suponemos que la función de densidad de probabilidad de la pseudoaceleración tiene la siguiente forma:

$$f_A(a) = \omega_1 \delta(a - y_1) + \omega_2 \delta(a - y_2) \quad (6-3)$$

donde δ es la función delta de Dirac.

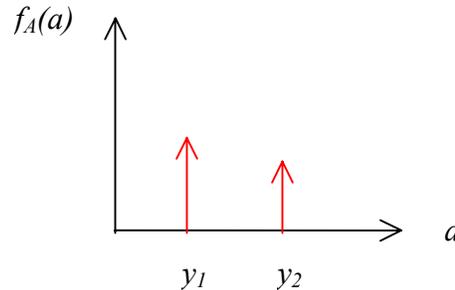


Figura 6-2. Función de densidad de probabilidad de la pseudoaceleración

Es posible encontrar los valores de ω_1 , ω_2 , y_1 y y_2 resolviendo las siguientes 4 ecuaciones simultáneas.

$$E(a) = \bar{a} \exp\left(\frac{1}{2}\sigma^2\right) = \omega_1 y_1 + \omega_2 y_2 \quad (6-4)$$

$$E(a^2) = \bar{a}^2 \exp(2\sigma^2) = \omega_1 (y_1)^2 + \omega_2 (y_2)^2 \quad (6-5)$$

$$E(a^3) = \bar{a}^3 \exp\left(\frac{9}{2}\sigma^2\right) = \omega_1 (y_1)^3 + \omega_2 (y_2)^3 \quad (6-6)$$

$$\omega_1 + \omega_2 = 1 \quad (6-7)$$

Para un valor de $\sigma=0.6$ la solución es la siguiente

$$\omega_1 = 0.87$$

$$\omega_2 = 0.13$$

$$y_1 / \bar{a} = 0.9$$

$$y_2 / \bar{a} = 3.28$$

(6-8)

Vulnerabilidad Estructural

El concepto de vulnerabilidad estructural y de funciones de vulnerabilidad ya han sido descritos en el Capítulo 3 de este informe. Los valores de parámetros y las formas que adoptan estas funciones de vulnerabilidad para los tipos estructurales presentes en Managua han sido también presentados en dicho capítulo. Es necesario recalcar que dichas funciones relacionan una medida de la intensidad del movimiento sísmico (en este caso representado por la pseudoaceleración) y el daño que es probable experimente una estructura determinada.

Pérdida por sismo en construcciones

Dado un sismo de magnitud M en una fuente sísmica cualquiera, se puede obtener el valor esperado del daño calculando el valor esperado de la expresión para pérdidas (ver Capítulo 3):

$$E[\beta] = E[E(\beta|\gamma)] = E\left[1 - 0.5\left(\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}\right)^{\rho}\right] \quad (6-9)$$

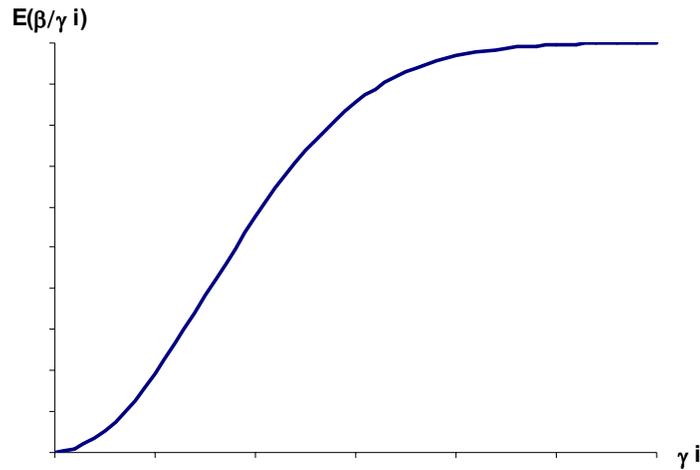


Figura 6-3. Función de vulnerabilidad

La distorsión de entepiso es proporcional al valor de la pseudoaceleración a cuya función de densidad está definida en la ecuación (6- 3). Por lo tanto el valor esperado de la pérdida se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$E[\beta] = \int_0^1 E(\beta|\gamma(a))f_A(a)da = \omega_1 E[\beta|\gamma(y_1)] + \omega_2 E[\beta|\gamma(y_2)] \quad (6-10)$$

Reemplazando los valores de los parámetros expresados en (6- 8) se obtiene:

$$E[\beta] = 0.87[E(\beta|0.9\mu)] + 0.13[E(\beta|3.28\mu)] \quad (6-11)$$

donde

$$\mu = \hat{a} \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 T^2 \text{ mod}}{4\pi^2 H} \quad (6-12)$$

y \hat{a} es la mediana de la aceleración para el sismo evaluado.

De manera similar se puede calcular la varianza de la pérdida

$$\sigma^2(\beta) = 0.87[E(\beta|0.9\mu)(1 - E(\beta|0.9\mu))]^2 + 0.13[E(\beta|3.28\mu)(1 - E(\beta|3.28\mu))]^2 \quad (6-13)$$

Conocidas la media y la desviación estándar de la pérdida para una magnitud M, la función de distribución de probabilidad de la pérdida bruta queda determinada por la siguiente expresión (Distribución beta):

$$f_{\beta}(\beta) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \beta^{a-1} (1-\beta)^{b-1} \quad (6-14)$$

donde a y b son los parámetros de la distribución:

$$a = \frac{1 - E[\beta] - E[\beta]C^2(\beta)}{C^2(\beta)} \quad (6-15)$$

$$b = a \left[\frac{1 - E[\beta]}{E[\beta]} \right] \quad (6-16)$$

donde $E[\beta]$ se calcula con la expresión (6-11) y

$$C^2(\beta) = \frac{\sigma^2[\beta]}{E^2[\beta]} \quad (6-17)$$

donde $\sigma^2[\beta]$ se calcula con la ecuación (6-13). En la Figura 6-4 se presentan las funciones de densidad típicas para valores promedio de pérdida de 50% y 70%. En la Figura 6-5 se muestra una función de probabilidad acumulada típica. Al valor obtenido con estas curvas se le conoce como pérdida bruta.

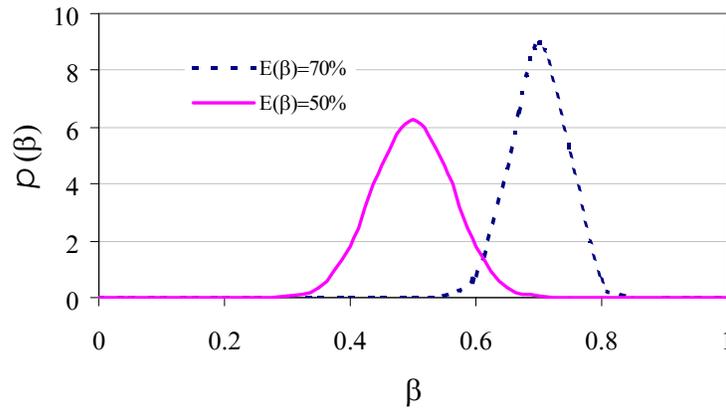


Figura 6-4. Funciones de densidad de probabilidad de pérdidas.

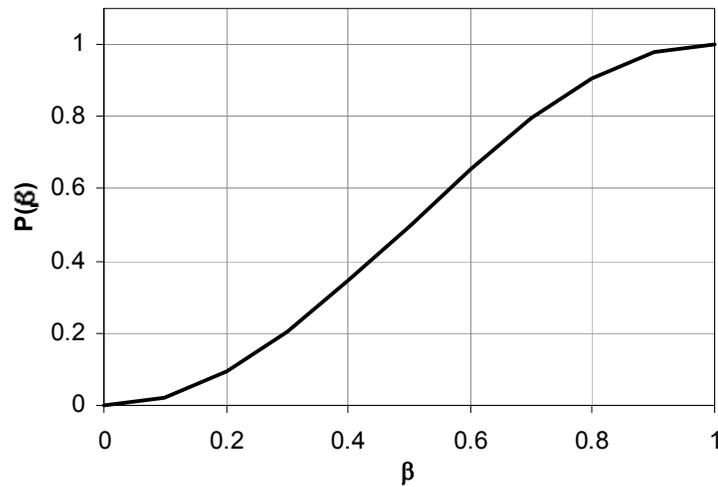


Figura 6-5. Funciones de probabilidad acumulada de pérdida bruta

Para calcular la pérdida esperada de una ciudad es necesario sumar todas las pérdidas de las edificaciones dentro de la ciudad. Para la varianza hay que considerar además la correlación entre las pérdidas de las distintas edificaciones. Esto se ilustra en el esquema de la Figura 6-6.

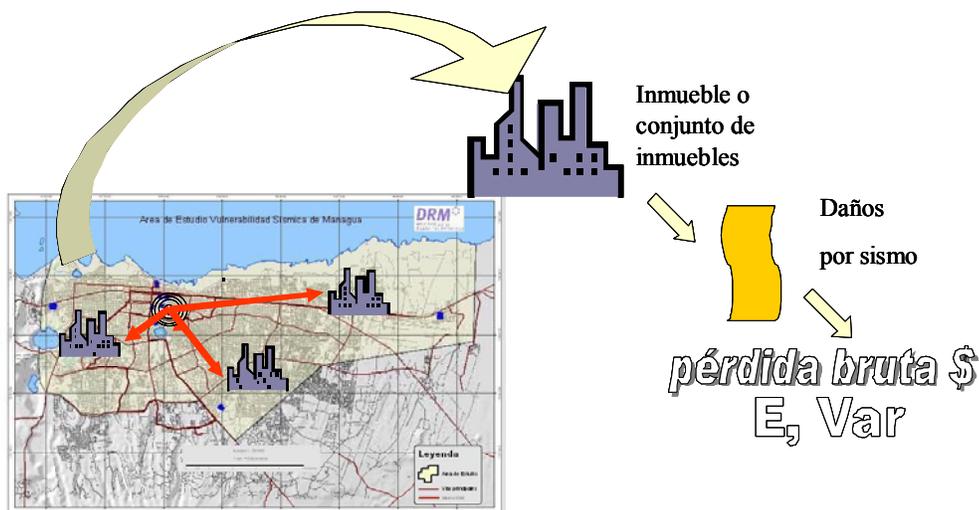


Figura 6-6. Esquema del cálculo de pérdidas brutas.

El valor esperado de una variable aleatoria es una medida alrededor de la cual se distribuyen los diversos valores que dicha variable puede asumir. La desviación estándar es la medida de la dispersión de los valores respecto a la media.

La prima pura para un inmueble se define como la pérdida anual esperada debido a daños en la estructura por sismo. Se supone que el proceso de ocurrencia de sismos es estacionario y que a las estructuras dañadas se les restituye su resistencia inmediatamente después de un sismo. La pérdida anual acumulada de la cartera total será la suma de las pérdidas anuales acumuladas de las pólizas que conforman el conjunto de inmuebles.

El valor esperado de la pérdida anual acumulada es también conocido en el sector asegurador como “prima técnica” o “prima pura de riesgo” puesto que a largo plazo, las primas cobradas por la

empresa de seguros y las pérdidas pagadas por los daños estarían en equilibrio. Matemáticamente la prima técnica se define de la siguiente manera:

$$pp = \sum_{i=1}^{N_{fuentes}} \int_{M_{oi}}^{M_{ui}} -\frac{d\lambda_i}{dM} E[\beta / M, R_i] dM \quad (6-18)$$

donde:

pp = pérdida anual promedio o prima técnica o prima pura de riesgo

$\lambda_i(M)$ = tasa de excedencia de la magnitud M para la fuente i . Esta cantidad define el peligro sísmico.

$E(\beta / M, R_i)$ = Valor esperado de pérdida β dado un sismo de magnitud M a una distancia R . Esta cantidad está relacionada con la vulnerabilidad de la estructura.

R_i = distancia de la fuente i a la ubicación del inmueble

M_{oi} = cota inferior de las magnitudes consideradas en la fuente i

M_{ui} = cota superior de las magnitudes en la fuente i

Origen de datos de los edificios

Para generar la base de datos de edificios que es utilizada dentro de este estudio se cuenta con la base *ALMA_CATASTRO.mdb* y las *capas gráficas* de Edificios, Lotes (Parcelas) y Manzanas separadas por distritos estos últimos en formato ShapeFile.

Para evaluar las pérdidas esperadas de cada edificio es necesario tener la siguiente información, *Ubicación Geográfica* -para conocer *la amenaza* que corre el edificio, *Sistema Estructural* -junto al número de pisos sirve para calcular *la vulnerabilidad* del edificio- y *Valor Catastral del edificio* -usado para reportar los resultados en términos monetarios.

La base de datos *CATASTRO_ERN.mdb* quedó formada por un total de **212,630** edificios, de estos **189,497** pertenecen a la base *ALMA_CATASTRO.mdb* y **23,133** edificios se agregaron desde la *capa gráfica de edificios*. (Tabla 6-1)

Tabla 6-1 Origen por distrito de los edificios de la base *CATASTRO_ERN.mdb*.

DISTRITO	ALMA_CATASTRO	Capa de Edificios	Total edificios
2	22,209	4,505	26,714
3	35,506	4,931	40,437
4	30,634	4,905	35,539
5	50,530	3,639	54,169
6	50,618	5,153	55,771
Total	189,497	23,133	212,630

Base de datos ALMA_CATASTRO.mdb

Base de datos *Microsoft Access®*, con información catastral de los edificios de la ciudad de Managua, proporcionada por la Alcaldía de Managua, dentro de las tablas <edificaciones>, <IBIPredios>, <Manzanas>, <Predios>, <vias> y <ZonasValor>.

En la tabla <edificaciones> se tiene la lista los edificios identificados a partir de los campos <CODEPARTAM>, <CODCENTRO>, <CODISTRITO>, <CODMANZANA>, <CODLOTE> y <NUMEDIFIC>, al unir estos campos generamos el código de edificio <CODCATEDIF> código único

que identifica un edificio dentro de la base de datos y que es utilizado, además, para recuperar los datos de la *capa gráfica de edificios*.

El <CODCATEDIF> que se genera concatenando los campos mencionados cuenta con 17 caracteres, ya que el campo <NUMEDIF> está formado por 3 caracteres. En la *capa gráfica de edificios* el correspondiente <CODCATEDIF> cuenta con 16 caracteres, para mantener una clave única de edificios se utilizan solo los 2 últimos caracteres del campo <NUMEDIF> para tener claves de 16 caracteres en ambos casos.

Además de la clave <CODCATEDIF> se utilizan los campos <ANOCONEIDIF> y <SIGUSOEDIF> para mantener el año de construcción y uso del edificio, y los campos <SIGPAREDEX>, <SIGPARINT> y <SIGCUBIERT> para asignar un *Sistema Estructural* al edificio.

La Tabla 6- 2 muestra la descripción de los campos que se han utilizado de la tabla <Edificios> de la base de datos *ALMA_CATASTRO.mdb*.

Tabla 6- 2: Descripción de los campos utilizados de la tabla <Edificios> de la Base *ALMA_CATASTRO.mdb*.

CAMPO	Descripción
CODEPARTAM	Código del departamento
CODCENTRO	Código del municipio
CODISTRITO	Código del distrito
CODMANZANA	Código de la manzana
CODLOTE	Código del lote o parcela
NUMEDIFIC	Código del edificio
ANOCONEIDIF	Año de construcción del edificio
SIGUSOEDIF	Uso original del edificio
SIGPAREDEX	Paredes exteriores
SIGPARINT	Paredes interiores
SIGCUBIERT	Cubierta, techo

Capas gráficas de Edificios, Lotes (Parcelas) y Manzanas

Las *capas gráficas de Edificios, Lotes y Manzanas* se encuentra en formato *ShapeFile*, que puede ser leído con varios programas comerciales y gratuitos. Del formato *ShapeFile* es posible obtener el área, y centro geométrico de los polígonos que forman cada capa, esto valores son utilizados para conocer la ubicación geográfica de los edificios y lotes. Las *capas de Edificios, Lotes y Manzanas* se encuentran separadas en los 5 distritos que abarcan el área de estudio (del distrito 2 al 6).

En la capa gráfica de Edificios además de los polígonos se tiene el código del edificio <CODCATEDIF>, el número de pisos <PLANTAS>, el área del polígono <AREA> y coordenada geográfica del centroide del polígono <X>, <Y>.

En todas las capas se encontraron valores de <CODCAT> repetidos. Para evitar ambigüedades se acordó utilizar el polígono de mayor área, como el representativo de cada <CODCAT> repetido.

Se tienen también los polígonos que forman los distritos y el área de estudio, en 2 capas gráficas mas, una con los 5 distritos y la otra con el área de estudio.

Ubicación geográfica de los edificios

La *ubicación geográfica* de los edificios se obtuvo de las coordenadas del centro geográfico de los polígonos de la Capa gráfica de Edificios. Utilizando el <CODCATEDIF> se asignaron éstas coordenadas a los edificios en la base de datos *CATASTRO_ERN.mdb*; de los **212,630** edificios que forman *CATASTRO_ERN.mdb* se asignaron coordenadas a **167,581** edificios, un poco más del 78% de los mismos (**144,448** de *ALMA_CATASTRO.mdb* y **23,133** de la *Capa gráfica de Edificios*).

Para **39,275** de los **45,049** edificios que no tienen una representación en la *Capa gráfica de edificios*, fue posible encontrar una coordenada a partir de la *Capa gráfica de Lotes (o parcelas)*; para esto se utilizó el centro geográfico de los polígonos de Lotes para asignarles una *ubicación geográfica*. Al final se obtuvieron **206,856** Edificios con coordenadas geográficas lo que representa un 97% del universo total de los mismos.

Tabla 6- 3: Origen por distrito de las coordenadas en los edificios.

DISTRITO	Edificios	con coordenada	Origen de las coordenadas		sin coordenada
			Capa edificios	Capa Lotes	
2	26,714	26,164	24,753	1,411	550
3	40,437	39,331	25,153	14,178	1,106
4	35,539	34,576	33,926	650	963
5	54,169	52,568	51,638	930	1,601
6	55,771	54,217	32,111	22,106	1,554
Totales	212,630	206,856	167,581	39,275	5,774

Además de ser utilizada para el cálculo del *riesgo* de los edificios, la *ubicación geográfica* fue utilizada para reconocer si los edificios se encontraban dentro o fuera del *área de estudio* sin depender de manera directa de los códigos de Lote o Manzana.

Sistemas estructurales

Los *sistemas estructurales* de los edificios se analizan a detalle en el Capítulo 8. Los datos utilizados para asignar esos *sistemas estructurales* son los campos <SIGPAREDEX>, <SIGPARINT> y <SIGCUBIERT>. Estos campos solo tienen datos los que se obtuvieron de *ALMA_CATASTRO.mdb*; los edificios agregados desde la *capa gráfica de edificios* se asumieron como asentamientos irregulares, por lo que se asignó el sistema estructural *Ripio*.

De los edificios obtenidos de *ALMA_CATASTRO.MDB* existen **208** que no contienen información en los campos utilizados para obtener el *sistema estructural*. En el caso de los edificios inspeccionados fue posible asignar el *sistema estructural* con más precisión, sin necesidad de utilizar la información de *ALMA_CATASTRO_MDB*.

Los edificios sin *sistema estructural* son aquellos provenientes de la base *ALMA_CATASTRO.mdb* que no cuentan con información estructural pero que no se consideran asentamientos irregulares.

Tabla 6- 4: Origen por distrito de los *sistemas estructurales* (SE).

DISTRITO	Edificios	con SE	Origen del SE		Sin SE
			Datos estructurales	Capa edificios	
2	26,714	26,699	22,194	4,505	15
3	40,437	40,380	35,449	4,931	57
4	35,539	35,519	30,614	4,905	20
5	54,169	54,116	50,477	3,639	53
6	55,771	55,708	50,555	5,153	63
Totales	212,630	212,422	189,289	23,133	208

Los *sistemas estructurales* de los edificios agregados desde la *capa gráfica de edificios* pueden refinarse una vez que sean completados los datos estructurales de estos, ya sea al actualizar la base *ALMA_CATASTRO.mdb* o a través de un muestreo estadístico mas detallado.

Valor catastral de los edificios

El *Valor catastral* de los edificios nos proporciona un valor estandarizado para representar la *pérdida esperada* en cada edificio y con esto tener los mapas de *pérdida esperada* en términos monetarios. El *valor catastral* se obtuvo del campo <Valcat> la tabla <IBIPredio> de la base *ALMA_CATASTRO.mdb*, dentro de esta tabla los valores se encuentran por lote, así que se asignó a cada edificio dependiendo el área construida y el número de pisos.

No fue posible obtener un *valor catastral* para todos los edificios con este método ya no se contaban con un valor en <IBIPredio>, para estos casos se utilizó un *factor por manzana (Factor_j)*, utilizando los valores catastrales de los edificios ya calculados Se calculó el *promedio del Valor catastral entre el área construida* de los edificios con *Valor catastral*, este factor se aplicó a los edificios por manzana que no contaban con un Valor catastral.

$$Factor_j = Promedio(F_i) \quad ; \quad \text{para la manzana } j$$

$$F_i = (Valor Catastral)_i / (Área Construida)_i \quad ; \quad \text{para edificios de la manzana } j \text{ con valor catastral}$$

Al final de los cálculos se obtuvieron **188,426** edificios con valor catastral los que representan un **88.62%** de los edificios de la base *CATASTRO_ERN.mdb*.

Los edificios sin *Valor catastral* corresponden en su mayoría a edificios agregados de la *capa gráfica de edificios* que no tienen valores dentro de *ALMA_CATASTRO.mdb*. Cabe hacer notar que los resultados de pérdidas monetarias sólo pueden mostrarse por edificio y no por predio ni por manzanas, ya que al no contar con los valores de todos los edificios es imposible integrar las pérdidas individuales para obtener resultados a nivel manzana o incluso a nivel de todo Managua.

Tabla 6- 5: Origen por distrito de los valores catastrales.

DISTRITO	Edificios	con Valor catastral	Origen del Valor		sin Valor catastral
			IBIPredio	Factor por Manzana	
2	26,714	23,376	22,109	1,267	3,338
3	40,437	33,541	30,414	3,127	6,896
4	35,539	32,518	29,975	2,543	3,021
5	54,169	49,845	47,483	2,362	4,324
6	55,771	49,146	46,424	2,722	6,625
Totales	212,630	188,426	176,405	12,021	24,204

Datos evaluables

De los **212,630** edificios que actualmente forman *CATASTRO_ERN.mdb*, solo **183,761** cuentan con la información suficiente para evaluar el *riesgo sísmico*, **23,095** edificios cuentan con algún dato de *localización* pero no *valor catastral*, **665** cuentan con *valor catastral* pero no con datos de *localización*, y **1,109** edificios mas no cuentan ni con datos de *localización* ni *valor catastral* para ser evaluados. Todos los edificios que cuentan con datos de *localización* y *valor catastral* tienen *datos estructurales* o se asignó el *sistema estructural* de Ripio por considerarse asentamientos irregulares.

Tabla 6- 6: Distribución de los datos evaluados por distrito.

DISTRITO	Edificios	Evaluables	No evaluables		
			Sin Valor catastral	Sin Ubicación	Sin datos
2	26,714	22,858	3,306	518	32
3	40,437	32,753	6,578	788	318
4	35,539	31,652	2,924	866	97
5	54,169	48,594	3,974	1,251	350
6	55,771	47,904	6,313	1,242	312
Totales	212,630	183,761	23,095	4,665	1,109

Además de los *datos de localización*, *Valor catastral* y *datos estructurales*, se utilizaron los años de construcción (para los edificios que cuentan con ese dato) y el uso de la estructura; en el caso del año de construcción nos ayuda a conocer si el edificio existía durante el sismo de 1972.

Edificios del área de estudio

Ya que *CATASTRO_ERN.mdb* se creó utilizando todos los edificios de *ALMA_CATASTRO.mdb* y la capa gráfica de edificios, el análisis fue realizado para todos los edificios contenidos en los 5 distritos, sin embargo son perfectamente identificables aquellos que se encuentran dentro de el área de estudio, y de la misma manera es posible mostrar los resultados de riesgo sísmico de los edificios por distrito dentro y fuera del área de estudio.

Tabla 6- 7: Distribución de edificios en zona de estudio por distrito.

DISTRITO	Edificios	Evaluados	En Zona de estudio	No en Zona de estudio
2	26,714	22,858	22,784	74
3	40,437	32,753	23,156	9,597
4	35,539	31,652	31,652	0
5	54,169	48,594	35,395	13,199
6	55,771	47,904	38,682	9,222
Totales	21,2630	18,3761	15,1669	32,092

Mapas

Se anexan por separado los siguientes archivos digitales

1. Perdidas_Edificio_2004.PDF
2. Perdidas_lotes_2004.PDF
3. Perdidas_manzanas_2004.PDF
4. Perdidas_Edificio_72.PDF
5. Perdidas_lotes_72.PDF
6. Perdidas_manzanas_72.PDF
7. Perdidas_Edificio_Tr100.PDF
8. Perdidas_lotes_Tr100.PDF
9. Perdidas_manzanas_Tr100.PDF
10. Perdidas_Edificio_Tr500.PDF
11. Perdidas_lotes_Tr500.PDF
12. Perdidas_manzanas_Tr500.PDF

Resultados

Se realizaron estimaciones de pérdidas para 3 escenarios distintos, asociados a periodos de retorno de 100 y 500 años, además de un escenario de un temblor similar al ocurrido en diciembre de 1972. Las características de estos escenarios se muestran en la siguiente tabla:

Hay muchas formas de representar las pérdidas obtenidas para los escenarios propuestos. Sin duda, la mejor manera es la representación gráfica en un SIG. Sin embargo, con el objeto de comparar y presentar resultados numéricos se han resumido los resultados en las tablas que se presentan a continuación. Estas tablas muestran las pérdidas integradas por sistema estructural, por número de pisos y utilizando ambos criterios juntos. En las tablas se muestra el valor catastral y la pérdida en términos monetarios, sin embargo, como ya se mencionó en este Capítulo, muchos de los edificios carecen de ese dato en la base de datos, por lo que se le consideró un valor de \$100.00 únicamente para completar la información básica y poder obtener pérdidas relativas (columna PROMEDIO de las tablas siguientes).

Dado que las fuentes generadoras de sismos superficiales en Managua se han modelado como una superficie, no es posible particularizar el tipo de daño estructural de construcciones ubicadas sobre fallas activas.

Tabla 6-8: Pérdida por sistema estructural (SE) para el escenario de 100 años de periodo de retorno (los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.)

SE	Edificios	Valor_catastral	Perdida_Esperada	Promedio
ADOBLIG	217	\$15,786,915.15	\$3,394,804.57	20.28%
ADOBPES	40	\$13,819,359.28	\$3,873,335.42	30.10%
CONCLOSA	784	\$999,198,687.40	\$14,214,865.24	2.07%
CONCLIG	9754	\$1,576,726,422.15	\$67,339,562.68	4.36%
CONCPES	297	\$248,343,880.21	\$9,468,640.74	3.79%
MADELOSA	16	\$6,252,722.62	\$355,812.57	6.83%
MADELIG	41656	\$3,502,752,149.80	\$196,712,039.56	5.80%
MADEPES	289	\$14,224,277.20	\$1,647,846.26	11.60%
MAMPLOSA	673	\$481,876,722.46	\$1,349,136.99	0.27%
MAMPLIG	78838	\$12,515,836,341.91	\$1,841,899,000.55	14.57%
MAMPPES	414	\$173,546,542.66	\$31,761,799.56	21.31%
PREFLIG	2655	\$452,941,862.04	\$120,207,790.13	26.05%
RIPIG	14403	\$2,753,168,403.37	\$381,599,930.96	14.25%
RIPIPES	42	\$2,116,088.61	\$657,507.11	30.32%
TAQULIG	124	\$15,921,268.34	\$3,797,564.86	23.48%
TAQUPES	35	\$2,414,597.21	\$645,196.63	27.02%
ACERLIG	3	\$65,717,498.10	\$3,240,427.50	2.73%
Total	150240	\$22,840,643,738.51	\$2,682,165,261.33	11.54%

Tabla 6-9: Pérdidas por número de niveles para el escenario de 100 años de periodo de retorno

Pisos	Edificios	Valor_catastral	Perdida_Esperada	Promedio
1	146659	\$20,832,919,274.08	\$2,595,494,898.35	11.69%
2	3516	\$1,478,125,720.06	\$80,544,356.33	5.46%
3	46	\$40,104,901.87	\$1,167,883.39	2.61%
4	8	\$13,916,128.87	\$152,560.75	2.57%
5	2	\$859,459.09	\$1,187.52	3.49%
6	3	\$5,911,380.37	\$79,489.48	2.87%
8	1	\$3,652,436.63	\$175,903.86	4.82%
9	2	\$54,824,154.68	\$1,181,820.51	2.21%
10	2	\$410,330,281.86	\$3,367,161.12	0.83%
18	1	\$1.00	\$0.02	2.08%
Total	150240	\$22,840,643,738.51	\$2,682,165,261.33	11.54%

Tabla 6-10: Pérdidas por sistema estructural (SE) y número de pisos para el escenario de 100 años de periodo de retorno. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.)

SE	Pisos	Edificios	Valor_catastral	Perdida_Esperada	Promedio
1	1	209	\$14,150,332.44	\$2,922,625.04	20.04%
1	2	8	\$1,636,582.71	\$472,179.53	26.46%
2	1	39	\$8,697,415.39	\$2,372,908.19	30.12%
2	2	1	\$5,121,943.89	\$1,500,427.23	29.29%
3	1	720	\$457,762,587.53	\$6,248,870.76	2.03%
3	2	50	\$58,681,947.76	\$3,030,336.97	2.43%
3	3	4	\$1,431,004.63	\$23,136.98	2.65%
3	4	1	\$7,006,212.27	\$116,527.54	1.66%
3	5	1	\$1.00	\$0.07	6.83%
3	6	2	\$5,510,060.04	\$71,107.41	3.26%
3	8	1	\$3,652,436.63	\$175,903.86	4.82%
3	9	2	\$54,824,154.68	\$1,181,820.51	2.21%
3	10	2	\$410,330,281.86	\$3,367,161.12	0.83%
3	18	1	\$1.00	\$0.02	2.08%
4	1	9450	\$1,421,735,541.67	\$59,775,658.47	4.35%
4	2	298	\$152,088,257.42	\$7,452,948.89	4.74%
4	3	3	\$2,501,300.73	\$102,573.10	4.84%
4	4	2	\$2.00	\$0.15	7.62%
4	6	1	\$401,320.33	\$8,382.07	2.09%
5	1	213	\$174,664,697.49	\$5,870,919.31	3.31%
5	2	80	\$68,464,846.76	\$3,413,124.57	5.00%
5	3	4	\$5,214,335.96	\$184,596.86	4.94%
6	1	15	\$2,611,521.45	\$198,841.40	7.00%
6	3	1	\$3,641,201.17	\$156,971.17	4.31%
7	1	40794	\$3,368,119,482.25	\$190,922,017.56	5.83%
7	2	859	\$130,490,556.61	\$5,576,858.58	4.54%
7	3	3	\$4,142,110.94	\$213,163.42	4.84%
8	1	286	\$14,093,026.35	\$1,635,062.96	11.61%
8	2	3	\$131,250.85	\$12,783.30	10.20%
9	1	574	\$410,015,396.70	\$449,327.49	0.15%
9	2	87	\$61,778,886.67	\$665,293.45	0.84%
9	3	11	\$9,901,707.33	\$232,922.82	1.83%
9	4	1	\$180,731.76	\$1,593.23	0.88%
10	1	76788	\$11,538,263,695.61	\$1,789,911,094.87	14.82%
10	2	2026	\$957,967,496.27	\$51,705,855.59	5.38%
10	3	20	\$13,273,241.11	\$254,519.04	1.81%
10	4	3	\$5,472,450.83	\$26,343.60	0.70%
10	5	1	\$859,458.09	\$1,187.45	0.14%
11	1	389	\$152,084,456.49	\$30,033,667.78	22.19%
11	2	25	\$21,462,086.17	\$1,728,131.78	7.62%
12	1	2580	\$434,440,786.77	\$115,664,148.97	26.09%
12	2	75	\$18,501,075.27	\$4,543,641.16	24.84%
13	1	14403	\$2,753,168,403.37	\$381,599,930.96	14.25%
14	1	42	\$2,116,088.61	\$657,507.11	30.32%
15	1	120	\$14,120,478.66	\$3,354,789.58	23.53%
15	2	4	\$1,800,789.68	\$442,775.28	22.00%
16	1	35	\$2,414,597.21	\$645,196.63	27.02%
17	1	2	\$64,460,766.09	\$3,232,331.27	3.77%
17	4	1	\$1,256,732.01	\$8,096.23	0.64%
Total		150240	\$22,840,643,738.51	\$2,682,165,261.33	11.54%

Tabla 6-11: Pérdidas por sistema estructural (SE) para el escenario de 500 años de periodo de retorno.

SE	Edificios	Valor_catastral	Perdida_Esperada	Promedio
ADOBLIG	217	\$15,786,915.15	\$4,294,860.39	26.20%
ADOBPES	40	\$13,819,359.28	\$7,005,190.01	42.35%
CONCLOSA	784	\$999,198,687.40	\$22,195,546.40	4.71%
CONCLIG	9754	\$1,576,726,422.15	\$100,394,975.74	7.48%
CONCPES	297	\$248,343,880.21	\$12,982,334.67	5.52%
MADELOSA	16	\$6,252,722.62	\$577,204.23	11.25%
MADELIG	41656	\$3,502,752,149.80	\$343,179,035.54	9.99%
MADEPES	289	\$14,224,277.20	\$2,305,707.94	16.49%
MAMPLOSA	673	\$481,876,722.46	\$2,048,294.73	0.63%
MAMPLIG	78838	\$12,515,836,341.91	\$2,555,738,016.91	21.72%
MAMPPEPES	414	\$173,546,542.66	\$39,408,163.73	30.01%
PREFLIG	2655	\$452,941,862.04	\$169,910,070.90	38.92%
RIPILIG	14403	\$2,753,168,403.37	\$584,382,679.63	22.32%
RPIPES	42	\$2,116,088.61	\$787,293.33	38.69%
TAQULIG	124	\$15,921,268.34	\$4,156,581.84	27.37%
TAQUPES	35	\$2,414,597.21	\$776,988.05	33.45%
ACERLIG	3	\$65,717,498.10	\$6,075,352.99	4.96%
Total	150240	\$22,840,643,738.51	\$3,856,218,297.03	17.72%

Tabla 6-12: Pérdidas por número de pisos para el escenario de 500 años de periodo de retorno

Pisos	Edificios	Valor_catastral	Perdida_Esperada	Promedio
1	146659	\$20,832,919,274.08	\$3,726,532,553.23	17.94%
2	3516	\$1,478,125,720.06	\$121,032,713.05	9.21%
3	46	\$40,104,901.87	\$1,710,878.85	4.36%
4	8	\$13,916,128.87	\$218,388.48	3.91%
5	2	\$859,459.09	\$1,579.60	5.48%
6	3	\$5,911,380.37	\$99,122.28	5.05%
8	1	\$3,652,436.63	\$276,445.94	7.57%
9	2	\$54,824,154.68	\$1,723,417.42	3.23%
10	2	\$410,330,281.86	\$4,623,198.15	1.09%
18	1	\$1.00	\$0.03	3.27%
Total	150240	\$22,840,643,738.51	\$3,856,218,297.03	17.72%

Tabla 6-13: Pérdidas por sistema estructural (SE) y numero de pisos para el escenario de 500 años de periodo de retorno. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.)

SE	Pisos	Edificios	Valor_catastral	Perdida_Esperada	Promedio
1	1	209	\$14,150,332.44	\$3,667,424.53	25.76%
1	2	8	\$1,636,582.71	\$627,435.86	37.68%
2	1	39	\$8,697,415.39	\$3,120,369.38	41.50%
2	2	1	\$5,121,943.89	\$3,884,820.63	75.85%
3	1	720	\$457,762,587.53	\$11,168,363.80	4.74%
3	2	50	\$58,681,947.76	\$4,140,043.74	4.28%
3	3	4	\$1,431,004.63	\$41,067.58	5.78%
3	4	1	\$7,006,212.27	\$147,221.51	2.10%
3	5	1	\$1.00	\$0.11	10.78%
3	6	2	\$5,510,060.04	\$75,788.12	4.67%
3	8	1	\$3,652,436.63	\$276,445.94	7.57%
3	9	2	\$54,824,154.68	\$1,723,417.42	3.23%
3	10	2	\$410,330,281.86	\$4,623,198.15	1.09%
3	18	1	\$1.00	\$0.03	3.27%
4	1	9450	\$1,421,735,541.67	\$91,643,412.87	7.50%
4	2	298	\$152,088,257.42	\$8,603,538.15	6.98%
4	3	3	\$2,501,300.73	\$124,690.35	6.30%
4	4	2	\$2.00	\$0.21	10.68%
4	6	1	\$401,320.33	\$23,334.16	5.81%
5	1	213	\$174,664,697.49	\$8,516,130.78	5.32%
5	2	80	\$68,464,846.76	\$4,069,523.02	5.92%
5	3	4	\$5,214,335.96	\$396,680.87	8.34%
6	1	15	\$2,611,521.45	\$355,189.27	11.59%
6	3	1	\$3,641,201.17	\$222,014.96	6.10%
7	1	40794	\$3,368,119,482.25	\$332,437,053.05	10.02%
7	2	859	\$130,490,556.61	\$10,456,697.55	8.25%
7	3	3	\$4,142,110.94	\$285,284.94	6.35%
8	1	286	\$14,093,026.35	\$2,285,746.78	16.51%
8	2	3	\$131,250.85	\$19,961.16	15.18%
9	1	574	\$410,015,396.70	\$882,850.58	0.49%
9	2	87	\$61,778,886.67	\$925,546.68	1.38%
9	3	11	\$9,901,707.33	\$235,820.51	2.26%
9	4	1	\$180,731.76	\$4,076.96	2.26%
10	1	76788	\$11,538,263,695.61	\$2,475,671,689.19	22.05%
10	2	2026	\$957,967,496.27	\$79,605,536.00	9.38%
10	3	20	\$13,273,241.11	\$405,319.64	3.76%
10	4	3	\$5,472,450.83	\$53,892.59	1.51%
10	5	1	\$859,458.09	\$1,579.49	0.18%
11	1	389	\$152,084,456.49	\$37,134,218.41	31.20%
11	2	25	\$21,462,086.17	\$2,273,945.32	11.46%
12	1	2580	\$434,440,786.77	\$163,884,140.88	39.05%
12	2	75	\$18,501,075.27	\$6,025,930.02	34.63%
13	1	14403	\$2,753,168,403.37	\$584,382,679.63	22.32%
14	1	42	\$2,116,088.61	\$787,293.33	38.69%
15	1	120	\$14,120,478.66	\$3,756,846.92	27.53%
15	2	4	\$1,800,789.68	\$399,734.92	22.51%
16	1	35	\$2,414,597.21	\$776,988.05	33.45%
17	1	2	\$64,460,766.09	\$6,062,155.78	6.91%
17	4	1	\$1,256,732.01	\$13,197.21	1.05%
Total		150240	\$22,839,387,006.50	\$3,856,205,099.82	17.72%

Tabla 6-14: Pérdidas por sistema estructural para el escenario del temblor de 1972. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.)

SE	Edificios	Valor_catastral	Perdida_Esperada	Promedio
ADOBLIG	217	\$15,786,915.15	\$8,955,986.04	50.02%
ADOBPES	40	\$13,819,359.28	\$9,493,416.15	84.96%
CONCLOSA	784	\$999,198,687.40	\$38,515,632.15	5.15%
CONCLIG	9754	\$1,576,726,422.15	\$131,884,932.04	8.13%
CONCPES	297	\$248,343,880.21	\$18,532,413.34	7.18%
MADELOSA	16	\$6,252,722.62	\$1,089,432.20	18.44%
MADELIG	41656	\$3,502,752,149.80	\$478,540,961.22	13.52%
MADEPES	289	\$14,224,277.20	\$3,953,871.92	27.49%
MAMPLOSA	673	\$481,876,722.46	\$3,882,513.13	0.81%
MAMPLIG	78838	\$12,515,836,341.91	\$3,690,239,842.78	27.47%
MAMPPEPES	414	\$173,546,542.66	\$69,338,032.06	48.87%
PREFLIG	2655	\$452,941,862.04	\$250,489,515.87	52.92%
RIPILIG	14403	\$2,753,168,403.37	\$810,563,175.75	28.92%
RIPIPES	42	\$2,116,088.61	\$1,320,159.62	56.10%
TAQULIG	124	\$15,921,268.34	\$6,499,497.74	42.03%
TAQUPES	35	\$2,414,597.21	\$1,280,421.34	52.63%
ACERLIG	3	\$65,717,498.10	\$6,978,261.01	7.56%
Total	150240	\$22,840,643,738.51	\$5,531,558,064.36	22.79%

Tabla 6-15: Pérdidas por número de pisos para el escenario del temblor de 1972

Pisos	Edificios	Valor_catastral	Perdida_Esperada	Promedio
1	146659	\$20,832,919,274.08	\$5,301,929,508.30	23.00%
2	3516	\$1,478,125,720.06	\$210,739,237.99	14.43%
3	46	\$40,104,901.87	\$3,664,766.94	8.81%
4	8	\$13,916,128.87	\$767,781.79	8.83%
5	2	\$859,459.09	\$7,639.40	11.19%
6	3	\$5,911,380.37	\$224,618.79	8.16%
8	1	\$3,652,436.63	\$635,430.23	17.40%
9	2	\$54,824,154.68	\$4,422,433.67	8.52%
10	2	\$410,330,281.86	\$9,166,647.17	2.29%
18	1	\$1.00	\$0.08	7.60%
Total	150240	\$22,840,643,738.51	\$5,531,558,064.36	22.79%

Tabla 6-16: Pérdidas por sistema estructural (SE) y número de pisos para el escenario del temblor de 1972. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.)

SE	Pisos	Edificios	Valor_catastral	Perdida_Esperada	Promedio
1	1	209	\$14,150,332.44	\$7,529,142.85	49.08%
1	2	8	\$1,636,582.71	\$1,426,843.19	74.58%
2	1	39	\$8,697,415.39	\$5,633,059.46	85.20%
2	2	1	\$5,121,943.89	\$3,860,356.69	75.37%
3	1	720	\$457,762,587.53	\$15,559,189.61	4.95%
3	2	50	\$58,681,947.76	\$7,981,360.73	6.98%
3	3	4	\$1,431,004.63	\$84,051.33	7.37%
3	4	1	\$7,006,212.27	\$459,747.11	6.56%
3	5	1	\$1.00	\$0.21	21.49%
3	6	2	\$5,510,060.04	\$206,772.01	10.02%
3	8	1	\$3,652,436.63	\$635,430.23	17.40%
3	9	2	\$54,824,154.68	\$4,422,433.67	8.52%
3	10	2	\$410,330,281.86	\$9,166,647.17	2.29%
3	18	1	\$1.00	\$0.08	7.60%
4	1	9450	\$1,421,735,541.67	\$115,878,535.09	8.06%
4	2	298	\$152,088,257.42	\$15,806,362.26	10.22%
4	3	3	\$2,501,300.73	\$182,187.52	10.47%
4	4	2	\$2.00	\$0.39	19.58%
4	6	1	\$401,320.33	\$17,846.78	4.45%
5	1	213	\$174,664,697.49	\$11,826,029.05	6.34%
5	2	80	\$68,464,846.76	\$6,322,117.66	9.18%
5	3	4	\$5,214,335.96	\$384,266.63	11.76%
6	1	15	\$2,611,521.45	\$531,223.63	18.65%
6	3	1	\$3,641,201.17	\$558,208.57	15.33%
7	1	40794	\$3,368,119,482.25	\$462,737,195.40	13.55%
7	2	859	\$130,490,556.61	\$15,179,626.95	12.11%
7	3	3	\$4,142,110.94	\$624,138.87	14.61%
8	1	286	\$14,093,026.35	\$3,925,582.76	27.52%
8	2	3	\$131,250.85	\$28,289.16	24.94%
9	1	574	\$410,015,396.70	\$1,335,842.42	0.42%
9	2	87	\$61,778,886.67	\$1,823,622.53	2.64%
9	3	11	\$9,901,707.33	\$718,033.95	6.28%
9	4	1	\$180,731.76	\$5,014.23	2.77%
10	1	76788	\$11,538,263,695.61	\$3,547,671,164.93	27.82%
10	2	2026	\$957,967,496.27	\$141,185,901.48	14.65%
10	3	20	\$13,273,241.11	\$1,113,880.07	8.45%
10	4	3	\$5,472,450.83	\$261,257.11	6.27%
10	5	1	\$859,458.09	\$7,639.19	0.89%
11	1	389	\$152,084,456.49	\$65,209,461.78	50.81%
11	2	25	\$21,462,086.17	\$4,128,570.28	18.68%
12	1	2580	\$434,440,786.77	\$238,227,932.70	52.55%
12	2	75	\$18,501,075.27	\$12,261,583.17	65.59%
13	1	14403	\$2,753,168,403.37	\$810,563,175.75	28.92%
14	1	42	\$2,116,088.61	\$1,320,159.62	56.10%
15	1	120	\$14,120,478.66	\$5,764,893.85	42.16%
15	2	4	\$1,800,789.68	\$734,603.89	38.20%
16	1	35	\$2,414,597.21	\$1,280,421.34	52.63%
17	1	2	\$64,460,766.09	\$6,936,498.06	9.67%
17	4	1	\$1,256,732.01	\$41,762.95	3.32%
Total		150240	\$22,839,387,006.50	\$5,531,516,301.41	22.79%

El resultado de pérdidas para los edificios inspeccionados se muestran en la Tabla 6-17 para el escenario de 100 años de periodo de retorno, en donde se indica el código del edificio, su ubicación, el distrito en que se ubica y el valor de la pérdida relativa esperada. En la Tabla 6-18 se muestran los mismos resultados para el escenario correspondiente a 500 años de periodo de retorno, y en la Tabla 6-19 la correspondiente al temblor de diciembre de 1972 registrado en Managua. Finalmente, las tablas 6-20 a 6-22 muestra una comparación de las pérdidas en los 3 escenarios.

Tabla 6-17: Pérdidas en los edificios inspeccionados para el escenario de 100 años de periodo de retorno. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.)

Pérdida esperada para un sismo con 100 años de periodo de retorno para edificios inspeccionados							
Descripcion	CODCATEDIF	Distrito	Pérdida Esperada	Longitud	Latitud	Pisos	SE
TELCOR	1003U20300100101	2	4.8332%	-86.2742162	12.1551324	4	4
Palacio de Correos	1003U20302600101	2	10.4127%	-86.2747131	12.1556103	4	4
Estadio Nacional	1003U20201900103	2	9.9029%	-86.2829600	12.1498300	2	3
Edificio Central del INSS	1003U20200401401	2	2.2796%	-86.2769800	12.1470600	9	3
Edif. Zacarías Guerra	1003U20305001501	2	4.8161%	-86.2750000	12.1568300	8	3
Mercado Israel Lewites	1003U3040600119	3	6.6072%	-86.3004720	12.1269750	1	4
Vice Presidencia de la República	1003U40202000201	4	4.1316%	-86.2732900	12.1487300	3	3
Teatro Rubén Darío	1003U40301400101	4	6.8349%	-86.2727880	12.1583290	5	3
Puesto de mando y oficinas D.G.B. (Bomberos)		4	3.4171%	-86.2654170	12.1427430	1	3
Prevención y comedor D.G.B. (Bomberos)		4	3.3525%	-86.2653440	12.1429650	1	4
Jefatura D.G.Bomberos		4	6.2386%	-86.2651710	12.1428610	1	4
Departamento de bomberos Zona 1		4	21.3373%	-86.2655980	12.1425460	1	17
Presidencia de la República	1003U403037001	4	6.4649%	-86.2720420	12.1571840	3	5
Presidencia Asamblea Nac.	1003U40203100101	4	0.6442%	-86.2734150	12.1503460	3	4
Plenario Asamblea Nac.	1003U40203100101	4	4.0976%	-86.2732050	12.1503040	2	3
Plaza Inter	1003U40100600201	4	5.2201%	-86.2744400	12.1442700	4	17
Palacio de Cultura	1003U40302100101	4	3.3545%	-86.2721700	12.1554800	2	3
Ministerio de Gobernación	1003U401009001	4	2.5356%	-86.2692070	12.1440220	6	3
Comisiones Asamblea Nac.	1003U40203000108	4	2.0845%	-86.2725965	12.1501996	18	3
Centro Conv. Crowne Plaza	1003U40100600301	4	7.2186%	-86.2737600	12.1439400	2	5
Catedral	1003U40700100001	4	6.8058%	-86.2658369	12.1329091	2	3
Cancillería de la Re	1003U40205700101	4	6.4372%	-86.2732900	12.1534800	3	5
Metro Cent. (I etapa)	1003U50100100402	5	8.5795%	-86.2644600	12.1280300	2	4
Metro Cent. (II etapa)	1003U50100100401	5	8.3915%	-86.2649400	12.1280000	1	4
Metro Cent. (Edif. Módulos)		5	3.8630%	-86.2652770	12.1274220	2	4
Metro Cent. (Edif. Ancla)		5	5.0291%	-86.2649800	12.1273860	3	4
Mercado Roberto Huembes	1003U50406900401	5	5.0144%	-86.2434000	12.1252000	1	17
Mercado Mayoreo	1003U61900100301	6	2.6985%	-86.1953200	12.1361800	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100304	6	2.6812%	-86.1940600	12.1361300	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100305	6	2.7210%	-86.1962100	12.1356100	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100306	6	2.6927%	-86.1941500	12.1355200	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100307	6	2.7320%	-86.1962400	12.1349900	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100308	6	2.7200%	-86.1953700	12.1349500	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100313	6	2.7034%	-86.1941800	12.1349000	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100316	6	2.6924%	-86.1934100	12.1348900	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100322	6	2.7172%	-86.1942900	12.1341700	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100324	6	2.7427%	-86.1963000	12.1344100	1	4
Mercado Mayoreo		6	2.7093%	-86.1961000	12.1362000	1	4
Mercado Mayoreo		6	2.7076%	-86.1961000	12.1363000	1	4
Mercado Mayoreo		6	12.6310%	-86.1935000	12.1354000	1	10
Mercado Mayoreo		6	12.6166%	-86.1935000	12.1356000	1	10
Mercado Mayoreo		6	12.5889%	-86.1934000	12.1359000	1	10
Mercado Mayoreo		6	12.5745%	-86.1934000	12.1361000	1	10
Mercado Mayoreo		6	12.5600%	-86.1934000	12.1363000	1	10
Aer. Int. (edif. viejo)	1003U62400100137	6	3.1080%	-86.1710400	12.1444400	3	3
Aereopuerto Internacional (I Etapa)	1003U62400100137	6	0.8522%	-86.1715000	12.1444000	2	3
Aereopuerto Internacional (II Etapa)	1003U62400100137	6	3.1553%	-86.1706000	12.1443000	2	4

Tabla 6-18: Pérdidas en los edificios inspeccionados para el escenario de 500 años de periodo de retorno. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.)

Pérdida esperada para un sismo con 500 años de periodo de retorno para edificios inspeccionados							
Descripcion	CODCATEDIF	Distrito	Pérdida Esperada	Longitud	Latitud	Pisos	SE
TELCOR	1003U20300100101	2	6.9119%	-86.2742162	12.1551324	4	4
Palacio de Correos	1003U20302600101	2	14.4479%	-86.2747131	12.1556103	4	4
Estadio Nacional	1003U20201900103	2	12.8290%	-86.2829600	12.1498300	2	3
Edificio Central del INSS	1003U20200401401	2	3.3296%	-86.2769800	12.1470600	9	3
Edif. Zacarías Guerra	1003U20305001501	2	7.5688%	-86.2750000	12.1568300	8	3
Mercado Israel Lewites	1003U3040600119	3	5.9972%	-86.3004720	12.1269750	1	4
Vice Presidencia de la República	1003U40202000201	4	6.2335%	-86.2732900	12.1487300	3	3
Teatro Rubén Darío	1003U40301400101	4	10.7769%	-86.2727880	12.1583290	5	3
Puesto de mando y oficinas D.G.B. (Bomberos)		4	5.3637%	-86.2654170	12.1427430	1	3
Prevención y comedor D.G.B. (Bomberos)		4	4.8399%	-86.2653440	12.1429650	1	4
Jefatura D.G.Bomberos		4	9.0858%	-86.2651710	12.1428610	1	4
Departamento de bomberos Zona 1		4	26.2157%	-86.2655980	12.1425460	1	17
Presidencia de la República	1003U403037001	4	9.5492%	-86.2720420	12.1571840	3	5
Presidencia Asamblea Nac.	1003U40203100101	4	1.0501%	-86.2734150	12.1503460	3	4
Plenario Asamblea Nac.	1003U40203100101	4	6.4920%	-86.2732050	12.1503040	2	3
Plaza Inter	1003U40100600201	4	7.9623%	-86.2744400	12.1442700	4	17
Palacio de Cultura	1003U40302100101	4	4.8482%	-86.2721700	12.1554800	2	3
Ministerio de Gobernación	1003U401009001	4	4.4179%	-86.2692070	12.1440220	6	3
Comisiones Asamblea Nac.	1003U40203000108	4	3.2721%	-86.2725965	12.1501996	18	3
Centro Conv. Crowne Plaza	1003U40100600301	4	9.4637%	-86.2737600	12.1439400	2	5
Catedral	1003U40700100001	4	9.4384%	-86.2658369	12.1329091	2	3
Cancillería de la Re	1003U40205700101	4	9.0794%	-86.2732900	12.1534800	3	5
Metro Cent. (I etapa)	1003U50100100402	5	10.7478%	-86.2644600	12.1280300	2	4
Metro Cent. (II etapa)	1003U50100100401	5	10.5847%	-86.2649400	12.1280000	1	4
Metro Cent. (Edif. Módulos)		5	4.8805%	-86.2652770	12.1274220	2	4
Metro Cent. (Edif. Ancla)		5	6.3929%	-86.2649800	12.1273860	3	4
Mercado Roberto Huembes	1003U50406900401	5	9.4044%	-86.2434000	12.1252000	1	17
Mercado Mayoreo	1003U61900100301	6	7.2000%	-86.1953200	12.1361800	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100304	6	7.2024%	-86.1940600	12.1361300	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100305	6	7.1993%	-86.1962100	12.1356100	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100306	6	7.2046%	-86.1941500	12.1355200	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100307	6	7.2010%	-86.1962400	12.1349900	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100308	6	7.2039%	-86.1953700	12.1349500	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100313	6	7.2062%	-86.1941800	12.1349000	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100316	6	7.2067%	-86.1934100	12.1348900	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100322	6	7.2074%	-86.1942900	12.1341700	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100324	6	7.2019%	-86.1963000	12.1344100	1	4
Mercado Mayoreo		6	7.1975%	-86.1961000	12.1362000	1	4
Mercado Mayoreo		6	7.1971%	-86.1961000	12.1363000	1	4
Mercado Mayoreo		6	27.7059%	-86.1935000	12.1354000	1	10
Mercado Mayoreo		6	27.7029%	-86.1935000	12.1356000	1	10
Mercado Mayoreo		6	27.6980%	-86.1934000	12.1359000	1	10
Mercado Mayoreo		6	27.6942%	-86.1934000	12.1361000	1	10
Mercado Mayoreo		6	27.6902%	-86.1934000	12.1363000	1	10
Aer. Int. (edif. viejo)	1003U62400100137	6	12.3365%	-86.1710400	12.1444400	3	3
Aeropuerto Internacional (I Etapa)	1003U62400100137	6	3.6125%	-86.1715000	12.1444000	2	3
Aeropuerto Internacional (II Etapa)	1003U62400100137	6	9.4112%	-86.1706000	12.1443000	2	4

Tabla 6-19: Pérdida en edificios inspeccionados para el escenario del temblor de 1972. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.)

Pérdida esperada por el sismo del 23 de Dic de 1972 para edificios inspeccionados							
Descripcion	CODCATEDIF	Distrito	Pérdida Esperada	Longitud	Latitud	Pisos	SE
TELCOR	1003U20300100101	2	13.1831%	-86.2742162	12.1551324	4	4
Palacio de Correos	1003U20302600101	2	25.9847%	-86.2747131	12.1556103	4	4
Estadio Nacional	1003U20201900103	2	25.6674%	-86.2829600	12.1498300	2	3
Edificio Central del INSS	1003U20200401401	2	9.0222%	-86.2769800	12.1470600	9	3
Edif. Zacarías Guerra	1003U20305001501	2	17.3974%	-86.2750000	12.1568300	8	3
Mercado Israel Lewites	1003U3040600119	3	13.0447%	-86.3004720	12.1269750	1	4
Vice Presidencia de la República	1003U40202000201	4	13.4663%	-86.2732900	12.1487300	3	3
Teatro Rubén Darío	1003U40301400101	4	21.4890%	-86.2727880	12.1583290	5	3
Puesto de mando y oficinas D.G.B. (Bomberos)		4	9.2852%	-86.2654170	12.1427430	1	3
Prevención y comedor D.G.B. (Bomberos)		4	7.5542%	-86.2653440	12.1429650	1	4
Jefatura D.G.Bomberos		4	7.5471%	-86.2651710	12.1428610	1	4
Departamento de bomberos Zona 1		4	40.1549%	-86.2655980	12.1425460	1	17
Presidencia de la República	1003U403037001	4	16.0121%	-86.2720420	12.1571840	3	5
Presidencia Asamblea Nac.	1003U40203100101	4	13.9758%	-86.2734150	12.1503460	3	4
Plenario Asamblea Nac.	1003U40203100101	4	18.1996%	-86.2732050	12.1503040	2	3
Plaza Inter	1003U40100600201	4	3.3231%	-86.2744400	12.1442700	4	17
Palacio de Cultura	1003U40302100101	4	12.7526%	-86.2721700	12.1554800	2	3
Ministerio de Gobernación	1003U401009001	4	16.2942%	-86.2692070	12.1440220	6	3
Comisiones Asamblea Nac.	1003U40203000108	4	7.6018%	-86.2725965	12.1501996	18	3
Centro Conv. Crowne Plaza	1003U40100600301	4	16.2923%	-86.2737600	12.1439400	2	5
Catedral	1003U40700100001	4	15.8955%	-86.2658369	12.1329091	2	3
Cancillería de la Re	1003U40205700101	4	16.2782%	-86.2732900	12.1534800	3	5
Metro Cent. (I etapa)	1003U50100100402	5	15.6673%	-86.2644600	12.1280300	2	4
Metro Cent. (II etapa)	1003U50100100401	5	15.6963%	-86.2649400	12.1280000	1	4
Metro Cent. (Edif. Módulos)		5	7.5952%	-86.2652770	12.1274220	2	4
Metro Cent. (Edif. Ancla)		5	10.1392%	-86.2649800	12.1273860	3	4
Mercado Roberto Huembes	1003U50406900401	5	10.7608%	-86.2434000	12.1252000	1	17
Mercado Mayoreo	1003U61900100301	6	4.3583%	-86.1953200	12.1361800	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100304	6	4.3100%	-86.1940600	12.1361300	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100305	6	4.3915%	-86.1962100	12.1356100	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100306	6	4.3120%	-86.1941500	12.1355200	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100307	6	4.3910%	-86.1962400	12.1349900	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100308	6	4.3572%	-86.1953700	12.1349500	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100313	6	4.3115%	-86.1941800	12.1349000	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100316	6	4.2824%	-86.1934100	12.1348900	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100322	6	4.3134%	-86.1942900	12.1341700	1	4
Mercado Mayoreo	1003U61900100324	6	4.3913%	-86.1963000	12.1344100	1	4
Mercado Mayoreo		6	4.3885%	-86.1961000	12.1362000	1	4
Mercado Mayoreo		6	4.3888%	-86.1961000	12.1363000	1	4
Mercado Mayoreo		6	17.4632%	-86.1935000	12.1354000	1	10
Mercado Mayoreo		6	17.4645%	-86.1935000	12.1356000	1	10
Mercado Mayoreo		6	17.4569%	-86.1934000	12.1359000	1	10
Mercado Mayoreo		6	17.4581%	-86.1934000	12.1361000	1	10
Mercado Mayoreo		6	17.4592%	-86.1934000	12.1363000	1	10
Aer. Int. (edif. viejo)	1003U62400100137	6	5.6917%	-86.1710400	12.1444400	3	3
Aereopuerto Internacional (I Etapa)	1003U62400100137	6	1.5575%	-86.1715000	12.1444000	2	3
Aereopuerto Internacional (II Etapa)	1003U62400100137	6	4.9874%	-86.1706000	12.1443000	2	4

En virtud de la incertidumbre asociada a todos los factores que intervienen en la determinación de la sismicidad y de las funciones de vulnerabilidad, los resultados mostrados deben ser considerados como los valores esperados de pérdida (o valores medios). Para poder ilustrar el “tamaño” de estas incertidumbres en el resultado final se presentan las curvas de la Figura 6-7 en donde se presenta las curvas de probabilidad acumulada de que se exceda cierto valor de pérdida. Se puede observar, por ejemplos, que la probabilidad de que se obtenga una pérdida mayor al 15% es aproximadamente igual a 22% para el escenario de periodo de retorno de 100 años, de 76% para el caso del escenario con periodo de retorno de 500 años y de 98% en el caso del temblor de 1972.

Tabla 6-20: Pérdidas por sistema estructural (SE, ver Tabla 3-1) para los 3 escenarios

SE	Promedio de pérdida		
	1972	Tr=100	Tr=500
ADOBLIG	50.02%	20.28%	26.20%
ADOBPES	84.96%	30.10%	42.35%
CONCLOSA	5.15%	2.07%	4.71%
CONCLIG	8.13%	4.36%	7.48%
CONCPES	7.18%	3.79%	5.52%
MADELOSA	18.44%	6.83%	11.25%
MADELIG	13.52%	5.80%	9.99%
MADEPES	27.49%	11.60%	16.49%
MAMPLOSA	0.81%	0.27%	0.63%
MAMPLIG	27.47%	14.57%	21.72%
MAMPPES	48.87%	21.31%	30.01%
PREFLIG	52.92%	26.05%	38.92%
RIPILIG	28.92%	14.25%	22.32%
RIPIPES	56.10%	30.32%	38.69%
TAQULIG	42.03%	23.48%	27.37%
TAQUPES	52.63%	27.02%	33.45%
ACERLIG	7.56%	2.73%	4.96%
Total	31.31%	14.40%	20.12%

Tabla 6-21: Pérdidas por número de niveles para los 3 escenarios

Pisos	Promedio de pérdida		
	1972	Tr=100	Tr=500
1	23.00%	11.69%	17.94%
2	14.43%	5.46%	9.21%
3	8.81%	2.61%	4.36%
4	8.83%	2.57%	3.91%
5	11.19%	3.49%	5.48%
6	8.16%	2.87%	5.05%
8	17.40%	4.82%	7.57%
9	8.52%	2.21%	3.23%
10	2.29%	0.83%	1.09%
18	7.60%	2.08%	3.27%
Total	11.02%	3.86%	6.11%

Tabla 6-22: Pérdidas por sistema estructural (SE, ver Tabla 3-1) y por número de niveles para los 3 escenarios

Promedio de pérdida				
SE	Pisos	1972	Tr=100	Tr=500
1	1	49.08%	20.04%	25.76%
1	2	74.58%	26.46%	37.68%
2	1	85.20%	30.12%	41.50%
2	2	75.37%	29.29%	75.85%
3	1	4.95%	2.03%	4.74%
3	2	6.98%	2.43%	4.28%
3	3	7.37%	2.65%	5.78%
3	4	6.56%	1.66%	2.10%
3	5	21.49%	6.83%	10.78%
3	6	10.02%	3.26%	4.67%
3	8	17.40%	4.82%	7.57%
3	9	8.52%	2.21%	3.23%
3	10	2.29%	0.83%	1.09%
3	18	7.60%	2.08%	3.27%
4	1	8.06%	4.35%	7.50%
4	2	10.22%	4.74%	6.98%
4	3	10.47%	4.84%	6.30%
4	4	19.58%	7.62%	10.68%
4	6	4.45%	2.09%	5.81%
5	1	6.34%	3.31%	5.32%
5	2	9.18%	5.00%	5.92%
5	3	11.76%	4.94%	8.34%
6	1	18.65%	7.00%	11.59%
6	3	15.33%	4.31%	6.10%
7	1	13.55%	5.83%	10.02%
7	2	12.11%	4.54%	8.25%
7	3	14.61%	4.84%	6.35%
8	1	27.52%	11.61%	16.51%
8	2	24.94%	10.20%	15.18%
9	1	0.42%	0.15%	0.49%
9	2	2.64%	0.84%	1.38%
9	3	6.28%	1.83%	2.26%
9	4	2.77%	0.88%	2.26%
10	1	27.82%	14.82%	22.05%
10	2	14.65%	5.38%	9.38%
10	3	8.45%	1.81%	3.76%
10	4	6.27%	0.70%	1.51%
10	5	0.89%	0.14%	0.18%
11	1	50.81%	22.19%	31.20%
11	2	18.68%	7.62%	11.46%
12	1	52.55%	26.09%	39.05%
12	2	65.59%	24.84%	34.63%
13	1	28.92%	14.25%	22.32%
14	1	56.10%	30.32%	38.69%
15	1	42.16%	23.53%	27.53%
15	2	38.20%	22.00%	22.51%
16	1	52.63%	27.02%	33.45%
17	1	9.67%	3.77%	6.91%
17	4	3.32%	0.64%	1.05%
	Total	21.90%	9.16%	13.70%

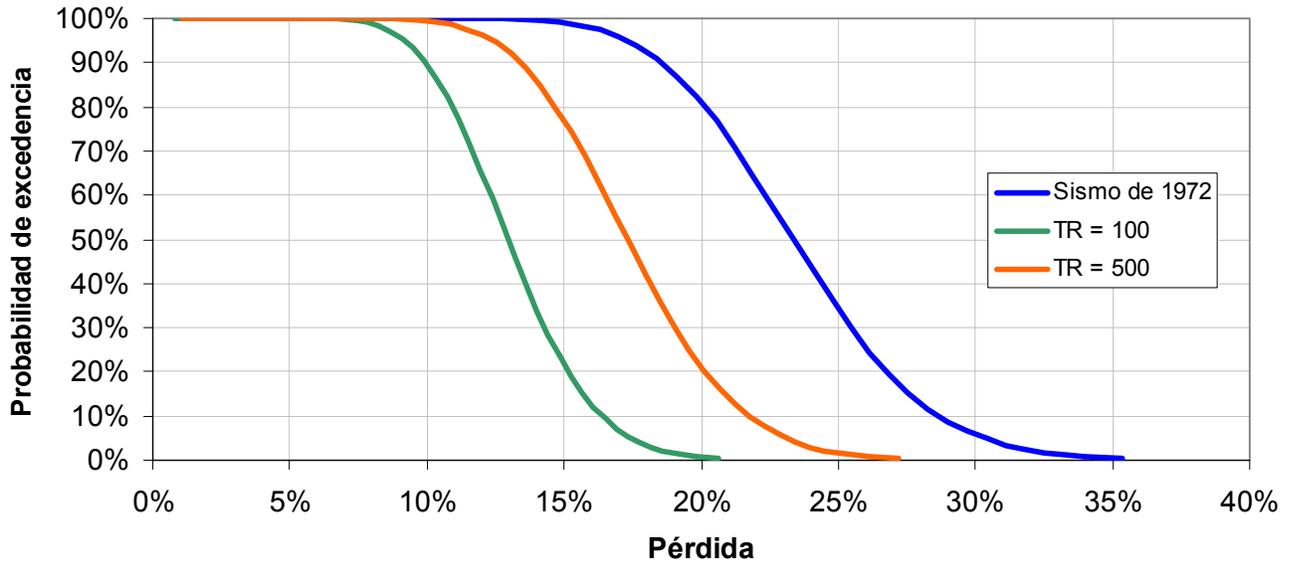


Figura 6-7. Curvas de probabilidad de excedencia para los tres escenarios propuestos

En la Tabla 6-23 se muestra el número estimado de víctimas fatales por sistema estructural para los tres escenarios considerados en el proyecto. Se puede observar que los sistemas estructurales menos tecnificados son los que, porcentualmente, presentan mayor número de víctimas. Es notable observar que el sistema de muros de mampostería con losa de concreto (9) resulta mucho menos peligroso que el mismo sistema sin losa de concreto (10 y 11).

Tabla 6-23: Número de víctimas fatales por escenario. (Los sistemas estructurales se definen en la Tabla 3-1.)

SE	Ocupantes	Sismo de 1972		TR=100 años		TR=500 años	
		Número de Víctimas	%	Número de Víctimas	%	Número de Víctimas	%
1	678	13	1.89%	8	1.24%	11	1.62%
2	201	4	2.00%	4	1.80%	4	1.97%
3	2380	7	0.31%	3	0.13%	7	0.28%
4	35090	132	0.38%	63	0.18%	107	0.30%
5	1342	5	0.39%	3	0.22%	4	0.27%
6	32	0	0.99%	0	0.18%	0	0.32%
7	194033	451	0.23%	66	0.03%	184	0.10%
8	2300	25	1.09%	3	0.14%	12	0.50%
9	1523	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
10	279186	6469	2.32%	2239	0.80%	5182	1.86%
11	2513	47	1.86%	34	1.37%	41	1.64%
12	8828	261	2.96%	199	2.26%	245	2.77%
13	53832	1796	3.34%	497	0.92%	1671	3.10%
14	372	18	4.96%	16	4.36%	18	4.90%
15	593	18	2.98%	12	2.08%	14	2.34%
16	174	5	3.00%	4	2.41%	5	2.75%
Total	583077	9251	1.59%	3151	0.54%	7505	1.29%

Metodología de la evaluación de líneas vitales

Para estimar el daño que pueden presentar las tuberías, se acoplaron curvas de igual número de ruptura por kilómetro (ver capítulo 3) con la red de tuberías existentes de la ciudad de Managua. Para determinar la velocidad máxima en cada punto se empleó la ley de atenuación de Campbell (2000) que además de depender de la magnitud y la distancia depende de varios parámetros entre ellos el tipo de suelo y el tipo de falla. En la figura 6-8 se muestra la forma de la ley de atenuación:

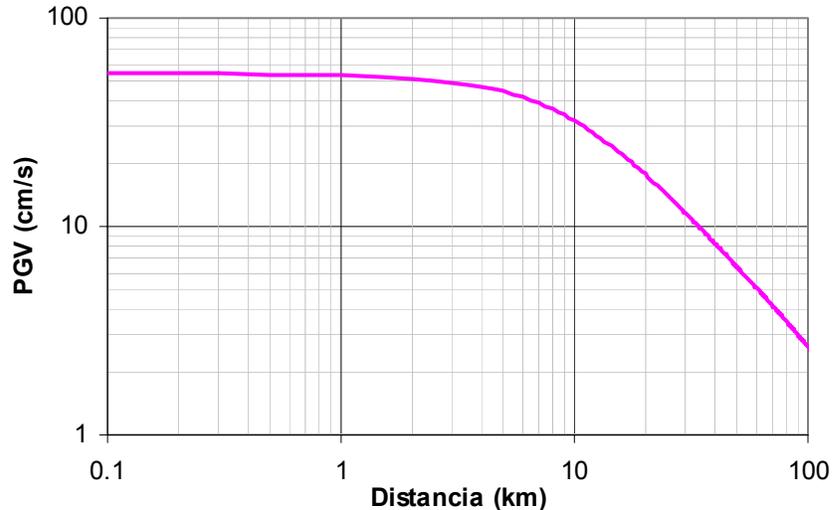


Figura 6- 8: Ley de atenuación de velocidad máxima del terreno empleada en la estimación del daño en tuberías (Campbell, 2000)

La estimación del porcentaje de daño de los tanques y la determinación de la probabilidad de falla de las subestaciones se realizó para cada uno de los elementos existentes proporcionados y descritos en el capítulo 2 y empleando las funciones de vulnerabilidad del capítulo 3. Para determinar la aceleración en sitio en que se ubica cada elemento se empleó la ley de atenuación de Boore (1993) la cual sólo depende de la magnitud y la distancia. En la figura 6-9 se muestra la ley de atenuación empleada:

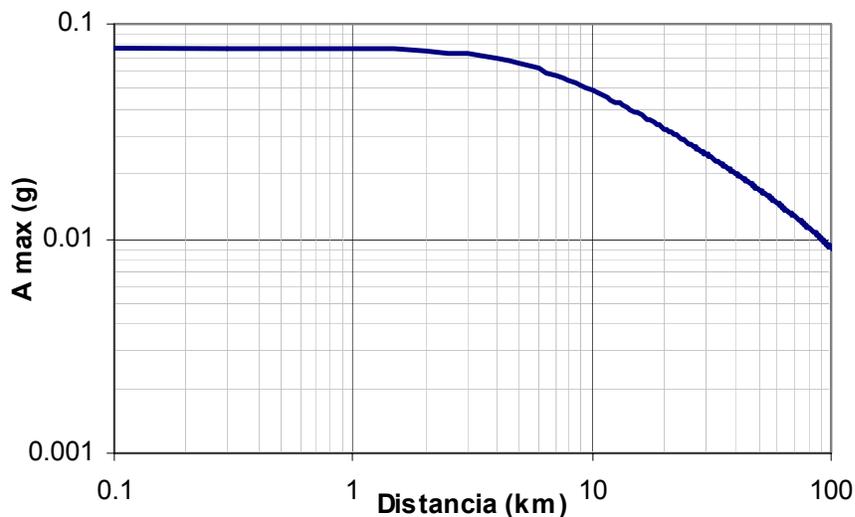


Figura 6-9: Ley de atenuación de aceleración máxima del terreno empleada en la estimación del daño a tanques y subestaciones (Boore, 1993)

Descripción de los resultados de líneas vitales

Anexo a este reporte se han proporcionado mapas en los que se muestran los resultados obtenidos de las evaluaciones de las tuberías, tanques y subestaciones. Otras líneas vitales no se incluyen debido a que se encuentran fuera de los alcances de este estudio, por ejemplo grietas en calles y avenidas, rotura de tuberías sobre fallas geológicas, alcantarillado y red telefónica.

Durante el sismo del 23 de diciembre de 1972 en Managua se presentaron interrupciones y daño a las líneas vitales de la ciudad, como líneas de distribución de energía eléctrica y agua potable, así como al sistema contra incendios de la ciudad.

El sismo del 23 de diciembre de 1972 causó diferentes tipos de agrietamiento en el suelo de la ciudad de Managua, entre los cuales se presentaron: fallas, deslizamiento de tierra y hundimientos locales con asentamientos y compactación del suelo. La mayor parte del agrietamiento en el suelo fue menor y no resultó en daños importantes. Sin embargo, las estructuras que se encontraban situadas sobre la ruptura de una falla presentaron daño importante, incluyendo colapso.

Tuberías

En los mapas de rotura de tubería por kilómetro se observa que ambos escenarios tendrían repercusión importante en el funcionamiento de algunas zonas del sistema ya que en las partes más vulnerables, las cercanas a los epicentros, se tendrían roturas del orden de 0.15 por kilómetro o de una rotura por cada 6.6 km de tubería. A estas roturas habría que sumar las ocasionadas por los deslizamientos de las fallas.

El sistema de almacenamiento de agua potable para la ciudad de Managua en el año de 1972 consistía de cuatro tanques de concreto reforzado, la red principal de distribución constaba de tuberías de acero de 16", así como redes secundarias de distribución de asbesto-cemento de 4" a 16" de diámetro y líneas menores a 4" de material plástico. En una inspección realizada una semana después del sismo (EERI, 1973), se observaron cerca de 100 roturas en tuberías, se estima que únicamente el 10% de la población contaba con servicio de agua potable.

Se recomienda en los segmentos críticos del sistema de tuberías implementar un programa integral de reforzamiento o reemplazo, cuyas prioridades se basen en la amenaza sísmica, sistema de tuberías y elementos vulnerables. Se deberá proporcionar flexibilidad y redundancia en la operación del sistema. Se recomienda instalar un programa de respuesta frente a emergencias que incluya válvulas de corte.

Tanques

En los mapas correspondientes a las estimaciones de daños en tanques se observa que la vulnerabilidad de estos elementos es ligera ya que la mayoría de ellos se localizan alejados de los escenarios propuestos. Los daños estimados en cada uno de los 71 tanques evaluados varían del orden de 3 a 7.5 % de daño para el sismo de 1972 y de 2 a 6.5% de daño para el escenario con 500 años de periodo de retorno. Nuevamente los tanques más afectados serían los que se localizan más cerca de los epicentros y sobre las fallas. A pesar de los pocos daños que pueden presentar los tanques, es posible que la operación de los mismo quede afectada al desplazarse las conexiones de las tuberías que no estén diseñadas para soportar los desplazamientos.

Durante el sismo de 1972 un tanque de acero presentó alargamiento de los tornillos colocados alrededor de la parte inferior del tanque. Por lo menos uno de los tanques de concreto reforzado de la red de distribución de agua de la ciudad, presentó fisuras y asentamientos diferenciales, provocando fugas en la

junta de la base del tanque. Al sur de Managua existían algunos tanques de acero que presentaron daño por pandeo de las placas cerca del fondo de los mismos, las conexiones en tuberías también resultaron dañadas por el desplazamiento lateral de los tanques. Los tanques más viejos de la ciudad de Managua fueron los únicos que resultaron dañados, los tanques nuevos de aquella época se comportaron de manera adecuada y no presentaron daño. Los tanques elevados se comportaron de manera excelente durante el sismo y no presentaron daño o colapso.

Las conexiones rígidas de tuberías son vulnerables si un tanque se mueve o si ocurre movimiento diferencial entre el tanque y el suelo o la tubería. Los tanques no anclados o anclados inadecuadamente pueden tener desplazamientos importantes, por ellos se recomienda anclarlos de manera adecuada y proporcionar flexibilidad a la conexión entre el tanque y las tuberías mediante uniones flexibles.

Subestaciones

En los mapas de probabilidad de falla en subestaciones se observa que ésta oscila entre 22.5 y 24.0 %, para su estimación se consideró que estos elementos están compuestos por materiales frágiles con equipos de porcelana.

Durante el sismo del 23 de diciembre de 1972 se presentó daño en los interruptores eléctricos y elementos aislantes de porcelana de la estación eléctrica de Managua. Esto provocó la interrupción del suministro de energía eléctrica en varias zonas de la ciudad.

En las plantas de energía se recomienda anclar los transformadores de piso y los que se localizan sobre postes, así como también los paneles eléctricos. Los motores eléctricos pueden resultar dañados debido a la oscilación de voltaje, se recomienda proporcionar un sistema de monitoreo y apagado automático para grandes motores.

Calles y Avenidas

No debemos esperar daños importantes en infraestructura carretera ni de calles y avenidas. Esto es porque en general en cualquier parte del mundo donde ocurren sismos no se ven dichos efectos. Sin embargo, conviene señalar que aquellos caminos en montañas pueden volverse inestables ante la ocurrencia de un sismo intenso y fallar, dejando incomunicadas las regiones que conectan. Para poder evaluar con certeza estos riesgos será necesario contar con la topografía de la zona y el tipo de suelo.

Incendios

Recientemente no se han observado graves problemas de incendio en ciudades latinoamericanas debido a los materiales que se ocupan para la construcción. Este es también el caso de Managua, aunque en 1972 se observaron algunos incendios, no hay que esperar que ahora se repetirían puesto que los tipos constructivos son diferentes. Sin embargo, se puede incluir cálculos futuros que indiquen manzanas de alto riesgo ante incendio a partir de sus sistemas constructivos y del riesgo sísmico asociado.

Observaciones y conclusiones

De un análisis de las representaciones gráficas de las pérdidas para los eventos del 72, el de 100 y 500 años de periodo de retorno se puede afirmar que existe una gran influencia de la ubicación del epicentro en la distribución de daños en construcciones.

Las construcciones que más se dañan son las construcciones de muros de adobe con cubierta de teja de barro, seguido de las construcciones de ripio con cubierta pesada y taquezal con cubierta pesada. En la

descripción de las funciones de vulnerabilidad (Capítulo 3) se describe con detalle los factores que favorecen tan altas pérdidas en estas construcciones.

Con base en esto, idealmente se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

1. Evitar la construcción de estructuras muy vulnerables a la acción del sismo, como taquezal, ripio y prefabricados (prefabricado Sandino).
2. Evitar que construcciones con base a muros (de mampostería de ladrillo, block o adobe) carezcan de diafragmas rígidos (losa de concreto) en la cubierta. Esta situación las hace particularmente vulnerables.
3. Dar mantenimiento preventivo a las construcciones (principalmente las de adobe, mampostería y madera) con el objeto de evitar el deterioro que algunos elementos sufren por estar expuestas a la intemperie.
4. Capacitar a los profesionales y a todas las personas dedicadas a la construcción con el objeto de dar lineamientos básicos de seguridad estructural en construcciones pequeñas donde no es posible contar con asistencia profesional continua.
5. Si bien es imposible tener estructuras que no se dañen ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud, es necesario evitar que éstas colapsen parcial o totalmente causando daño a sus ocupantes. Desde este punto de vista, una estructura correctamente diseñada bajo este enfoque deberá ser reparada cada vez que un sismo le ocasiona daño estructural, ya que ese nivel de daño vuelve más vulnerable a la acción de un nuevo sismo, aumentando su probabilidad de colapso. Es conveniente, entonces, crear programas de reforzamiento y rehabilitación luego de cada movimiento sísmico intenso, con el objeto de que las estructuras recuperen su integridad estructural y puedan enfrentar las sollicitaciones sísmicas futuras con suficientes reservas de resistencia y rigidez. Esto es particularmente crítico en edificios históricos.
6. El mantenimiento preventivo de los edificios esenciales es prioritario. El efecto negativo de los eventos naturales (como los sismos) se ven incrementados cuando los servicios de emergencia fallan o son seriamente rebasados. En ese sentido, las inspecciones realizadas a algunos edificios en Managua han mostrado elementos deteriorados y aspectos estructurales que incrementan la vulnerabilidad de estos edificios. En particular el **Departamento de Bomberos Zona 1** evidencia factores que pueden corregirse a corto plazo, pero que en las actuales condiciones incrementan bastante la posibilidad de que falle, aún si ocurriera un sismo moderado.
7. Los resultados de víctimas fatales han sido incorporados al SIG, de manera que es posible generar mapas donde se muestren concentraciones importantes. Sin embargo es necesario hacer notar que estos resultados no son una predicción de lo que ocurriría en el futuro, sino una estimación probabilista de los escenarios planteados. Estos mapas tampoco serán útiles para establecer rutas de evacuación de la población, ya que el tiempo en que ocurre el evento es muy corto.
8. Se recomienda, cuando sea posible, evitar que las líneas vitales de la ciudad de Managua, como la red de agua potable y alcantarillado crucen fallas geológicas activas. Cuando estas líneas vitales crucen fallas geológicas activas, se deberán diseñar para tolerar los desplazamientos laterales sin que presenten daño.

Capítulo 7. Recopilación de información sobre sismos históricos

La Ciudad de Managua, capital de la República de Nicaragua desde mediados del siglo XIX, ha sufrido con relativa frecuencia daños producto de sismos originados por diferentes fuentes. En el pasado siglo dos terremotos (ocurridos en 1931 y 1972) devastaron la ciudad. En el presente trabajo, se hace un resumen de la literatura existente sobre los daños que han causados los temblores en Managua, y se pone énfasis en el del 23 de Diciembre de 1972.

Sismos que históricamente han afectado a Managua

Es conocido por la literatura que Managua ha sido afectada en diversas ocasiones por fuertes sismos que le han causado gran pérdida, tanto materiales como de vidas humanas. A continuación se describen algunos de ellos.

1881, abril 28, es sentido un fuerte sismo en Managua, el cual causó algunos daños en la ciudad (Leeds, 1973).

1885, Octubre 11, ocurrió un terremoto destructivo que se sintió en gran parte de Nicaragua, con más fuerza en León, Chinandega y Managua. Ocasionó en Managua algunos daños como caída de azulejos y algunas paredes, también se perdió una vida humana (Leeds, 1973).

1926, Noviembre 5, Managua fue estremecida por un fuerte sismo que causó grietas en paredes de más de la mitad de las viviendas, la torre de la catedral colapsó, cobró dos vidas humanas y en total las pérdidas fueron valoradas en \$ 4,000,000 (Leeds, 1973).

1931, Marzo 31, le sigue en importancia al terremoto de 1972 y ocurrió por causas similares a éste último (activación de fallas locales). Se le ha asignado una magnitud de 5.6, sin embargo, se considera baja para el grado de los daños: pérdidas por \$ 15,000,000, alrededor de 1,100 muertos (Leeds, 1973). Prácticamente destruyó la ciudad.

1955, Agosto 3, el mayor terremoto sentido en toda la América Central, causó algunos daños en Managua (Leeds, 1973).

1956, Octubre 24, un fuerte terremoto de magnitud 7.3 ocurrió al sur de El Salvador, el cual causó leves daños en Managua (Leeds, 1973).

1968, Enero 4, un terremoto al que se le ha asignado magnitud 4.6 fue sentido en Masaya, Granada y Carazo y Managua, donde causó daños en el sudeste de la ciudad (Colonia Centroamérica) pues varias viviendas sufrieron daños. Se le asignó una intensidad máxima de VII (Leeds, 1973).

1972, Diciembre 23, aproximadamente a las 12:29 a.m., Managua fue sacudida por el terremoto más devastador sufrido hasta el día de hoy. Éste fue causado por la activación de fallas locales y tuvo una magnitud estimada de 6.25 grados (EERI, 1973). La intensidad fue variable en distintas zonas de la ciudad y le asigna valor máximo del orden de VIII-IX en la escala modificada de Mercalli (Del Valle, 1973).

Se tiene una idea de la destrucción causada por los temblores mediante la evaluación preliminar de los daños preparada por el grupo de trabajo del Comité de Reconstrucción Económica, que incluye a expertos del gobierno, del sector privado y del Instituto Centroamericano de Administración de Empresas y que fue publicada el 16 de enero en el diario Novedades de Managua (Del Valle, 1973).

Fueron afectados 27 km² de la ciudad, 13 resultaron totalmente destruidos y 14 dañados; de 70,000 casas aproximadamente 53,830 resultaron perdidas o seriamente dañadas; el 95% de los talleres y fábricas pequeñas y 11 fábricas grandes se perdieron; 400,000 m² de edificios comerciales y bodegas resultaron seriamente dañados; 340,000 m² de oficinas públicas y privadas se dañaron gravemente; 4 hospitales, con un total de 1,650 camas, quedaron destruidos lo que correspondió a casi el total de las camas existentes entonces; 740 aulas escolares sufrieron daños irreparables; 51,700 personas quedaron desempleadas; entre 200,000 y 250,000 personas fueron desplazadas (la ciudad tenía 400,000); 20,000 personas resultaron heridas; entre 4,000 y 6,000 personas resultaron muertas (en algunas publicaciones se estimó el número en más de 10,000); 845 millones de dólares (de entonces) en pérdidas materiales totales, 528 correspondieron a construcciones, 128 a equipamiento y mobiliario y el resto a otros conceptos.

Terremoto del año 1931

El 31 de marzo de 1931, a las 10:19 AM ocurrió el terremoto de 1931. Se estimó que perdieron la vida alrededor de 1,100 personas y los daños se estimaron en \$15 millones (Leeds, 1973).

El sismo produjo una zona de fracturas que se extendió en la zona occidental de la ciudad. Los daños se concentraron a lo largo de la zona de ruptura, decreciendo estos con la lejanía. Se reportaron daños menores en la parte este de la ciudad y no se reportaron en las comunidades cercanas a Managua (EERI, 1973).

Un historiador (Centro de Documentación Alcaldía de Managua) describe los daños de la siguiente manera: "Cayeron el Palacio Nacional, el Palacio de Comunicaciones, los dos mercados, el Teatro Variedades, La Casa del Águila, los templos de Candelaria, San Antonio, San Pedro, la Penitenciaría Nacional, donde murieron centenares de reos alienados, los mejores edificios del radio central y el que quedó en pie en la ciudad, quedó averiado."

Prosigue la narración: "Quedaron en pie solamente la armazón de hierro de la Catedral en construcción, la Casa Pellas, el Club Social, el Palacio del Ayuntamiento y la Casa Presidencial, y uno que otro edificio de particular. El Managua de las calles torcidas y casas de adobe desapareció."

Antes del terremoto existían en esta capital 7,005 casas pero el enorme movimiento sísmico destruyó totalmente 833 edificios y dejó a 3848 bastante deteriorados, quedando aplomados y en estado habitable 2324 (Ing. J. F. Fariñas en el Diario La Prensa del 31 de Marzo de 1936).

Terremoto de Managua 1968

A continuación se presenta un resumen de un informe oficial elaborado en ese entonces por la Comisión de la Asociación Nicaragüense de Ingenieros y Arquitectos (ANIA) sobre el terremoto del 4 de enero de 1968 o Terremoto de La Centroamérica, como se le conoce en Managua.

El foco, según los cálculos hechos por los datos aportados por el acelerógrafo instalado en el Banco Central y otro de la UNAN que se instaló en el Hospicio Zacarías Guerra, estuvo situado a 6 kilómetros hacia el sur de la Colonia Centroamérica, entre los pueblos de Santo Domingo de las Sierritas y San Isidro de la Cruz Verde. La profundidad del foco no fue mayor de 10 kilómetros y la magnitud fue estimada en 5.5 en la escala de Richter. La intensidad se estimó como de grado VII en la escala Mercalli en el área de la Colonia Centroamérica.

La zona afectada por el terremoto fue un rectángulo como de un kilómetro de ancho que se extiende entre la Colonia Centroamérica y el colegio del mismo nombre. Resultaron viviendas con paredes agrietadas y a veces totalmente caídas. En este tipo de construcciones, especialmente en la Colonia Centroamérica, predominaban las paredes de bloque con armadura sencilla, con muros de más de 7 metros sin soporte perpendicular que tuvieron daños notables. Las paredes sobre rellenos sufrieron mayores daños. Las casas de un piso con paredes de bloques y columnas formaleteadas presentaban muy pocos daños. La comisión hizo hincapié en que la mala construcción de las edificaciones fue la causa de los daños presentados en las viviendas de la Colonia Centroamérica.

En la zona de mayores daños, desde el Colegio Centroamérica hasta la Colonia Centroamérica, algunas tuberías de aguas negras y agua potable sufrieron quebraduras que afectaron los servicios correspondientes, las cercas fueron desplomadas o botadas, los puentes de carreteras en esta zona (tres en total) no sufrieron daños en sus estructuras pero hubo uno con asentamiento en los accesos; algunos tanques para agua sufrieron daños en sus bases pero en su mayoría quedaron en buen estado. Hubo rupturas de conexiones de tanques a red; las antenas de transmisión de la Radio Nacional fueron estremecidas pero sólo un viento fue roto; el agua de piscinas osciló derramando parte de su contenido y su movimiento se prolongó largo rato. Los equipos de la sala de transmisión de Radio Nacional fueron desplazados de su lugar y se informó de un transformador con peso de 4,000 libras que fue lanzado de su base a una distancia mayor de 7 metros. Roperos, refrigeradoras y objetos menores fueron desplazados de su posición en muchas de las casas de la Colonia Centroamérica y alrededores.

El terremoto de 1972

A continuación se presentan el resumen de varios trabajos relacionados con los daños producidos por el sismo del 23 de Diciembre de 1972.

Daños causados por los temblores del 23 de diciembre de 1972 en las construcciones de Managua. Enrique Del Valle C.

Este autor, considera que los daños fueron muy grandes en relación con la magnitud del terremoto, lo que probablemente se debió a que el epicentro se localizó muy cerca de la zona más densamente poblada de la ciudad (la profundidad focal fue del orden de 3 a 5 km) y el tipo de construcción predominante no estaba diseñado para soportar los movimientos. Además, la repetición de estos hizo que muchas construcciones que solo resultaron dañadas por el primer temblor sufrieran colapso en los movimientos subsecuentes. Considera que la intensidad fue variable en distintas zonas de la ciudad y le asigna valor máximo del orden de VIII-IX en la escala modificada de Mercalli.

Al analizar el acelerograma registrado en La Refinería a las 0:30 horas, Del Valle expone que dentro de la fase intensa, que duró aproximadamente 7 segundos, hubo varios ciclos con aceleraciones cercanas a la máxima, y que en esta fase los periodos dominantes del movimiento fueron cortos, del orden de 0.30 segundos en los componentes horizontales, y menores en la dirección vertical; los movimientos con estos periodos afectan principalmente a las construcciones rígidas. Al disminuir las aceleraciones se aprecian ondas con periodos mayores, que deben haber afectado más a los edificios altos.

El especialista comenta que el primer movimiento fuerte se registró durante 90 segundos aproximadamente, incluyendo dos pequeños movimientos adicionales a los 28 y 63 segundos del inicio del registro. En el resto del registro total obtenido en el aparato (se refiere al acelerógrafo de La Refinería) hay 20 movimientos, entre otros los de la 1:18 y 1:19 hora local, con magnitudes de 5 y 5.25.

Al referirse a los 13 sismoscopios tipo Wilmot que se encontraban instalados, dos de ellos en los pisos superiores del Banco Central y el resto a nivel del terreno en distintos rumbos de la ciudad (Figura 7-1),

Del Valle expresa que se obtuvieron buenos registros de cuatro de estos aparatos, dos de ellos en La Refinería; en otros dos, el registro excedió del límite disponible; en otro, la presión de la aguja sobre el cristal no fue lo suficiente para producir registro, y en los restantes, ubicados en las zonas de mayor destrucción, los cristales ahumados fueron desalojados de su lugar por la violencia del movimiento.

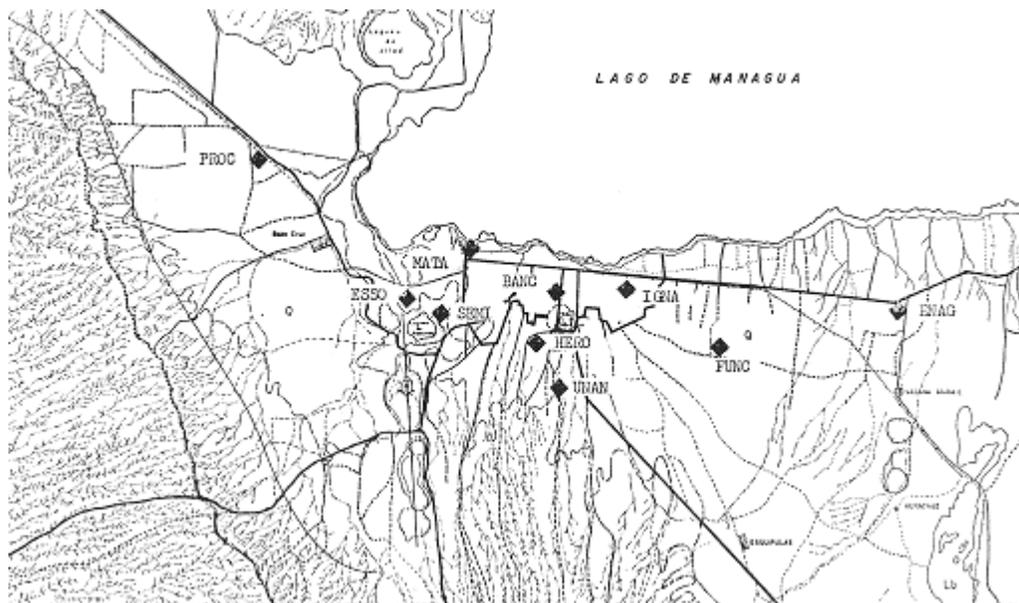


Figura 7-1 Ubicación de sismoscopios en 1972 (Tomado de Del Valle, 1973)

A partir del análisis de los datos, Del Valle concluye: el movimiento fue intenso en toda la ciudad, con mayores amplitudes en la zona sudeste de la misma (relativamente alejada de La Refinería), lo que hace pensar que en algunos lugares las aceleraciones fueron del orden de 50% de la gravedad. Las ordenadas espectrales de aceleración que se pueden obtener a partir de los datos de los sismoscopios, tomando en cuenta que su amortiguamiento es menor de 10%, se indica en la Tabla 7- 1; se nota mayor respuesta de las estructuras de periodo corto (sismoscopios de La Refinería), aunque de acuerdo con la información de R. B. Matthiensen, esta respuesta se estimó a partir de datos nominales y sería necesario verificarla con una calibración.

Tabla 7- 1: Resultado de sismoscopios (Tomado de Del Valle, 1973)

Localización	Instrumento No.	Periodo (s)	Amortiguamiento (% del crítico)	Ordenada espectral de desplazamientos (cm)	Ordenada espectral de aceleración (cm/s ²)
PROC	672	0.75	8	4.32	302
ESSO	671	0.68	-	5.08	432
ESSO	673	0.48	-	3.82	650
SEMI	574	0.75	8.6	a	
MATA	561	0.75	7.2	Mayor que 7.6b	Mayor que 530
BANC	558	0.75	-	Mayor que 7.6b	Mayor que 530
HERO	576	0.75	7.8	c	
UNAN	555	0.75	6.8	c	
IGNA	669	0.75	7.5	c	
FUNC	579	0.75	6.1	c	
ENAG	670	0.75	8.8	7.12	498

Notas: a Faltó presión de la aguja y no se obtuvo registro
b El registro excedió del radio del cristal ahumado
c El cristal ahumado fue desalojado del aparato

En el reporte elaborado por Del Valle aparece un mapa (Figura 7- 2) donde se muestra el grado de daños en las distintas zonas de la ciudad, así como los agrietamientos observados en el terreno, prolongación de las fallas geológicas mas profundas (este mapa fue elaborado por el Departamento de Obras Publicas del Ministerio del Distrito Nacional). De este, el autor concluye: que puede apreciarse que no existe mucha correlación entre grietas y daños, al menos en la zona mas afectada, ya que hubo colapsos totales tanto en las cercanías de las fallas como en zonas relativamente alejadas. No se observaron problemas debidos al mal comportamiento de los suelos. Hubo algunos casos aislados de compactación de rellenos, sin mayores consecuencias.

Para el especialista, la intensidad máxima fue de grado VIII a IX, de acuerdo con los daños que presentaron las estructuras bien calculadas y construidas, y los daños en la red de agua potable y alcantarillado. Considera que si se toma en cuenta la gran destrucción observada en la zona del centro de la ciudad podría asignarse una intensidad mas elevada; sin embargo, para intensidades superiores al grado IX, en general se presentan otros efectos que no se observaron en este caso. En la periferia de la zona mas densamente poblada, la intensidad fue menor. En pueblos cercanos a Managua, muchas personas no sintieron el movimiento, debido a que el área afectada es relativamente pequeña por la escasa profundidad del foco del temblor.

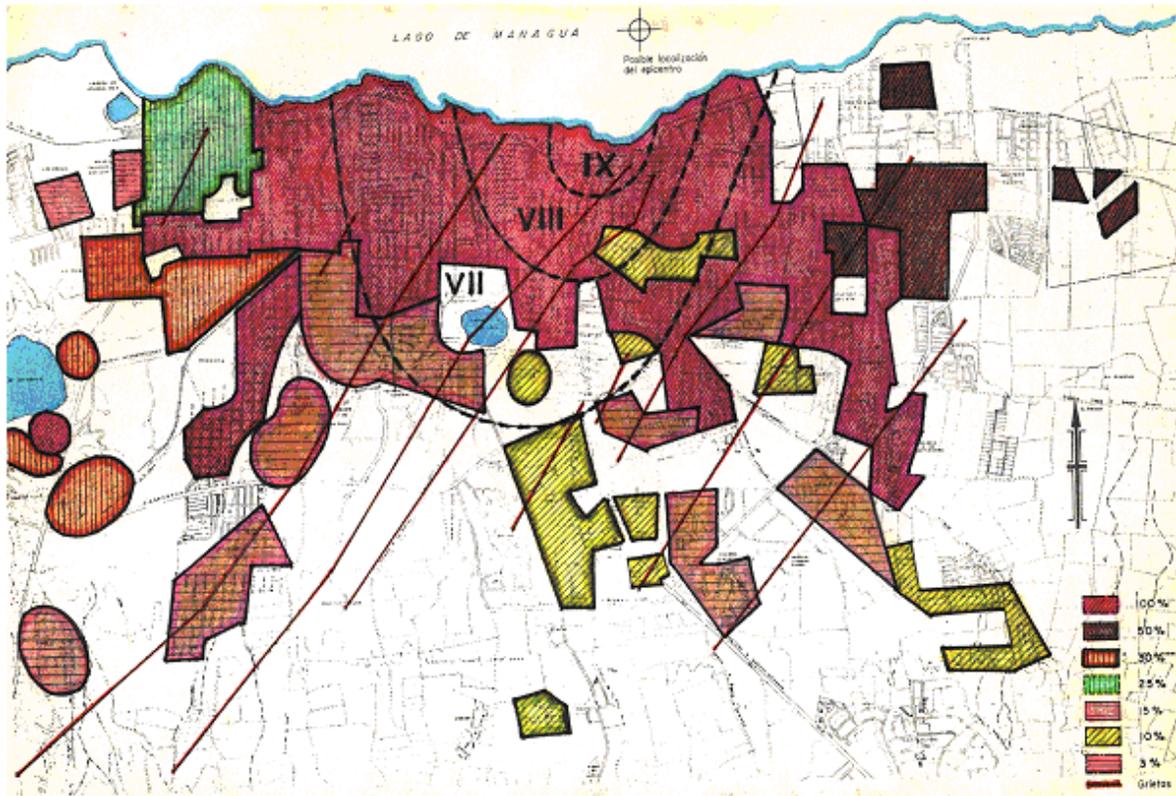


Figura 7- 2 Grado de daños (Tomado de Del Valle, 1973)

Referente a los daños en las estructuras, en este reporte se describe lo siguiente:

En Managua predominaban las construcciones de uno y dos pisos; en la zona del centro había varias estructuras cuya altura llegaba a cuatro o cinco pisos y algunas que rebasaban este número; los edificios mas altos eran dos bancos de 16 y 18 pisos y un hotel de 10. Los materiales empleados en las construcciones de uno y dos pisos eran adobe, taquezal, madera y mampostería. Las de dos pisos en adelante eran en general de concreto reforzado. Las estructuras metálicas eran escasas.

Varios edificios altos se diseñaron empleando el Uniform Building Code, considerando los efectos sísmicos correspondientes a la zona 2 ó 3 de California (para ese entonces). Las casa de uno y dos pisos no se diseñaban para resistir este tipo de movimientos y su construcción estaba, en general, en manos de maestros de obras. La supervisión de muchas construcciones era deficiente o nula.

En cuanto al comportamiento y daños por topología se describe:

Adobe: Había pocas construcciones de adobe, ya que este material dejó de emplearse después del temblor de 1931 que también destruyó la ciudad. Todas las que quedaban desaparecieron en esta ocasión.

Taquezal: Era el sistema más común para casas de uno y dos pisos. Consiste en postes de madera enterrados en el terreno, a los que se clavan tiras de madera por la parte interior y exterior de los muros, con espaciamento de 15 a 30 cm. El espacio libre se rellena con lodo o bloques de piedra arenisca y ambas caras se aplanan con mezcla de cal y arena. Los techos, de tiras de madera apoyadas en largueros, llevan encima tejas de barro. En las casas de dos pisos, los entresijos son de madera.

Este sistema es inadecuado para resistir fuerzas laterales intensas. Los muros perpendiculares entre si no se ligan y es raro que se empleen diagonales de contraventeo o malla de alambre o metal desplegado para reforzar los aplanados; la cubierta no es capaz de transmitir sus fuerzas de inercia a los muros. En muchos casos, la madera estaba podrida o atacada por hongos o polilla.

En general, las tejas de barro se cayeron por la intensidad de las aceleraciones verticales y por la falta de elementos de unión entre las tejas y sus soportes.

Prácticamente todas las construcciones a base de taquezal sufrieron daños, la gran mayoría irreparables. Se pudo apreciar que cuando la madera estaba sana y los huecos se habían rellenado con bloques de piedra, los daños resultaron menores.

Madera: Había algunas casas de madera con techo de lámina de acero o con techo de teja de barro. En general, las del primer tipo no sufrieron daños, mientras que las de teja de barro sufrieron cuando menos la caída de las tejas y en muchas ocasiones daños mayores.

Mampostería: Las casas más recientes están construidas con mampostería de tabique macizo o piezas huecas de cemento o arcilla. Los techos son en algunos casos de concreto y en la mayoría de tejas de barro o de láminas de acero galvanizado o de asbesto.

En general, este tipo de construcción resulta rígido, por tanto son susceptibles a vibraciones en que predominen periodos cortos y su respuesta dinámica es elevada.

Predominaba la construcción a base de piezas huecas (principalmente por razones económicas), con poco refuerzo o sin él, y juntando únicamente las caras horizontales. Había casa con piezas huecas de arcilla (chiltepe) de paredes muy delgadas, del orden de 1 cm, cuyo comportamiento fue sumamente frágil; hubo varios casos de colapsos totales incluso en lugares relativamente alejados de la zona de mayor destrucción. En aquellos en que el techo es muy liviano (lámina de acero), y existen elementos de refuerzo en cantidad suficiente, los daños fueron ligeros. Este material no es en general adecuado para resistir esfuerzos producidos por sismos y su uso debe limitarse a muros divisorios que no tengan función estructural.

Los bloques huecos de cemento presentaron comportamiento variable dependiendo de la presencia de refuerzo, de la cantidad de cemento empleado en la fabricación del bloque y del mortero que se uso para juntarlos. En general, el comportamiento de la mampostería fabricada con esas piezas no fue satisfactorio. En algunos casos se observaron fallas en dirección perpendicular al plano del muro por la ausencia de refuerzo, falta de unión entre las distintas paredes de la construcción, y transmisión inadecuada de las fuerzas sísmicas por falta de contraventeo en el sistema de techo. La presencia de elementos de refuerzo y confinamiento adecuados confirmó su eficacia al reducirse los daños en aquellas construcciones en que los había.

La mampostería de tabique rojo macizo (en general tenía dadas y castillos) se comportó en forma más satisfactoria. Había pocas construcciones de este tipo, ya que el chiltepe resulta más económico.

A pesar de que la rigidez de la mampostería la hace vulnerable a vibraciones de periodo corto, es factible lograr que resista fuerzas sísmicas similares a las de Managua.

Estructuras de concreto reforzado: Los mayores daños se concentraron en las estructuras de menor altura. En general, los edificios mas altos pasaron la prueba con daños reparables. Se considera que esto se debió a la preponderancia de periodos cortos en el movimiento, que afecta a las estructuras más rígidas cuya respuesta dinámica es muy elevada, aunando el hecho de que los edificios más altos fueron

diseñados contra sismos (aunque tal vez con un coeficiente sísmico inadecuado) y se tomaron mayores precauciones durante su construcción.

Se observó una serie de defectos constructivos, como falta de anclaje en varillas, falta de control en las dimensiones por movimiento de cimbra durante los colados, en muchos casos el concreto tenía muy baja resistencia, con exceso de finos y de agua, y poco agregado grueso; en las construcciones más antiguas predominaba el empleo de varillas lisas; en general, el número de estribos era reducido y sus extremos no estaban bien traslapados. En muchos otros casos había estructuración resistente a fuerzas laterales en una sola dirección, lo que provocó numerosos colapsos.

Era muy común la presencia de muros que restringen parcialmente la deformación de las columnas (columna corta). La falla por este motivo fue una de las más abundantes en el temblor. En otros casos se presentaron fuertes torsiones por asimetría o porque en el cálculo se ignoró la presencia de muros divisorios que al construir el edificio se ligaron a la estructura.

En varios edificios que tenían muros de rigidez para resistir las fuerzas laterales, hubo agrietamientos de la losa por incapacidad de éstas para transmitir fuerzas cortantes en su plano. Es común emplear sistemas de piso a base de viguetas y bovedillas donde la transmisión de dichas fuerzas cortantes se hace a través del concreto colado sobre las bovedillas, normalmente sin refuerzo.

Al menos en dos edificios se encontró amplificación dinámica importante provocada por cambios de masa y rigidez en los últimos niveles. El choque entre edificios vecinos muy próximos entre sí fue poco frecuente, aunque si llegó a presentarse causando fallas de columnas.

En un conjunto habitacional con casas prefabricadas de concreto (aproximadamente 1,200) se observaron principalmente dos tipos de problemas. El primero fue la falla de los anclajes de losa a muros, que consisten en puntos de soldadura entre placas que están ancladas a su vez en los muros y en las losas; la longitud de apoyo entre los muros era muy pequeña y las losas cayeron al interior de la casa. El segundo consistió en el agrietamiento de muros por flexión perpendicular a su plano, pues la losa no pudo actuar como un diafragma para transmitir la fuerza sísmica a los muros paralelos en dirección de la excitación, por estar desligada de éstos. Más de la mitad de las casas de este conjunto sufrió daños.

Varias estructuras que habían sido reparadas localmente después de un temblor ocurrido en 1968, tuvieron fallas importantes en esta ocasión.

Hubo algunas construcciones de concreto que pasaron la prueba prácticamente sin daño, a pesar de encontrarse en la zona de mayor destrucción.

Es de esperarse un mejor comportamiento de los edificios altos debido a su mejor respuesta sísmica para movimientos con periodos dominantes cortos.

Estructuras metálicas: Las pocas estructuras metálicas que había tuvieron un comportamiento bastante satisfactorio. En los casos en que hubo daños, estos se debieron a interacción con muros que impidieron la deformación libre de la estructura.

Managua Antisísmica ***Gabriel Estrada Uribe***

Estrada Uribe (1973) en su obra *Managua Antisísmica*, considera que a pesar de que el sismo de Managua no sobrepasó los 6.5 grados Richter, tuvo características sin precedentes, según se pudo observar en los acelerogramas de La Refinería, situada a unos seis kilómetros al oeste de la capital. En

ellos, la componente E-W del movimiento horizontal exhibió picos de hasta 35% de la aceleración de la gravedad. De acuerdo a sus análisis, las aceleraciones en el centro de Managua pudieron haber alcanzado valores superiores al 50% de la gravedad. Agrega, además, que la componente vertical alcanzó niveles alarmantes, iguales a las horizontales.

En opinión de este autor, la averiada Managua se desplomó, cuando sobrevino el segundo choque de naturaleza trepidatoria y que fue como una gran sacudida vertical.

Describe lo ocurrido el 23 de Diciembre del 72 de la siguiente manera:

El primero de los tres remezones que prácticamente aniquilaron la capital nicaragüense comenzó a las 00:35 horas y tuvo una duración de apenas 7 segundos. A este preaviso siguió, con 20 minutos de diferencia, otro trepidatorio de 6 segundos, con un alto contenido de frecuencia y grandes picos de aceleración tanto horizontal como vertical, que completó la destrucción de la ciudad. Por último, una hora después del segundo temblor, vino un tercero que acabó por derrumbar lo que había quedado apenas averiado.

Este autor considera que a pesar del intenso poder destructor del sismo de Managua, una parte de culpa es imputable a falta de previsión humana en las construcciones debido a que, en general, las construcciones eran bastante deficientes.

Según Estrada Uribe, de las edificaciones antiguas, las de bahareque (llama así a las de taquezal), en el centro de la ciudad, no quedó ni una sola en pie. Gran parte de las construcciones modernas, desde bungalows hasta torres de muchos niveles, diseñadas al tenor del Código de California (Nicaragua no contaba con el suyo propio) quedaron bastante averiadas cuando no derruidas.

Además considera dos aspectos muy determinantes que coadyuvaron a que el desastre cobrara dimensiones impresionantes. Uno fue que la mayoría de las edificaciones fueron realizadas por maestros de obra, sin la asesoría de un ingeniero o arquitecto. El otro que los materiales no llenaban las estrictas especificaciones requeridas en las construcciones antisísmicas.

Este autor resalta en su obra: el suelo de Managua esta compuesto, fundamentalmente, por escorias volcánicas desfavorables, por su rigidez, para el adecuado comportamiento dinámico de las edificaciones bajas en las eventualidades sísmicas.

Al referirse a las grietas que aparecieron sobre el terreno expresa: Había nueve grietas paralelas y aproximadamente equidistantes con un rumbo promedio de N 35° E, similar a la que se registro en el sismo de 1931. Las grietas coincidían también en dirección con la falla Tiscapa que atraviesa la laguna del mismo nombre situada en el centro de Managua, y la cual se asignó como falla causativa. La mayoría de las grietas tenían alrededor de 10 cm de ancho, pero en algunos sitios llegaron a tener hasta 30 cm. Las diferencias de nivel entre las caras de las grietas variaban de 0 a 20 cm, además de que el graben o hundimiento abarcaba una gran área a los lados de la misma. Igualmente, hubo desplazamientos relativos longitudinales entre 0 y 5 cm.

Considera que las construcciones situadas sobre las grietas fueron sometidas, en consecuencia, a solicitaciones estáticas bi o tridireccionales además de las cargas dinámicas del movimiento telúrico. Enfatiza que muchas quedaron derruidas, por causas quizás ajenas a la grieta subyacente, pero otras, bien diseñadas y construidas, permanecieron incólumes.

Según el autor, basado en la situación que encontró después de la tragedia, en los comentarios que escucho de los damnificados y en las observaciones que hizo sobre el estado general de las

construcciones, se podría asignar al terremoto un grado X de intensidad en la Escala Modificada de Mercalli.

Al analizar los acelerogramas registrados en La Refinería, Estrada Uribe expone las siguientes características del movimiento: Gran contenido de frecuencias elevadas, como era de esperarse de un suelo rígido que actúa como un filtro pasa-alto y que transmite a las construcciones bajas y rígidas las armónicas más próximas a sus frecuencias fundamentales, poniéndolas en grave amenaza de resonancia. Nótese la mayor frecuencia del movimiento trepidatorio en la componente vertical. Las tres componentes exhiben, a través del segmento destructor (7 segundos), amplitudes considerables con picos máximos de hasta 0.35g en la componente N-S. La componente vertical llama la atención por sus numerosos y amplios picos con aceleraciones que llegan hasta 0.28g, es decir, que la máxima aceleración vertical fue del 80% de la máxima horizontal. En varios momentos, los picos verticales sobrepasaron a los correspondientes horizontales. La componente vertical del movimiento sísmico se suponía, regularmente, inferior a la mitad de la aceleración máxima horizontal e incluso se despreciaba a menudo, para efectos del diseño de estructuras.

Obsérvese, también, un gran contenido de amplitudes. Sin embargo, los contornos de las bandas laterales de cada componente presentan una buena correspondencia en fase y amplitud, suficiente para haber excitado, en las estructuras poco dúctiles, un ciclo repetitivo de histéresis con un número de frecuencias superior al que podían ellas resistir, y habrá dado lugar, en consecuencia, a su falla por fatiga de bajo ciclo.

La alta persistencia del movimiento, durante los 7 segundos destructivos, se manifiesta en la continuidad y uniformidad de los picos altos, y en la regular modulación de la onda. La profundidad de modulación da idea del comportamiento y amplitud de los choques individuales que componen un mismo remezón. En la componente vertical, por ejemplo, la profundidad promedio de modulación es del 80% del pico máximo de choques que a un pulso continuo. Las amplitudes del acelerograma después del remezón destructor permanecen durante largo tiempo, casi igual al del registro, por encima del umbral de percepción de 10 mili-g. Es decir, el sismo se sintió durante cerca de 35 segundos, lo cual aumentó el pánico y agravó la catástrofe.

El autor agrega: sobre los acelerogramas del segundo remezón pueden hacerse las mismas observaciones que para el primero, excepto que es conveniente anotar su duración más corta, sus picos menores, y su modulación más uniforme. No obstante, sus aceleraciones de hasta 0.32g fueron suficientemente fuertes para destruir lo que el primero dejó apenas averiado.

Según Estrada Uribe, la intensidad calculada (IX grados) en La Refinería, es inferior a la que se asignó anteriormente (X grados). Tal discrepancia podría concluir en la hipótesis de que la magnitud y, por ende, las aceleraciones fueron, en el centro de la ciudad, aun superiores a las cifras obtenidas a 6 km, en La Refinería, puesto que para una intensidad de X grados la ecuación arroja una aceleración horizontal 0.69 g, cantidad comparable a las registradas en el devastador sismo de San Fernando (California) que en 1971 puso en duda al internacionalmente imitado Código de California (Zona 3). Y si, en tal caso, las aceleraciones verticales en el centro hubiesen guardado la misma relación con las horizontales, que en La Refinería, Managua habría sufrido un impacto vertical de 0.55 g, para el cual no estaba diseñada.

Según Uribe, carece de fundamento técnico el afirmar que las construcciones se desplomaron por estar sobre grietas. Y considera que dado el alto porcentaje de destrucción (cerca del 80%) se puede concluir que en general, la construcción en Managua era deficiente. El autor expone que se observaron toda suerte de errores y de aciertos, desde edificios apenas en construcción que quedaron por el suelo, hasta viviendas populares levantadas en serie que no sufrieron siquiera un rasguño en sus acabados, y desde obras en terreno firme seriamente afectadas, hasta casa encima de las grietas con hendiduras tan solo en

el prado del jardín. Afirma que de acuerdo a lo que pudo observar, el grado de destrucción fue proporcional a la calidad de la construcción.

Considera además que los edificios más altos e importantes de Managua, soportaron bien en general el embate del terremoto, aunque algunos exhibieron fallas graves, incluso en la propia estructura. Sin embargo expresa que los de mediana altura quedaron, en general, seriamente afectados, cuando no derruidos. Uribe opina que quizás sus frecuencias fundamentales o las de algunas de sus armónicas (modos superiores) estuvieron próximas a las de la excitación, poniéndolos en una situación más desfavorable.

Al referirse a las viviendas, el especialista dice que las de buena construcción permanecieron de pie, en cualquier sitio, incluso sobre grietas. Y enfatiza que las débiles, mal construidas, quedaron arruinadas.

Mapa de Isosistas del terremoto de Managua del 23 de Diciembre de 1972.

Francisco Hansen y Víctor M. Chávez (1993)

A escasos días de ocurrido el terremoto de 1972, el personal técnico de la Sección de Hidrogeología de Catastro e Inventario de Recursos Naturales, en conjunto con especialistas norteamericanos, realizaron un informe de distribución de intensidades y daños. La determinación de intensidades se realizó según la Escala de Mercalli Modificada, con lo cual se elaboro un mapa de isosistas (Figura 7- 3).

De acuerdo a los autores, la mayor intensidad que se alcanzó fue de grado IX (en la parte céntrica de la ciudad), la cual fue disminuyendo hacia la periferia. En los lugares más afectados se encontraron evidencias como: daños graves en las edificaciones y en algunos casos hasta el colapso total, rotura de tuberías soterradas, desplazamientos en los cimientos de las edificaciones, así como fracturas en el suelo. Consideraron además que la menor intensidad en el área de Managua correspondió al grado V. En el reporte se considera que a la zona de los alrededores de la Laguna de Tiscapa, correspondió el grado IX y se explica que esto más que todo fue debido a que por esa región cruza la falla Tiscapa, por lo que según los autores, era lógico esperar un incremento local de los daños. Se resalta que al este y al oeste del cráter de Tiscapa, los daños fueron impresionantes, pues se llegó hasta el colapso total de edificios.

A gran parte de las zonas de la ciudad que contenían el comercio, la industria, oficinas gubernamentales y el grueso de las viviendas se le asignaron intensidades entre VII y VIII. Estas, las principales áreas de la capital quedaron prácticamente destruidas y carentes de los servicios de agua potable y energía eléctrica.

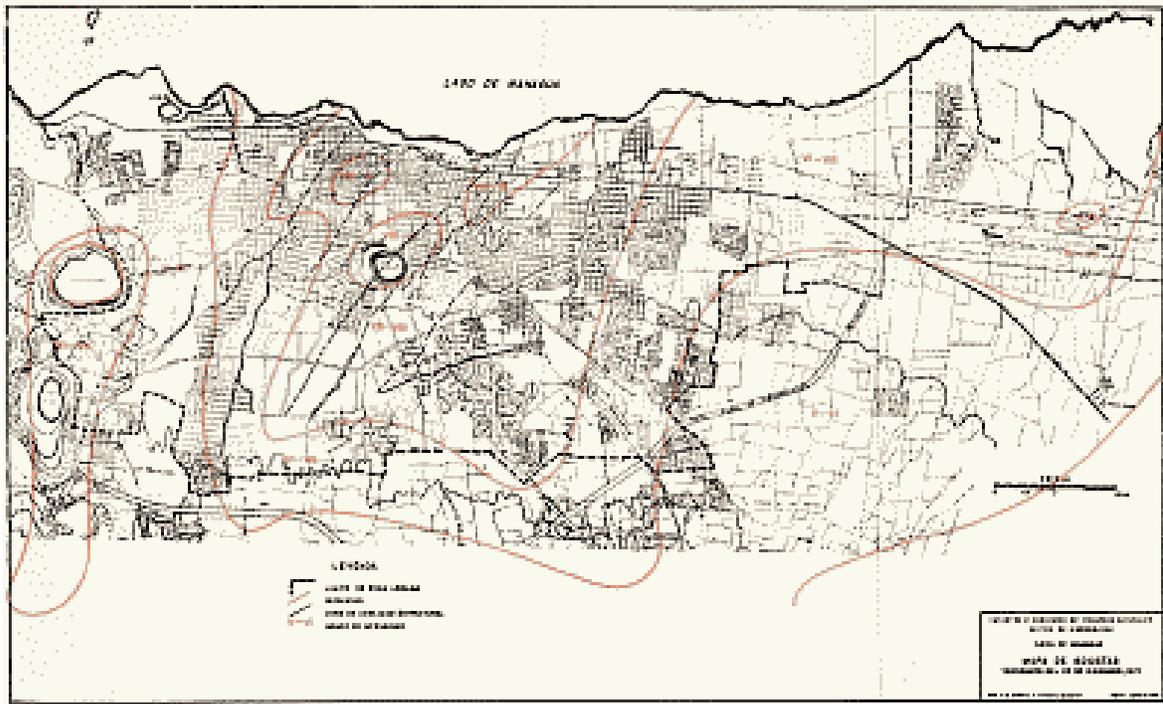


Figura 7- 3 Mapa de isosistas 1972 (Hansen y Chávez, 1973)

Otras obras consultadas

De acuerdo a R. D. Brown y otros (1973), la vasta destrucción y pérdida de vidas humanas por el terremoto del 23 de diciembre de 1972, se debió principalmente a la ocurrencia del terremoto prácticamente debajo de la ciudad, además de la mala construcción de las edificaciones, especialmente el pésimo comportamiento de las de taquezal ante fuerzas laterales impuestas por el sismo. También da un peso muy importante al desplazamiento de cuatro fallas que atraviesan la ciudad.

El reporte presentado por el Earthquake Engineering Research Institute (1973) sobre el terremoto, considera que las estructuras situadas sobre las zonas donde aparecieron rupturas en superficie sufrieron el mayor daño. Enfatizando que se evidenciaron ciertas diferencias en la severidad de los daños, entre las edificaciones situadas directamente sobre la falla y estructuras similares que no estaban ubicadas sobre ella (Figura A6-4). Pero además se indica que es difícil diferenciar entre los daños causados por las fracturas del terreno a los causados por el fuerte movimiento. Se indica además que en general las estructuras bien diseñadas, que no estaban situadas sobre las fallas, sufrieron menos destrucción, resaltando las grandes destrucciones de las zonas donde existían edificaciones de taquezal. De manera general, atribuye los daños a efectos combinados de: el mal diseño y construcción de muchas estructuras, especialmente las edificaciones viejas que servían principalmente como viviendas y a la ubicación de las estructuras sobre el trazo de las fallas que se activaron.

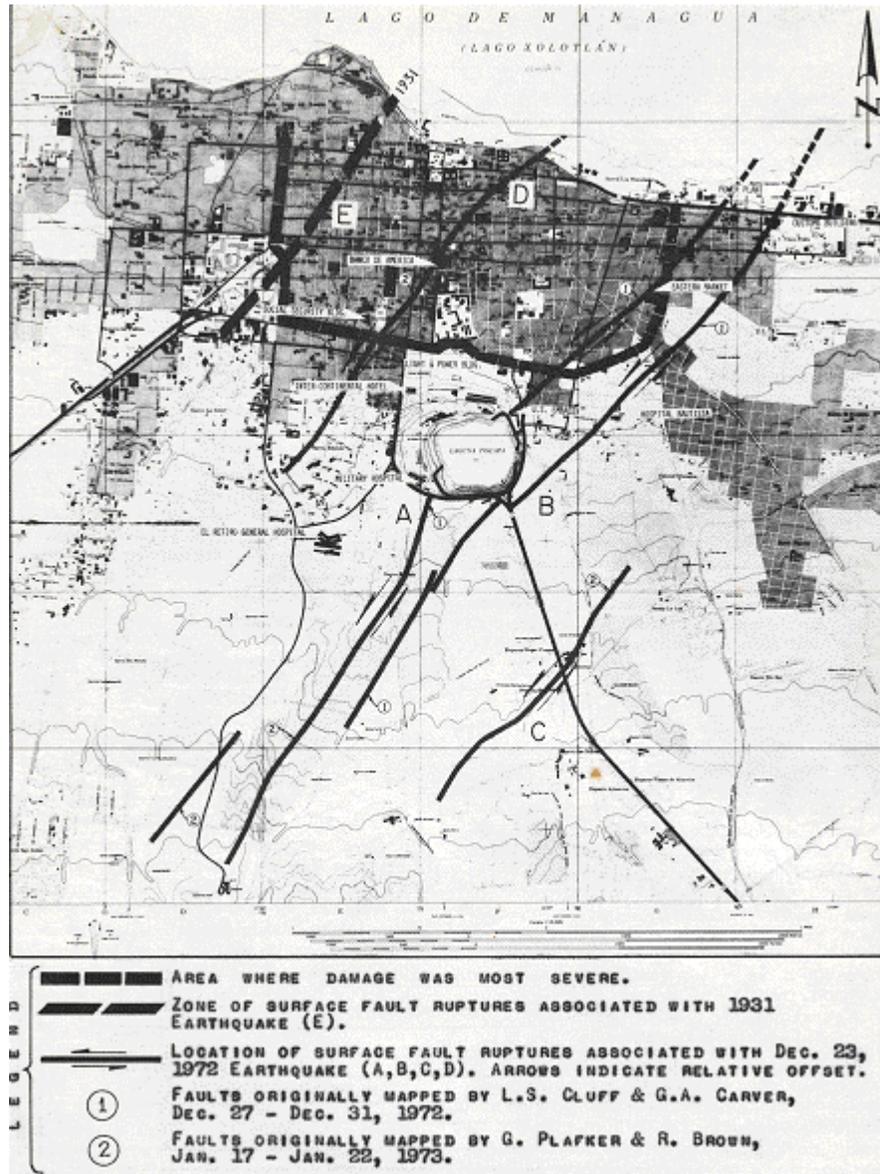


Figura 7- 4 Mapa con localización de rupturas asociadas al terremoto de 1972 (Tomado de EERI, 1973)

Conclusiones

Desde su existencia La Ciudad de Managua ha sido afectada por sismos producidos por diferentes fuentes. Los sismos que más destrucción causaron a Managua sucedieron en el pasado siglo (1931 y 1972) y fueron producidos por la activación de fallas locales (propriadamente debajo de la ciudad). Existen discrepancias entre los diferentes autores sobre la intensidad máxima (IX ó X) que se debió asignar al terremoto de 1972.

Existen discrepancias entre los diferentes autores en cuanto a la causa principal de los daños del terremoto de 1972 y su distribución. En ninguna de las obras consultadas se responsabiliza a las condiciones del suelo como una causante de los daños. Sin embargo no se debe perder de vista el hecho que dos zonas a las que se les asignó intensidades de VIII-IX en el mapa de isosistas (Figura 7- 3) coinciden con puntos que presentan amplificaciones cercanas a 3 e incluso superiores (las máximas encontradas), de acuerdo a un estudio realizado por métodos analíticos en 1998 por Escobar y Corea.

De acuerdo a la literatura consultada, se puede considerar que los daños del terremoto de 1972 fueron causados por una combinación de varios elementos, los que no necesariamente siempre estuvieron presentes en su totalidad. Entre estos se pueden citar:

- Pobre calidad de construcción y materiales deficientes.
- Cercanía del epicentro.
- Cercanía del hipocentro a la superficie.
- Desplazamientos en fallas situadas debajo de la ciudad, así como presencia de fracturas en el terreno.
- Estructuras no adecuadas para tener un buen comportamiento ante cargas laterales.
- Repetición de sismos fuertes posteriores al temblor principal.

Conviene llevar un recuento histórico lo más preciso posible, de preferencia en formato de SIG, sobre los daños durante sismos pasados. Para ello recomendamos recabar la información de los daños del sismo de 1972 predio por predio a partir de información periodística y de fotos, así como de los reportes disponibles en la literatura mundial para poder calibrar futuras corridas y cálculos y tener mejores estimaciones. La base de datos debe incluir tipo estructural, número de pisos, uso del edificio, número de ocupantes, tipo de daño, heridos, muertos, entre otros. Esto es muy factible a través de tesis de licenciatura o de posgrado.

Capítulo 8. Estudio de características de las estructuras de Managua y su clasificación en tipos estructurales

La Ciudad de Managua, Capital de Nicaragua, con cerca de 1,2 millones de habitantes y 600 kilómetros cuadrados en extensión, es el principal centro urbano de Nicaragua. Concentra alrededor del 25% de la población del país y el 48% de la población urbana. Managua es el centro político y económico de la nación y produce cerca del 45% del Producto Nacional Bruto.

En el pasado siglo, Managua fue sacudida por dos terremotos que la destruyeron prácticamente en su totalidad. Estos ocurrieron en 1931 y 1972. Es precisamente debido a estos dos factores descritos con anterioridad (importancia de la ciudad y amenaza sísmica), que se hace necesario conocer el grado de vulnerabilidad de sus edificaciones e infraestructura.

Uno de los elementos indispensables, y posiblemente el más importante que hay que conocer para un estudio de vulnerabilidad estructural ante la amenaza sísmica, es la tipología de las construcciones. En este anexo se hace una descripción de los tipos estructurales más comunes utilizados en Managua con el objeto de que sirva como insumo para el Estudio de Vulnerabilidad Sísmica de Managua.

Evolución de la tipología constructiva

Durante 200 años las ciudades más importantes de Nicaragua hasta entonces, León y Granada, lucharon sobre el derecho para ser la capital. Finalmente, para acabar con la disputa, se decidió que la pequeña ciudad situada entre ellas, Managua, fuese la capital y en 1852 fue erigida como tal. Con anterioridad a esto, ya Managua había sido declarada como Villa en 1819 y como Ciudad en 1846.

Para esa época las edificaciones se construían principalmente con piedra cantera, adobe, taquezal y madera. Estas construcciones generalmente tenían uno o dos pisos y normalmente tenía un tejado muy pesado de teja de barro (Toivanen et al, 1989).

En ese entonces los tipos estructurales tradicionales pueden ser clasificados en dos grupos principales:

- **Estructuras de albañilería:** en esta clasificación entran los de adobe y piedra cantera, y
- **Estructuras de marcos de madera:** dentro de esta tipología estaban las edificaciones de taquezal y las propiamente dichas construcciones de madera.

En 1931 la Ciudad de Managua quedó prácticamente destruida a causa de un terremoto, siendo las construcciones de adobe las que más sufrieron. Fue por esta razón que este material prácticamente se dejó de emplear, tal es así que para 1972 existían muy pocas de estas estructuras y prácticamente todas colapsaron con el sismo del 23 de diciembre (Del Valle, 1973).

Para el terremoto de 1972, predominaban las construcciones de uno y dos pisos; en la zona del centro había varias estructuras cuya altura llegaba a cuatro o cinco pisos y algunas que rebasaban este número; los edificios más altos eran dos bancos de 16 y 18 pisos y un hotel de 10. Los materiales empleados en las construcciones eran: adobe, taquezal, madera y mampostería. Los de dos pisos en adelante eran en general de concreto reforzado. Las estructuras metálicas eran escasas (Del Valle, 1973).

En la actualidad la tendencia de construcción en Managua sigue siendo de edificaciones de uno y dos niveles, aunque durante la segunda mitad de la última década del pasado siglo y comienzos del presente se construyeron varios edificios altos (los primeros hasta entonces posteriores al 72), entre los que se pueden citar: Hotel Inter Plaza, Hotel Holiday Inn, Hotel Piness, Plaza INTER, Centro Corporativo Pellas y TELCOR, entre otros. También se rehabilitaron numerosos edificios entre los que destaca el del Instituto Nicaragüense de Seguridad Social (INSS) en 1993, dañado por el terremoto de 1972. La

tipología de estos nuevos edificios está repartida entre marcos de concreto y marcos de acero, en su mayoría con muros.

Descripción de la tipología constructiva

Ripios: Es una tipología propia de asentamientos de extrema pobreza, donde se utilizan cualquier tipo de material de desecho para edificar las viviendas.

Adobe: Edificación de albañilería, con piezas de arcilla cocidos al sol, unidas con barro, sin elementos de liga. Los techos, de tiras de madera apoyadas en largueros, llevan encima la cubierta. Se encuentran con muy poca frecuencia y las existentes tienen muchos años de construcción. En la actualidad no se construye con este tipo de material.

Madera: Es una tipología en la que predomina la madera como elemento estructural principal. Se encuentra principalmente en zonas suburbanas, barrios antiguos y asentamientos. En la actualidad se emplea muy rara vez.

Bambú, caña o palma: Es una tipología donde predominan los materiales vegetales descrito en el encabezado. Se emplea principalmente en zonas suburbanas o en asentamientos. Se usa con baja frecuencia.

Taquezal: Consiste en postes de madera enterrados en el terreno, a los que se le clavan tiras de madera por la parte interior y exterior de las paredes, con espaciamiento entre 15 y 30 centímetros. El espacio libre se rellena con lodo o bloques de piedra arenisca y ambas caras se repellan con mezcla de arena y cal. Los techos, de tiras de madera apoyadas en largueros, llevan encima la cubierta. Se pueden encontrar en antiguos barrios de Managua aunque en la actualidad no se emplea este tipo de construcción.

Minifalda: Este tipo se volvió muy popular después del 72. Consiste en construcciones de un nivel, en las que la mitad inferior de la pared es construida con materiales de albañilería y la mitad superior de madera, generalmente con techos livianos de zinc sobre entramado de madera. Se puede encontrar en barrios y asentamientos.

Muros de concreto reforzado: Este tipo de construcción se comenzó a emplear en Managua luego del terremoto del 72. Consiste en muros de concreto reforzado, en su mayoría con espesores que andan por el orden de los 10 centímetros. Se pueden encontrar en colonias y residenciales.

Mampostería: En la actualidad es el tipo de material más empleado en las construcciones de Managua. Prevalece la construcción de mampostería confinada, siguiendo en orden la mampostería reforzada y en algunos casos la mampostería sin refuerzo. La pieza mas utilizada es el bloque de concreto hueco, utilizándose en menor proporción la piedra cantera y el ladrillo de barro.

Panel W ó 3D: Se comenzó a emplear en la década pasada. Consiste en una malla tridimensional de alambre de alta resistencia la cual se repella por ambas caras con mortero de arena y cemento. Se emplea en colonias y repartos.

Prefabricado: Es un sistema prefabricado constituido por columnetas de concreto presforzado con canales, a las que se les colocan placas prefabricadas también de concreto.

Marcos: Estructuras cuyo sistema estructural principal es a base de pórticos de metal, concreto o una combinación de ambos. En algunos casos estos marcos están unidos a muros de concreto.

Distribucion de la tipologia de la vivienda

Según el VII Censo de Población y III de Vivienda de Nicaragua, elaborado en 1995 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en el municipio de Managua la tipología según el material de las paredes se manifestaba de la siguiente manera:

Bloque de cemento o concreto:	42 %
Minifalda:	28 %
Madera:	17 %
Ripio o desecho:	7 %
Ladrillo o bloque de barro:	2 %
Lámina de Plycem o Nicalit:	1 %
Piedra cantera:	1 %
Adobe o Taquezal:	menos del 1 %
Barul, caña o palma:	menos del 1 %
Otro tipo:	2 %

Se aprecia que hay un predominio de las de bloque de cemento o concreto bien marcado sobre el resto de materiales con un 42 %, seguido por la minifalda con un 28 %. Es significativo el hecho de que las de adobe o taquezal ocupan menos del 1 %, lo que nos indica que es un sistema que ha quedado en desuso.

Por otro lado, este censo arrojó como resultado que los tipos de techos se distribuyen en Managua como a continuación se describe:

Lamina de zinc:	74.7 %
Lamina de Plycem o Nicalit:	21.2 %
Ripios o desechos:	1.8 %
Teja de barro o cemento:	1.7 %
Paja, palma o similares:	0.1 %
Otro tipo:	0.6 %

De lo anterior se deduce que en Managua predominan los techos livianos.

Clasificación en tipos estructurales

De acuerdo a su comportamiento y el grado de vulnerabilidad de las construcciones en Managua, el primer paso fue establecer el sistema estructural con base en información proveniente del catastro municipal. De acuerdo con eso, la información más relacionada con el sistema estructural es el material de las paredes exteriores e interiores, así como el material de la cubierta. Por otra parte, la altura del edificio (número de niveles) es un dato que se obtuvo de información SIG enviada desde Managua expresamente para este proyecto, y se agregó a la información catastral, y que también tiene relación con el sistema estructural.

Sistema estructural con base en material de paredes

Es claro que el material de las paredes exteriores tiene una relación más directa con el sistema estructural que las paredes interiores, por esta razón, el primer criterio para seleccionar el tipo de

estructura es la pared exterior. De acuerdo con el catastro es posible encontrar estos materiales en las paredes exteriores de las construcciones de Managua

Tabla 8- 1: Información catastral sobre paredes exteriores

Siglas en Catastro	Material de la pared exterior
SIN	SIN ACCESO A INFORMACION
ADO	ADOBE
BAM	BAMBU
BBA	BLOQUE DE BARRO/CERAMICA
BCO	BLOQUE DE CONCRETO
CMO	CONCRETO MONOLITICO
LFC	LÁMINA DE FIBRO/CEMENTO
MET	LÁMINAS METÁLICAS
LAC	LADRILLO CUARTERÓN
CPR	LOSETAS DE CONCRETO PREFABRICADO
MAD	MADERA ACEPILLADA
MAR	MADERA RÚSTICA
MIN	MINIFALDA
PFC	PANEL DE FERRO-CEMENTO
PCA	PIEDRA CANTERA
PLY	PLYWOOD
RIP	RIPIOS O MATERIAL PRECARIO
TAQ	TAQUEZAL
PAW	PANEL W
AVS	ALUM/VIDRIO,S/BORD.CONCR

En algunos casos, el material de las paredes indica directamente el tipo de estructura, como es el caso del adobe, los bloques de barro o concreto o cerámica (en estructuras de pocos niveles), el taquezal y la minifalda. Los demás casos corresponden a recubrimientos exteriores a una estructura de la cual no se tiene información. Por esta razón, con base en prácticas constructivas imperantes en Managua, se relacionó el material con estos sistemas estructurales:

Tabla 8- 2: Tipo estructural de acuerdo a pared exterior

Material de la pared exterior	Tipo estructural
SIN ACCESO A INFORMACION	Ripio
ADOBE	Adobe
BAMBU	Madera
BLOQUE DE BARRO/CERAMICA	mampostería
BLOQUE DE CONCRETO	mampostería
CONCRETO MONOLITICO	marcos de concreto
LÁMINA DE FIBRO/CEMENTO	madera
LÁMINAS METÁLICAS	madera
LADRILLO CUARTERÓN	mampostería
LOSETAS DE CONCRETO PREFABRICADO	prefabricado
MADERA ACEPILLADA	madera
MADERA RÚSTICA	madera
MINIFALDA	madera
PANEL DE FERRO-CEMENTO	concreto
PIEDRA CANTERA	mampostería
PLYWOOD	concreto
RIPIOS O MATERIAL PRECARIO	ripio
TAQUEZAL	taquezal
PANEL W	concreto
ALUM/VIDRIO,S/BORD.CONCR	concreto

En el caso de lámina de fibro/cemento, láminas metálicas y plywood, es posible que la estructura asociada sea madera, acero o concreto, ya que estos materiales de recubrimiento requieren fijarse a una estructura de material noble. En vista de que la mayor parte de estas construcciones son de madera, se asociará las láminas de fibro/cemento y las metálicas a estructuras de madera, y las de plywood a estructuras de concreto; si bien esto no es necesariamente cierto en términos constructivos, se hace así en este proyecto por facilidad y para tener mejor representación estadística. La relación de la pared exterior con el sistema estructural se corroboró con inspecciones de campo de algunas manzanas seleccionadas para ese fin (ver Capítulo 2).

Sistema estructural con base en material de cubierta

La cubierta tiene una influencia fundamental en el comportamiento ante cargas laterales de algunos sistemas estructurales, principalmente los de mampostería y adobe. Por esta razón, se subdividió la clasificación estructural en: sistemas con diafragma rígido (losa de concreto), sistemas sin diafragma rígido y cubierta ligera (lámina de zinc) y sistemas sin diafragma con cubierta pesada (teja de barro). En algunos casos esta subdivisión tiene implicaciones importantes (mampostería y adobe), y en otros la diferencia en el comportamiento es menor. Esta subdivisión no se aplicó a todos los sistemas estructurales ya que se vio que para algunos no era necesario.

En la Tabla 8- 3 se muestran los distintos tipos estructurales que se consideraron en el estudio de riesgo, considerando el material de la cubierta. Se agrega, además, el número de registros que, de acuerdo con la información catastral, tiene cada uno de los sistemas propuestos. Se puede observar que en el caso de adobe no existe ninguna construcción que tenga losa de concreto en la cubierta, por lo que esta combinación queda fuera del análisis posterior. Lo mismo ocurre con el sistema Taquezal con diafragma rígido. En el caso de prefabricado con diafragma (1 registro) y prefabricado sin diafragma con cubierta pesada (1 registro), se les consideró igual al sistema correspondiente sin diafragma con cubierta ligera puesto que es la combinación más recurrente y los resultados de pérdidas no serán muy diferentes en uno u otro caso.

Tabla 8- 3: Tipo estructural considerando cubierta

Tipo Estructural	Tipo cubierta	Material cubierta	Número de registros
Adobe	con diafragma	Pesada	0
Adobe	sin diafragma	Ligera	114
Adobe	sin diafragma	Pesada	44
Concreto	con diafragma	Pesada	775
Concreto	sin diafragma	Ligera	12294
Concreto	sin diafragma	Pesada	415
Madera	con diafragma	Pesada	22
Madera	sin diafragma	Ligera	54751
Madera	sin diafragma	Pesada	407
Mampostería	con diafragma	Pesada	864
Mampostería	sin diafragma	Ligera	100623
Mampostería	sin diafragma	Pesada	668
Prefabricado	con diafragma	Pesada ¹	1
Prefabricado	sin diafragma	Ligera	3481
Prefabricado	sin diafragma	Pesada ¹	1
Ripio	con diafragma	Pesada ²	1
Ripio	sin diafragma	Ligera	14581
Ripio	sin diafragma	Pesada	61
Taquezal	con diafragma	Pesada	0
Taquezal	sin diafragma	Ligera	144
Taquezal	sin diafragma	Pesada	40
Notas			
¹ Se considerará que este tipo corresponde a Prefabricado sin diafragma con cubierta ligera			
² Se considerará que este tipo corresponde a Ripio sin diafragma con cubierta pesada			
Los tipos estructurales sombreados no se considerarán en el análisis de riesgo			

En el caso de Ripio con diafragma rígido, consideramos que es probable que se trate de un error de captura de datos, puesto que no tiene concordancia tener paredes de materiales no estructurales con una cubierta muy pesada. Por esta razón, se consideró que se trata de Ripio sin diafragma con cubierta pesada (combinación que si bien consideramos poco probable, tiene un número de registros considerable).

Además de los sistemas y sus divisiones mostradas en la Tabla 8- 3, con base en el resultado de las inspecciones (ver Capítulo 2) se incluyó además el sistema de marcos de acero con cubierta ligera, mismo que se asignó a un mercado y un edificio.

Estadísticamente las viviendas en Managua se distribuyen de la manera en que se muestra en la Figura 8- 1 en la **Figura 8- 2**. Hay que hacer notar que estos datos provienen de censos de vivienda, lo que constituye un subconjunto de la información del catastro municipal en donde se incluyen a todas las construcciones existentes en Managua.

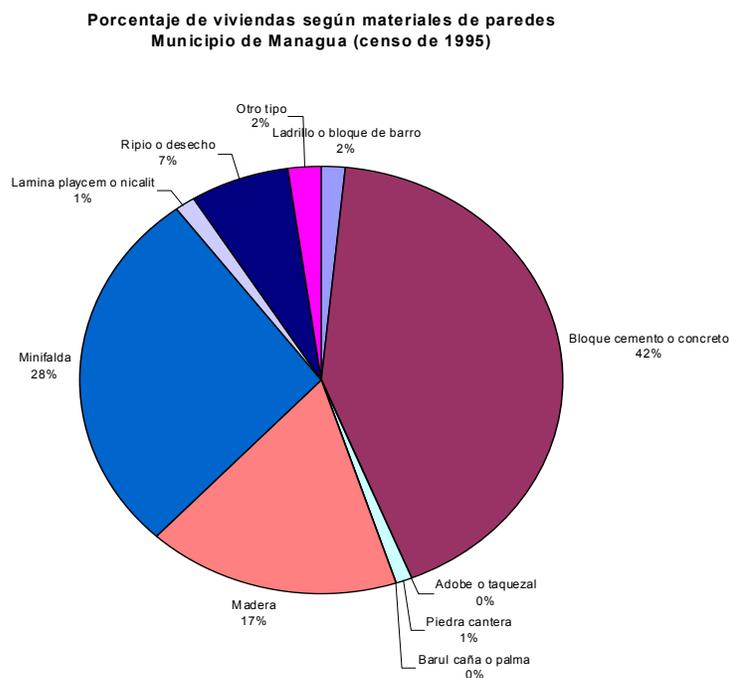


Figura 8- 1: Distribución de viviendas por material de paredes en Managua

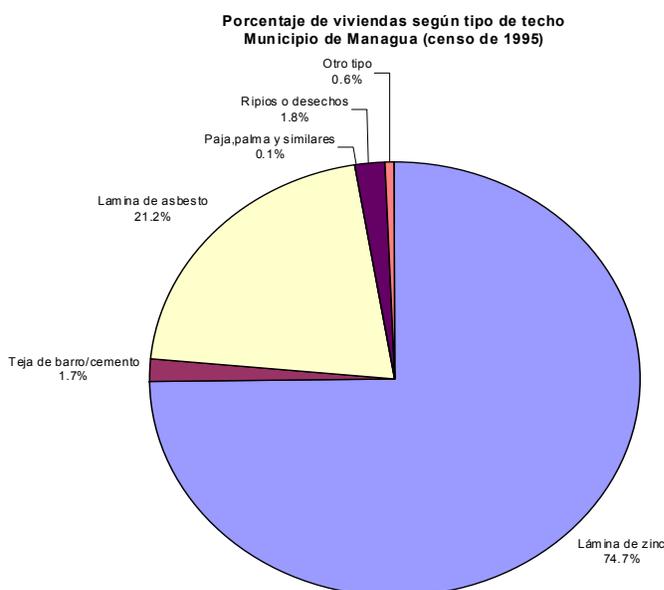
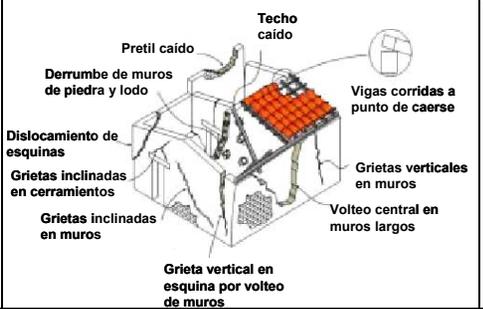
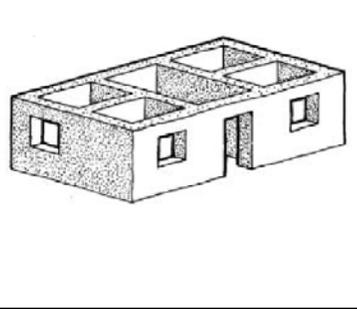


Figura 8- 2: Distribución de viviendas por material de cubierta en Managua

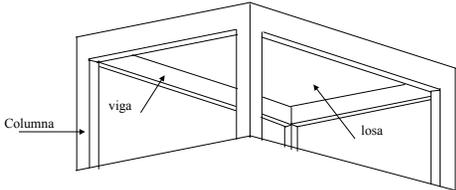
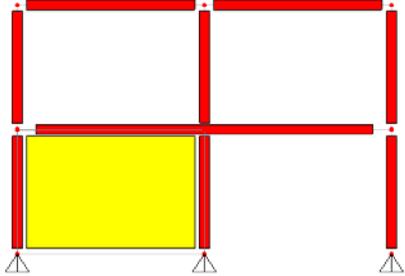
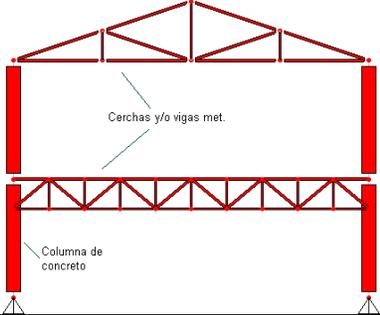
Características de las construcciones en Managua

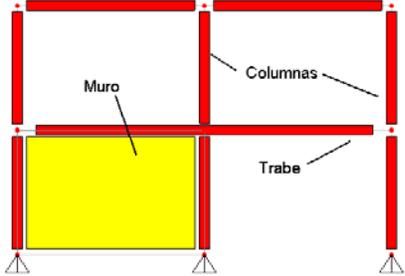
Característica	Minifalda	Ripios	Madera
Número de Pisos	1	1	1 o 2
Uso	Vivienda y pequeños negocios	Vivienda	Vivienda y pequeños negocios
Tipo de Columnas	Madera	Cualquier material	Madera
Tipo de Traves	Madera	Cualquier material	Madera
Muros de Carga	No tiene	No tiene	No tiene
Tipo de Cubierta	Ligera y/o tejas de barro	Ligera y en casos excepcionales tejas de barro.	Ligera y/o teja de barro
Entrepiso	-	-	Madera
Longitud de claros	Aproximadamente 3 metros	Menos de 3 metros	Aproximadamente 3 metros
Muros Prefabricados	No tiene	No tiene	No tiene
Contravientos	No tiene	No tiene	No tiene
Comentarios	Construcción de mampostería hasta la altura de ventana (aproximadamente 1.20 metros) y el resto es de madera.	Construcciones hechas con desechos de cualquier tipo de material.	Marcos de madera que en su mayoría las paredes son de madera, aunque en algunos casos pueden ser de laminas de otro tipo de material.
Esquema			
Coficiente Sísmico de diseño	Cu: 0.386	-	Cu: 0.386
Estructuras con comportamiento similar	Madera	Por sus características, su comportamiento es impredecible.	Minifalda

Característica	Adobe S/R	Taquezal	Mampostería sin refuerzo
Número de Pisos	1	1 ó 2	1
Uso	Vivienda	Vivienda o pequeño negocio	Vivienda
Tipo de Columnas	No tiene	Madera	No tiene
Tipo de Trabes	No tiene	Madera	No tiene
Muros de Carga	Tiene muros de adobe	Tiene muros de lodo y/o piedras.	Tiene muros de bloque de mortero y/o ladrillo de barro y/o piedra cantera.
Tipo de Cubierta	Ligera y/o tejas de barro	Ligera y/o tejas de barro	Ligera y/o tejas de barro
Entrepiso	-	Madera	-
Longitud de claros	Aproximadamente 3 metros	Aproximadamente 3 metros	Aproximadamente 3 metros
Muros Prefabricados	No tiene	No tiene	No tiene
Contravientos	No tiene	No tiene	No tiene
Comentarios	No tiene ningún elemento de concreto ni refuerzo alguno.	Postes de madera enterrados, se le colocan tiras de madera y/o caña y/o sogas y/o alambre y se rellenan con lodo o piedras.	Unidades de mampostería sólidas o huecas sin refuerzo de ningún tipo.
Esquema			
Coefficiente Sísmico de diseño	Cu: 0.618	Cu: 0.514	Cu: 0.618
Estructuras con comportamiento similar	Mampostería sin refuerzo	Su comportamiento es muy particular y no debe compararse con otro tipo de estructura.	Adobe sin refuerzo

Característica	Bambú, caña o palma	Prefabricado	Panel 3d
Numero de Pisos	1	1 o 2	1 o 2
Uso	Vivienda	Vivienda, oficina, comercio menor, etc.	Vivienda, oficina, comercio, etc.
Tipo de Columnas	Bambú, caña o palma	Concreto preesforzado	No tiene
Tipo de Trabes	Bambú, caña o palma	No tiene	No tiene
Muros de Carga	No tiene	No tiene	Malla tridimensional de alambre de acero de alta resistencia con mortero en ambas caras.
Tipo de Cubierta	Ligera	Ligera	Ligera o losa construida con malla de alambre de acero de alta resistencia y concreto.
Losa entrepiso	-	Concreto	Malla de alambre de acero de alta resistencia y concreto.
Longitud de claros	Menos 3 metros	Aproximadamente 3 metros	Aproximadamente 3
Muros Prefabricados	No tiene	Losetas prefabricadas de concreto	No tiene
Contravientos	No tiene	No tiene	No tiene
Esquema			
Coefficiente Sísmico de diseño	-	Cu: 0.618	Cu: 0.514
Estructuras con comportamiento similar	Comportamiento muy impredecible.	-	Muros de concreto reforzado

Característica	Mampostería reforzada	Mampostería confinada	Muros de concreto reforzado (monolítico)
Número de Pisos	Generalmente 1 o 2 niveles, excepcionalmente hasta 4 niveles	Generalmente 1 o 2 niveles, excepcionalmente hasta 4 niveles	Generalmente 1 o 2 niveles, excepcionalmente hasta 5 niveles
Uso	Vivienda, comercio, oficinas, escuelas, salud, institucional, turismo, etc.	Vivienda, comercio, oficinas, escuelas, salud, institucional, turismo, etc.	Vivienda, comercio, oficinas, escuelas, salud, institucional, turismo, etc.
Tipo de Columnas	No tiene	No tiene	No tiene
Tipo de Trabes	No tiene	No tiene	No tiene
Muros de Carga	Tiene muros de bloque de mortero	Tiene muros de bloque de mortero y/o de ladrillo de barro y/o de piedra cantera.	Muros de concreto reforzado
Tipo de Cubierta	Ligera (lámina de zinc, lámina de asbesto, etc.), tejas de barro, losa de concreto macizo o con lamina.	Ligera (lámina de zinc, lámina de asbesto, etc.), tejas de barro, losa de concreto macizo o con lamina.	Ligera (lámina de zinc, lámina de asbesto, etc.), tejas de barro, losa de concreto macizo o con lamina.
Losa entrepiso	Concreto macizo o con lamina	Concreto macizo o con lamina	Concreto macizo o con lamina
Longitud de claros	3 a 4 metros	3 a 4 metros	3 a 4 metros
Muros Prefabricados	No tiene	No tiene	No tiene
Contravientos	No tiene	No tiene	No tiene
Comentarios	Las paredes están reforzadas interiormente con varillas de acero y rellena de concreto. Pueden o no contar con una dala (viga) de concreto reforzado que corona las paredes y en los dinteles.	Las paredes están confinadas por dadas (vigas) y castillos (columnas) de concreto reforzado.	Las paredes son de concreto reforzado con acero.
Esquema			
Coefficiente Sísmico de diseño	Cu: 0.395	Cu: 0.395	Cu: 0.395
Estructuras con comportamiento similar	Mampostería confinada y muros de concreto reforzado.	Mampostería reforzada y muros de concreto reforzado.	Mampostería reforzada y mampostería confinada.

Característica	Marcos de concreto sin muros	Marcos de concreto con muros	Marcos mixtos
Número de Pisos	Generalmente hasta tres niveles, excepcionalmente edificios más altos.	Generalmente hasta cuatro niveles, excepcionalmente edificios más altos	Generalmente hasta 3 niveles, excepcionalmente edificios más altos.
Uso	Vivienda, oficinas, comercio, salud, educacional, institucional, turismo, etc.	Vivienda, oficinas, comercio, salud, educacional, institucional, turismo, etc.	Vivienda, oficinas, comercio, salud, educacional, institucional, bodegas, industria, etc.
Tipo de Columnas	Concreto	Concreto	Concreto
Tipo de Trabes	No hay	Concreto	Metálicas
Muros de Carga	No hay	Hay muros de rigidez (de corte) de concreto	No tienen
Tipo de Cubierta	Concreto	Concreto	Ligera
Losa entrepiso	Concreto macizo o con lamina	Concreto macizo o con lamina	Concreto con lamina
Longitud de claros	5 a 7 metros	5 a 7 metros	Más de 6 metros
Muros Prefabricados	No tiene	No tiene	No tiene
Contravientos	No tiene	No tiene	No tiene
Comentarios	Sistema de columnas y trabes rígidamente unidos sin muros	Sistema de columnas y trabes rígidamente unidos con muros	Sistema de columnas de concreto y cerchas o vigas metálicas rígidamente unidas.
Esquema			
Coefficiente Sísmico de diseño	Cu: 0.337	Cu: 0.337	Cu: 0.337
Estructuras con comportamiento similar	Marco de acero	Marco de acero con muro	Marco de concreto, marco de acero

Característica	Marcos de acero	Marcos de acero con muros
Número de Pisos	Generalmente hasta tres niveles, excepcionalmente edificios más altos.	Generalmente hasta tres niveles, excepcionalmente edificios más altos.
Uso	Vivienda, oficinas, comercio, salud, educacional, institucional, turismo, etc.	Vivienda, oficinas, comercio, salud, educacional, institucional, turismo, etc.
Tipo de Columnas	Acero	Acero
Tipo de Trabes	Acero	Acero
Muros de Carga	No tiene	No tiene
Tipo de Cubierta	Losa de concreto macizo o con lámina.	Losa de concreto macizo o con lámina.
Losa entrepiso	Losa de concreto macizo o con lámina	Losa de concreto macizo o con lámina
Longitud de claros	Hasta 10 metros	Hasta 10 metros
Muros Prefabricados	No tiene	No tiene
Contravientos	No tiene	Acero
Comentarios	Las conexiones trabe-columna pueden ser rígidas, semi-rígidas o flexibles.	La rigidez lateral la proporcionan los elementos diagonales
Esquema		
Coefficiente Sísmico de diseño	Cu: 0.337	Cu: 0.337
Estructuras con comportamiento similar	Marco de concreto sin muros	Marco de concreto con muro

Conclusiones

- La tipología constructiva más usada en Managua es la de muros de mampostería, destacándose las de bloque de concreto.
- El sistema constructivo más empleado es el de mampostería confinada.
- En Managua predominan las construcciones de uno y dos niveles.
- Independientemente del sistema constructivo, en Managua predomina la cubierta ligera.
- Tipologías consideradas como muy vulnerables, en base a la experiencia local, como el adobe y el taquezal han quedado en desuso en Managua. Además de esto las construcciones que existen de estos materiales ocupan un porcentaje casi insignificante dentro del universo de edificaciones de la ciudad.
- Por otra parte es de destacar que el 99% de las construcciones carece de un diafragma rígido en la azotea y el restante 1% si lo tiene.
- Con base en ello, se propone clasificar las construcciones en los tipos estructurales mostrados en la Tabla 8- 4, en la cual se puede observar que el sistema más empleado es la mampostería seguida por las construcciones de madera (incluyendo la minifalda), cosa que concuerda con las estadísticas presentadas en la Figura 8- 1 y **Figura 8- 2**.

Tabla 8- 4: Tipos estructurales empleados en análisis de riesgo sísmico

Tipo Estructural	Tipo cubierta	Material cubierta	Número de registros	% por tipo
Adobe	sin diafragma	Ligera	114	
Adobe	sin diafragma	Pesada	44	0.08
Concreto	con diafragma	Pesada	775	
Concreto	sin diafragma	Ligera	1229	
Concreto	sin diafragma	Pesada	415	7.12
Madera	con diafragma	Pesada	22	
Madera	sin diafragma	Ligera	5475	
Madera	sin diafragma	Pesada	407	29.15
Mampostería	con diafragma	Pesada	864	
Mampostería	sin diafragma	Ligera	10062	
Mampostería	sin diafragma	Pesada	668	53.97
Prefabricado	sin diafragma	Ligera	348	1.84
Ripio	sin diafragma	Ligera	1458	
Ripio	sin diafragma	Pesada	61	7.74
Taquezal	sin diafragma	Ligera	144	
Taquezal	sin diafragma	Pesada	40	0.10
Acero	sin diafragma	Ligera		

Capítulo 9. Conclusiones y Recomendaciones

A continuación se presentan las conclusiones y recomendaciones principales que hemos recopilado a lo largo de la elaboración de este proyecto. Las hemos agrupado por capítulo para que de esa manera se identifiquen mejor todos los aspectos comentados.

Capítulo 2

De la inspección a las manzanas se concluye que el catastro tiene información errónea o no tiene información en un 50 por ciento de los casos. Si bien inspeccionar todo Managua es una actividad enorme y tal vez fuera de proporción, si es recomendable hacerlo en las manzanas más importantes. De igual manera, hay algunas manzanas en donde no se cuenta con el código por lo que no es posible saber los datos de esos predios. En resumen, la información del catastro debe ser considerada como información básica cuando no se tienen mejores datos, pero a la larga debe contarse con una base de datos propia en donde las inspecciones tengan mucho más peso y sustituyan a los datos del Catastro.

La determinación del sistema estructural a partir de los datos del catastro coincidieron con lo observado en las inspecciones a las manzanas en un alto porcentaje (99.6%). Esto indica que la estrategia seguida para determinar el tipo estructural es bastante confiable, y que la principal fuente de errores es la información catastral disponible. Para mejorar las estimaciones del tipo estructural será necesario mejorar la información contenida en el catastro de la ciudad de Managua.

No se cuenta con la información de porcentajes de ocupación de inmuebles según la hora del día incluyendo la gente que se encuentra en la calle tanto en lugares abiertos como transportándose.

El edificio de Bomberos (zona 1) se encuentra en un estado preocupante. Puesto que se trata de un edificio esencial para la atención de la población durante e inmediatamente después de la emergencia su integridad estructural debería ser óptima y el mantenimiento de la misma acorde con la importancia del edificio. Antes de realizar una evaluación de las pérdidas en este edificio se puede concluir que por su estado actual es un edificio de alta vulnerabilidad, inaceptable en un edificio de esta importancia.

Capítulo 3

Se han propuesto funciones de vulnerabilidad para todos los tipos estructurales de Managua. Estas funciones han sido calibradas para ser aplicables únicamente a estructuras en ésta ciudad, por lo que no es posible emplearlas para evaluar pérdidas en lugares con otras prácticas constructivas.

Se ha estudiado la vulnerabilidad de líneas vitales y tanques, con lo cual es posible calcular pérdidas ante escenarios diversos. A diferencia de la vulnerabilidad en edificios, el parámetro de daño en el caso de las líneas vitales es el número de roturas por km de longitud.

Se ha estudiado las estadísticas sobre ocupantes atrapados y fallecidos por el colapso de sus viviendas o centros de trabajo. Con base en esto se propuso un método para estimar el número de víctimas fatales ante diversos escenarios de sismos en Managua.

Capítulo 4

Se realizaron los cálculos para obtener niveles de amenaza para diferentes periodos de retorno en Managua. En particular, interesa conocer la amenaza (medida en términos de la aceleración máxima del

terreno) para 100 y 475 años de periodo de retorno. La aceleración que corresponde a un periodo de retorno de 100 años es igual a 2.14 m/s^2 ($0.218g$) y de 3.13 m/s^2 para un periodo de 475 años.

Capítulo 5

El cálculo analítico muestra que entre un sitio y otro de la ciudad de Managua serían de esperarse variaciones de hasta un factor de 2 tanto en la aceleración máxima del suelo como en los valores de ordenadas espectrales para periodos inferiores a aproximadamente 0.7 seg. Para periodos superiores, las respuestas en todos los suelos estudiados son similares, lo cual indica que, tal como se ha hecho notar en los estudios empíricos, los suelos son rígidos y no muestran amplificaciones en baja frecuencia.

A pesar de que se observan esas variaciones de sitio a sitio en periodo corto, es muy probable que éstas se deban a detalles en el espectro del movimiento incidente, de suerte que, dependiendo del contenido específico de frecuencias del temblor, las aceleraciones sean mayores en unos sitios o en otros. De ser cierto esto, no sería posible una microzonificación detallada de Managua, puesto que los detalles espectrales de los movimientos que ocurran en el futuro son impredecibles. Esta conjetura ha sido parcialmente verificada utilizando para los cálculos movimientos de entrada con contenidos de frecuencia diferentes.

Puede, entonces, llegarse a la conclusión de que la “frecuencia predominante del suelo” no sería un buen indicador del tamaño de los espectros de respuesta que podrían presentarse en el futuro y, por tanto, no sería un parámetro adecuado para basar una eventual microzonificación de la ciudad. Como los resultados de este estudio lo muestran, para el sismo de 1972 el sitio con la máxima ordenada espectral calculada es el teatro Rubén Darío, que no es el que tiene la menor ni la mayor frecuencia fundamental de los sitios de Managua.

Capítulo 6

De un análisis de las representaciones gráficas de las pérdidas para los eventos del 72, el de 100 y 500 años de periodo de retorno se puede afirmar que existe una gran influencia de la ubicación del epicentro en la distribución de daños en construcciones.

Las construcciones que más se dañan son las construcciones de muros de adobe con cubierta de teja de barro, seguido de las construcciones de ripio con cubierta pesada, prefabricados y taquezal con cubierta pesada. En la descripción de las funciones de vulnerabilidad (Capítulo 3) se describe con detalle los factores que favorecen tan altas pérdidas en estas construcciones.

El daño estimado para la estación de bomberos (zona 1) es inaceptable para un edificio de su importancia, ya que su operatividad debe garantizarse en situaciones de emergencia como en un sismo de gran magnitud.

De los mapas de riesgo generados en este proyecto se tiene que, con base en las construcciones para las cuales se tiene información catastral, el riesgo general en Managua esta entre bajo y moderado. Igualmente, es aparente una distribución similar del riesgo en todos los distritos. Una estadística de la distribución del riesgo en toda Managua, y en cada distrito, se presentan en la Tabla 9- 1:

Tabla 9- 1: Estadísticas de los niveles de riesgo de edificios, por distritos.

Riesgo	Distrito 2	Distrito 3	Distrito 4	Distrito 5	Distrito 6	Managua
Alto	1,903 (8.46%) ¹	2,305 (11.76%) ¹	2,090 (6.41%) ¹	5,300 (10.55%) ¹	3,394 (12.59%) ¹	14,992 (9.87%) ¹
Moderado	8,626 (38.36%) ¹	7,586 (38.70%) ¹	14,116 (43.30%) ¹	15,090 (30.04%) ¹	5,845 (21.68%) ¹	51,263 (33.75%) ¹
Bajo	11,959 (53.18%) ¹	9,710 (49.54%) ¹	16,392 (50.29%) ¹	29,842 (59.41%) ¹	17,727 (65.73%) ¹	85,630 (56.38%) ¹
Sin datos actualizados	7,831	26,382	4,923	7,805	37,143	84,084
Sin datos catastrales	1,618	1,484	2,766	1,663	1,214	8,745

¹ Porcentaje respecto del total de edificios con información por distrito (y total en el caso de Managua).

La clasificación de las construcciones en riesgo alto, moderado o bajo es adecuada en zonas de alta sismicidad, como la ciudad de Managua. La comparación con zonas geotectónicamente distintas deberá hacerse considerando esto. Es recomendable tomar en cuenta que los valores absolutos del riesgo obtenidos en este estudio en construcciones específicas tienen asociado grandes incertidumbres, por lo que la interpretación de estos valores deberán tomarse con el cuidado correspondiente. Es altamente recomendable complementar esta información con una inspección al inmueble de que se trate.

Capítulo 7

Desde su existencia La Ciudad de Managua ha sido afectada por sismos producidos por diferentes fuentes. Los sismos que más destrucción causaron en Managua sucedieron en el pasado siglo (1931 y 1972) y fueron producidos por la activación de fallas locales (propriadamente debajo de la ciudad). Existen discrepancias entre los diferentes autores sobre la intensidad máxima (IX ó X) que se debió asignar al terremoto de 1972.

Existen discrepancias entre los diferentes autores en cuanto a la causa principal de los daños del terremoto de 1972 y su distribución. En ninguna de las obras consultadas se responsabiliza a las condiciones del suelo como una causante de los daños. Sin embargo no se debe perder de vista el hecho que dos zonas a las que se les asignó intensidades de VIII-IX en el mapa de isosistas coinciden con puntos que presentan amplificaciones cercanas a 3 e incluso superiores (las máximas encontradas), de acuerdo a un estudio realizado por métodos analíticos en 1998 por Escobar y Corea.

De acuerdo a la literatura consultada, se puede considerar que los daños del terremoto de 1972 fueron causados por una combinación de varios elementos, los que no necesariamente siempre estuvieron presentes en su totalidad. Entre estos se pueden citar:

- Pobre calidad de construcción y materiales deficientes.
- Cercanía del epicentro.
- Cercanía del hipocentro a la superficie.
- Desplazamientos en fallas situadas debajo de la ciudad, así como presencia de fracturas en el terreno.
- Estructuras no adecuadas para tener un buen comportamiento ante cargas laterales.
- Repetición de sismos fuertes posteriores al temblor principal.

Capítulo 8

- La tipología constructiva más usada en Managua es la de muros de mampostería, destacándose las de bloque de concreto.
- El sistema constructivo más empleado es el de mampostería confinada.
- En Managua predominan las construcciones de uno y dos niveles.
- Independientemente del sistema constructivo, en Managua predomina la cubierta ligera.
- Tipologías consideradas como muy vulnerables, con base a la experiencia local, como el adobe y el taquezal han quedado en desuso en Managua. Además de esto las construcciones que existen de estos materiales ocupan un porcentaje casi insignificante dentro del universo de edificaciones de la ciudad.
- Por otra parte es de destacar que el 99% de las construcciones carece de un diafragma rígido en la azotea y el restante 1% si lo tiene.

Recomendaciones

Con base en lo observado y en los resultados obtenidos del análisis de riesgo, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Elaborar un plan de inspección en donde participen las universidades a través de sus profesores y estudiantes donde estos últimos harán barridos completos de manzanas para recabar la información útil y adecuada.
- Es urgente reparar y reforzar el edificio de bomberos, especialmente las columnas ya que podrían fallar y la cubierta colapsar lo que inhabilitaría este vital servicio en caso de un terremoto. Este punto, sin duda, merece una atención prioritaria de las autoridades con el objeto estar en posibilidad de atender la emergencia que se presentará luego de eventos sísmico de mediana y gran magnitud.
- Es necesario hacer algo con la vieja catedral ya que no resistirá un sismo de mediana intensidad. El valor que tiene para la ciudad es incalculable, y su pérdida total será muy lamentable y será un duro golpe emotivo para la población.
- Mover la bodega de la planta alta de INSS porque sus contenidos sufrirán grandes daños aún ante sismos de mediana intensidad.
- Evitar la construcción de estructuras muy vulnerables a la acción del sismo, como taquezal, ripio y prefabricados (prefabricado Sandino).
- Evitar que construcciones de muros (mampostería de ladrillo, block o adobe) carezcan de diafragmas rígidos (losa de concreto) en la cubierta. Esta situación las hace particularmente vulnerables.
- Dar mantenimiento preventivo a las construcciones (principalmente las de adobe, mampostería y madera) con el objeto de evitar el deterioro que algunos elementos sufren por estar expuestas a la intemperie.
- Capacitar a los profesionales y a todas las personas dedicadas a la construcción con el objeto de dar lineamientos básicos de seguridad estructural en construcciones pequeñas donde no es posible contar con asistencia profesional continua.
- Reglamentar y reforzar la supervisión y control de calidad durante la construcción.

- Si bien es imposible tener estructuras que no se dañen ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud, es necesario evitar que éstas colapsen parcial o totalmente causando daño a sus ocupantes. Desde este punto de vista, una estructura correctamente diseñada bajo este enfoque deberá ser reparada cada vez que un sismo le ocasiona daño estructural, ya que ese nivel de daño vuelve más vulnerable a la acción de un nuevo sismo, aumentando su probabilidad de colapso. Es conveniente, entonces, crear programas de reforzamiento y rehabilitación luego de cada movimiento sísmico intenso, con el objeto de que las estructuras recuperen su integridad estructural y puedan enfrentar las sollicitaciones sísmicas futuras con suficientes reservas de resistencia y rigidez. Esto es particularmente crítico en edificios históricos.
- El mantenimiento preventivo de los edificios esenciales es prioritario. El efecto negativo de los eventos naturales (como los sismos) se ven incrementados cuando los servicios de emergencia fallan o son seriamente rebasados. En ese sentido, las inspecciones realizadas a algunos edificios en Managua han mostrado elementos deteriorados y aspectos estructurales que incrementan la vulnerabilidad de estos edificios. En particular el Departamento de Bomberos Zona 1 evidencia factores que pueden corregirse a corto plazo, pero que en las actuales condiciones incrementan bastante la posibilidad de que falle, aún si ocurriera un sismo moderado. Cabe resaltar que las inspecciones realizadas a edificios no constituyen dictámenes de seguridad estructural, sin embargo consideramos que, en donde se haya detectados factores de vulnerabilidad, es conveniente realizar estudios específicos sobre su integridad estructural.
- Realizar una evaluación explícita y concreta sobre los centros de salud y su operabilidad en el caso de la ocurrencia de un sismo, así como la posibilidad de instalar hospitales en sitio en donde se esperen daños mayores.
- Conviene llevar un recuento histórico lo más preciso posible, de preferencia en formato de SIG, sobre los daños durante sismos pasados. Para ello recomendamos recabar la información de los daños del sismo de 1972 predio por predio a partir de información periodística y de fotos, así como de los reportes disponibles en la literatura mundial para poder calibrar futuras corridas y cálculos y tener mejores estimaciones. La base de datos debe incluir tipo estructural, número de pisos, uso del edificio, número de ocupantes, tipo de daño, heridos, muertos, entre otros. Esto es muy factible a través de tesis de licenciatura o de posgrado; podrían, inclusive, realizarse conjuntamente con universidades extranjeras como la UNAM en México.
- En la actualidad, no existe un consenso sobre la manera en que los distintos índices de daño se relacionan con medidas físicas del mismo en estructuras específicas. Existen algunas investigaciones al respecto, orientadas a estructuras de concreto y de mampostería, por lo que se recomienda seguir el curso de estas investigaciones, aplicables a los demás tipos estructurales considerados en este estudio, para que, en un futuro, se pueda hacer una mejor descripción física del daño en estructuras específicas.

Anexo 1: Logística durante un desastre

Logística de los Cuerpos de Emergencia Durante un Desastre

Es importante mantener en mente la buena organización de los cuerpos de emergencia para el mejor aprovechamiento de recursos humanos y materiales. El evitar que las vías de acceso a hospitales y a posibles áreas de concentración de víctimas estén obstruidas, optimiza las tareas de rescate. Por lo que se fijan vías de acceso y evacuación específicas de un solo sentido (NORIA OFICIAL), con el fin de que los mismos vehículos no obstaculicen en mayor medida las calles y avenidas de acceso.

Los lugares destinados para refugios que son previstos con anticipación al evento serán: espacios amplios con capacidad de albergar un gran número de personas; las escuelas, estadios, y otros edificios construidos con criterios exigentes de resistencia y rigidez, pueden ser adecuados temporalmente como refugios una vez evaluados los daños.

La evaluación de la seguridad estructural y funcionalidad de los hospitales, inmediatamente después de que ocurre un evento, es de vital importancia para conocer la cantidad de recursos con los que se cuenta. En algunos casos al ser insuficientes, es recomendable que se consideren los hospitales de campaña ubicados en sitios estratégicos. Los hospitales de campaña están diseñados para admitir, clasificar y hospitalizar temporalmente a personas lesionadas. Provee atención quirúrgica profesional y su equipamiento hace posible cirugías mayores de extremidades y tórax, así como otras menores de cráneo. Dichos hospitales se ubican en tiendas, o algunos edificios apropiados.

La estructura, distribución y número de hospitales dependen de las necesidades existentes, se recomienda que cada uno esté conformado de la siguiente manera:

1. Área Séptica
2. Área de admisión
3. Área de resucitación
4. Área de tratamiento 1 (sin necesidad de oxígeno)
5. Cirugía (área central del hospital)
6. Rayos X
7. Farmacia
8. Zona de camas
9. Sección administrativa
10. Área destinada para el personal del hospital.

Personal óptimo para el hospital

- 11 médicos cirujanos
- 2 químicos farmacéuticos
- 50 paramédicos
- 50 encargados del funcionamiento correcto del hospital

El tiempo que se invierte en el montaje de cada hospital en invierno o verano es de 10-12 horas o 5-6 horas respectivamente. Para que un hospital de campaña sea útil debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Debe ser completamente operativo dentro de las primeras 24 horas de ocurrido el evento.
- Capaz de proveer los servicios que satisfagan las necesidades médicas

- La tecnología contenida dentro de ellos debe ser accesible para ser operada por el personal de salud nacional

Las autoridades nacionales deben determinar si los hospitales disponibles en el momento cumplen con estos tres requisitos para usarlos de manera inmediata y darle prioridad a su montaje.

El beneficio que se tiene al aceptar hospitales de campaña donados deben ser cuidadosamente estudiados, considerando:

- El tiempo que toma en llegar un hospital de campaña de un país donante, ser puesto en funcionamiento y sea completamente operativo, va a ser mayor al tiempo crítico en que se necesita dar atención médica a las víctimas.
- Los países donantes pagarán costos muy grandes para transportar estos hospitales. Estos fondos pueden ser empleados más eficientemente para cubrir otras necesidades.

Organización Del Equipo de Emergencia

TRIAGE

Triage es un término de origen francés que significa clasificación o selección. En el área de salud, se entiende como un “proceso dinámico mediante el cual se determina el orden de prioridades”. La clasificación se basa en el beneficio que presumiblemente podrá obtenerse de la atención médica y no solo en la gravedad de los lesionados. Su objetivo es obtener los mejores resultados para el mayor número posible de víctimas, para esto se antepone el interés colectivo. Sus características son:

1. Ser simple
2. Planeado y difundido con anterioridad.
3. Aceptación total de sus principios.
4. Hacer uso de todo el personal disponible.
5. Realizarse en forma continua en todos los pacientes.
6. Ser dirigido por oficiales de Triage.

El triage es dinámico e implica la continua valoración de los pacientes y su respuesta a los tratamientos realizados, un paciente podrá de acuerdo a su evolución pasar a otra prioridad de atención.

En un intento de unificar y homogeneizar los criterios, se ha aceptado internacionalmente un código de colores para la clasificación de pacientes identificando la prioridad de atención médica para cada uno de ellos. En tarjetas de colores que tienen la ventaja de que en ellas se puede escribir los datos generales del paciente, los signos clínicos de interés y los tratamientos recibidos.

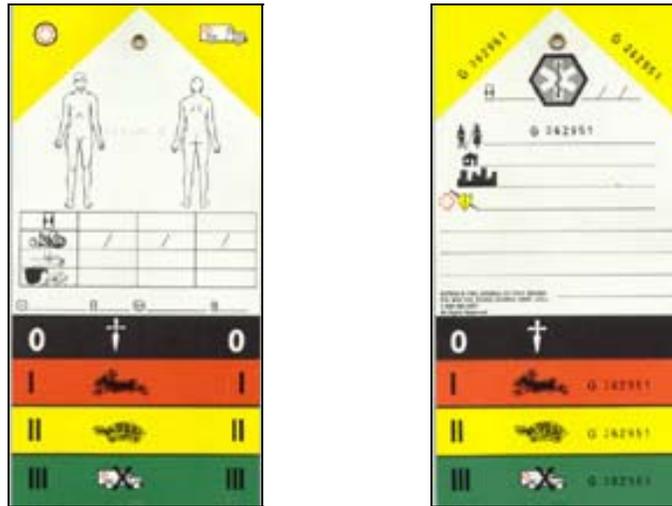


Figura A1-1: Tarjetas para la clasificación de pacientes de acuerdo al código internacional de colores

En los casos en que no se cuente con tarjetas de colores, las víctimas deberán identificarse con una tela adhesiva colocada en el pecho, brazo o frente. Los colores empleados son:



Figura A1-2: Clasificación e identificación de pacientes

- Color Rojo: Paciente en estado crítico, que requiere de cuidados médicos inmediatos e intensivos por estar en riesgo inminente su vida. Se trata de pacientes que si son adecuadamente atendidos en forma temprana su pronóstico es favorable con una alta posibilidad de sobre vivencia. A estos se les asigna la primera prioridad.
- Color Amarillo: Pacientes en estado grave, En este grupo se incluyen pacientes graves, con mejor pronóstico por presentar lesiones que pueden esperar un tiempo razonable para su atención sin modificar sus posibilidades de sobre-vida. A este grupo se les asigna la segunda prioridad.
- Color Verde: Pacientes en estado muy crítico o pacientes con lesiones mínimas. Comprende por lo tanto dos tipos de pacientes aquellos que por el tipo de lesiones tiene un pronóstico malo, aún en las mejores circunstancias y pacientes con lesiones mínimas que pueden ser atendidos como externos. A este grupo se le asigna la tercera prioridad de atención.

- Color Negro: Cadáveres. Estos deberán ser tratados con respeto, no se les asigna prioridad de atención deberán ser trasladados a morgues y no se hará uso del servicio de ambulancias para este fin.

Comando de Incidentes

Es un Sistema de Atención diseñado para atender eventos con víctimas múltiples que sobrepasen la capacidad de respuesta del Sistema Medico de Urgencias.

El Puesto de Mando Unificado es una figura flexible, en la cual, según cada tipo de situación, se privilegia que las personas y entidades de mayor capacidad y experiencia realicen sus funciones al mando de las operaciones de atención. Las figuras involucradas en el Comando de incidentes son:

Comandante de Incidente

Coordina las actividades de todos los actores y es la cabeza del puesto unificado de mando. Es el responsable de:

- Vestir algún indicativo que lo distinga como Comandante de Incidentes.
- Establecerse en un área SEGURA, VISIBLE y no separarse de su unidad.
- Pedir unidades adicionales en caso de ser necesitadas.
- Establecer un área de suministros lo más pronto posible.
- Asignar Oficiales para llevar a cabo las siguientes funciones:
 - Oficial de TRIAGE
 - Oficial de transportes
 - Oficial de tratamiento
 - Oficial de rescate
- Cuando sea aplicable tener presente un representante de cada Grupo participante en el incidente, como:
 - Policía
 - Cuerpo de Ambulancias
 - Protección Civil
 - Cuerpo de Bomberos
 - Dueño del inmueble o representante de Zona Afectada.

Oficial de TRIAGE

Es el responsable de la clasificación de los lesionados según su gravedad y recursos disponibles. Sus funciones incluyen:

- Dirigir al personal a clasificar a las víctimas en la escena.
- Asegurar que todas las áreas del incidente hayan sido inspeccionadas y que todas las víctimas hayan sido clasificadas.
- Reportar al Comandante de Incidente el número de víctimas junto con la clasificación de cada uno.
- Se coordina con el oficial de tratamiento y Transporte para mover y trasladar a todas las víctimas posibles.
- Una vez terminada la clasificación de víctimas, se reportará al comandante de incidentes.

Oficial de tratamiento

Responsable de coordinar el tratamiento de los lesionados en el lugar.

- Supervisa el TRIAGE y la estabilización de las víctimas en el Puesto Médico.
- Dirige al personal del Puesto Médico.
- Asegura el Flujo eficaz de víctimas.
- Asegura la disponibilidad de equipo y suministros adecuados en cada área de tratamiento.
- En colaboración con el Oficial de Transporte, el funcionario de salud del Puesto de Mando y el hospital que recibe las víctimas, organiza el traslado de los pacientes.
- Decide el orden de traslado de víctimas.
- Informa al Comandante de Incidentes del desarrollo de su área.

Oficial de transporte

Es responsable de la distribución y control de las unidades disponibles.

- Coordina y supervisa el transporte de las víctimas.
- Identifica las rutas de acceso (NORIA) y comunica el flujo a los conductores.
- Supervisa a todos los conductores de ambulancia y vehículos asignados.
- Asigna tareas apropiadas conforme a necesidades concretas.
- Mantiene un registro del movimiento de todos los vehículos bajo su control.
- Recibe órdenes del Comandante de Incidentes.

Noria OFICIAL: El movimiento de los Vehículos del Sistema Médico de Emergencia (SME) debe ser “EN UN SOLO SENTIDO” y sin cruzarse. Esto para facilitar la logística y operación.

Oficial de rescate

Responsable de las actividades de rescate y salvamento.

- Coordina las actividades de búsqueda y rescate mediante:
 - Identificación y coordinación de brigadas.
 - Supervisión de las brigadas.
 - Coordinación del Traslado de los pacientes de ésta al Puesto Médico.
 - Comunicación con el puesto de mando para reforzar los recursos.
 - Velar por la garantía de la seguridad de las brigadas de Búsqueda y Rescate.

Anexo 2: Mapas

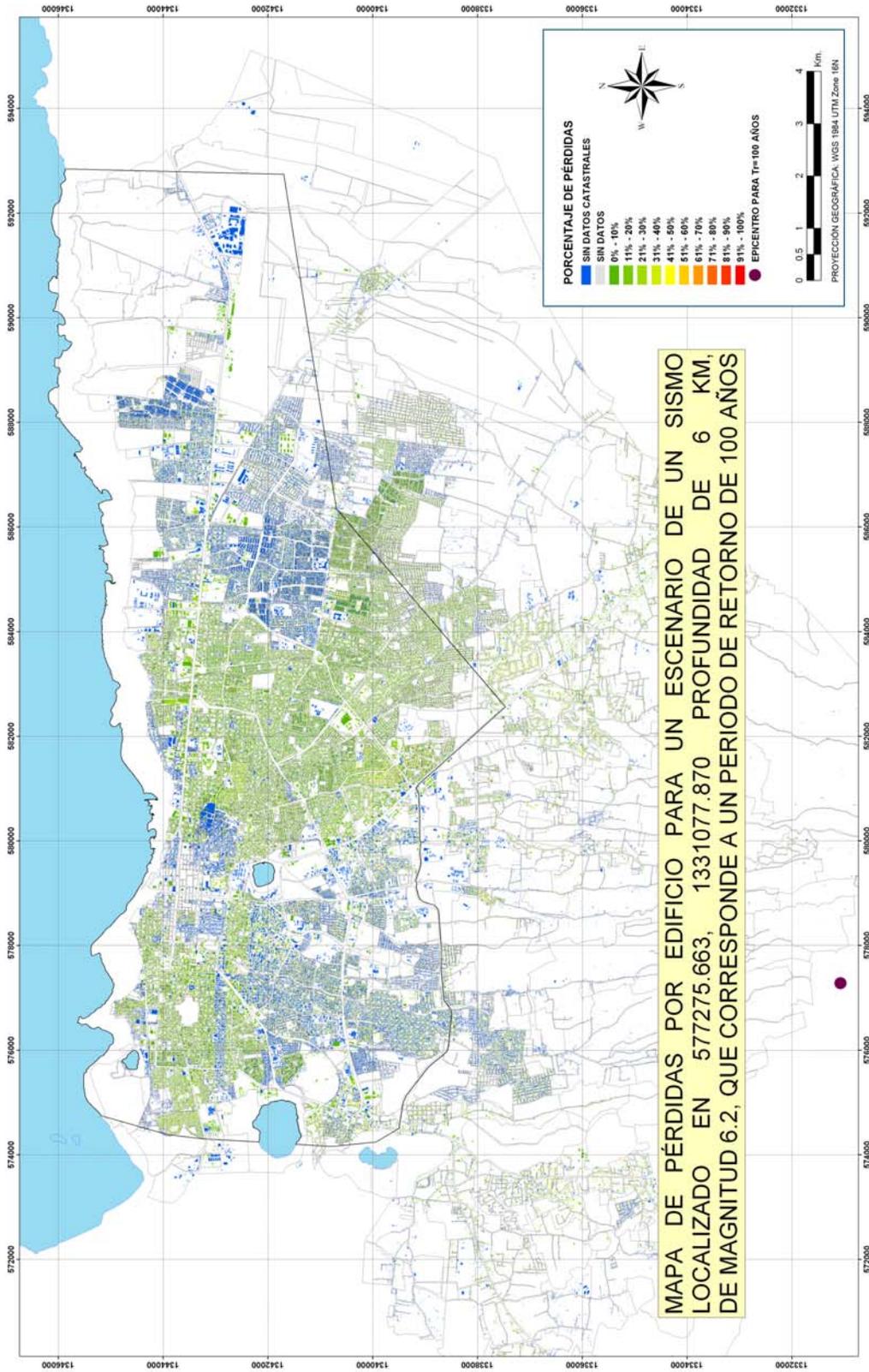


Figura A2- 2: Mapa de pérdidas en edificios para un sismo localizado en 577275.663, 1331077.870 y profundidad 6 km, de magnitud 6.2, asociado a un período de retorno de 100 años

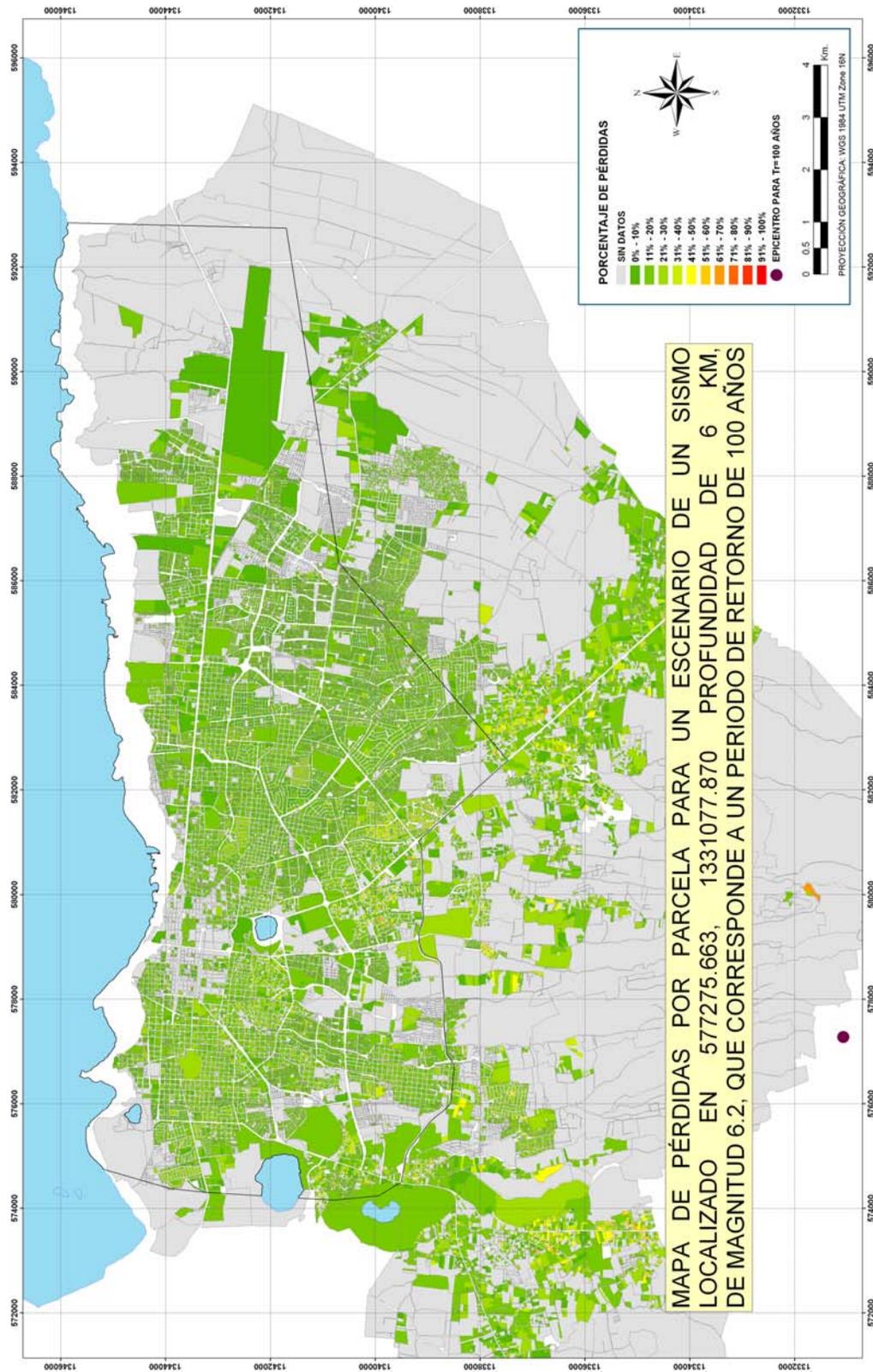


Figura A2- 5: Mapa de pérdidas en lotes o parcelas para un sismo localizado en 577275.663, 1331077.870 y profundidad 6 km, de magnitud 6.2, asociado a un periodo de retorno de 100 años

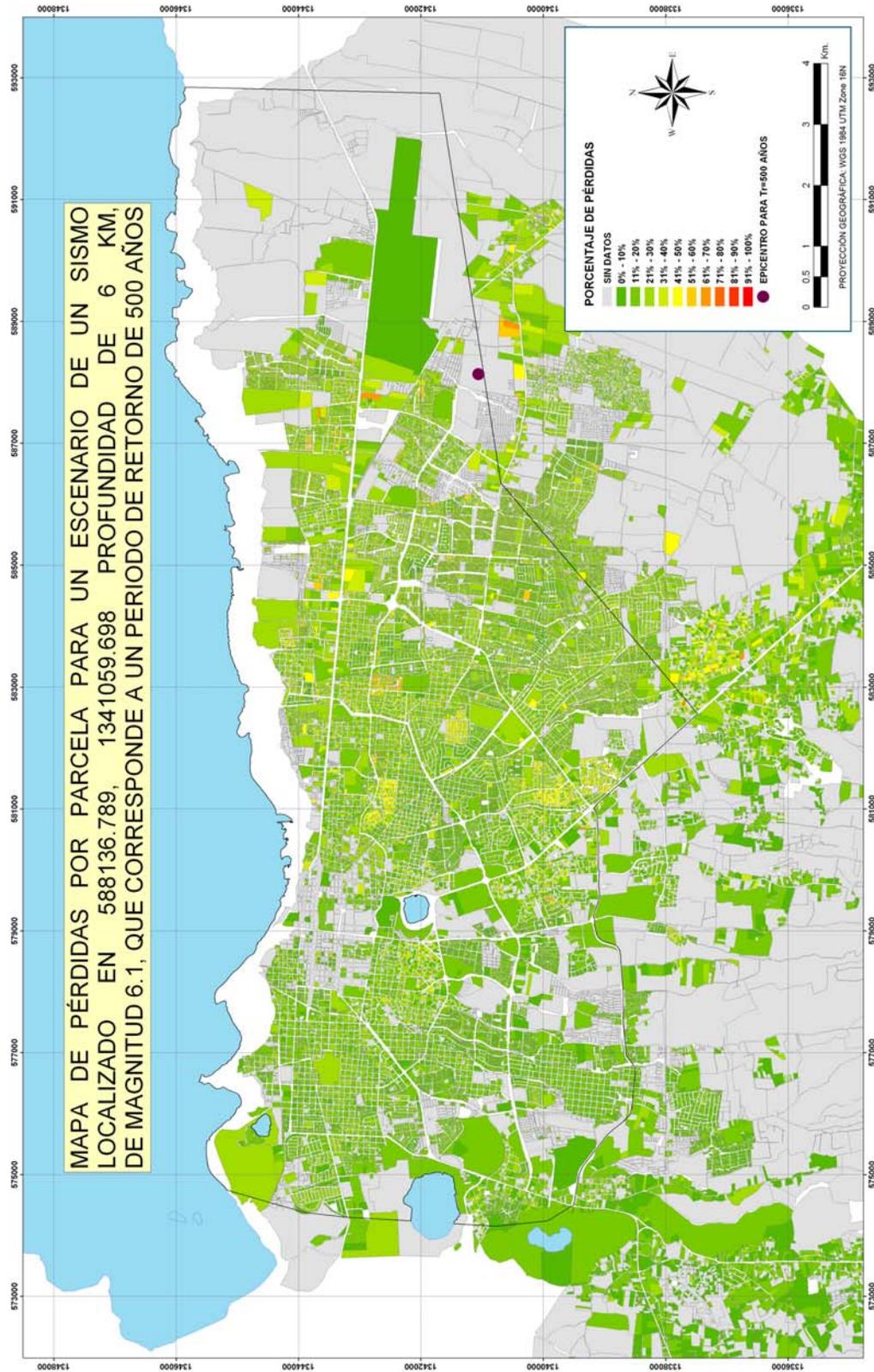


Figura A2- 6: Mapa de pérdidas en lotes o parcelas para un sismo localizado en 588136.789, 1341059.698 y profundidad 6 km, de magnitud 6.1, asociado a un periodo de retorno de 500 años

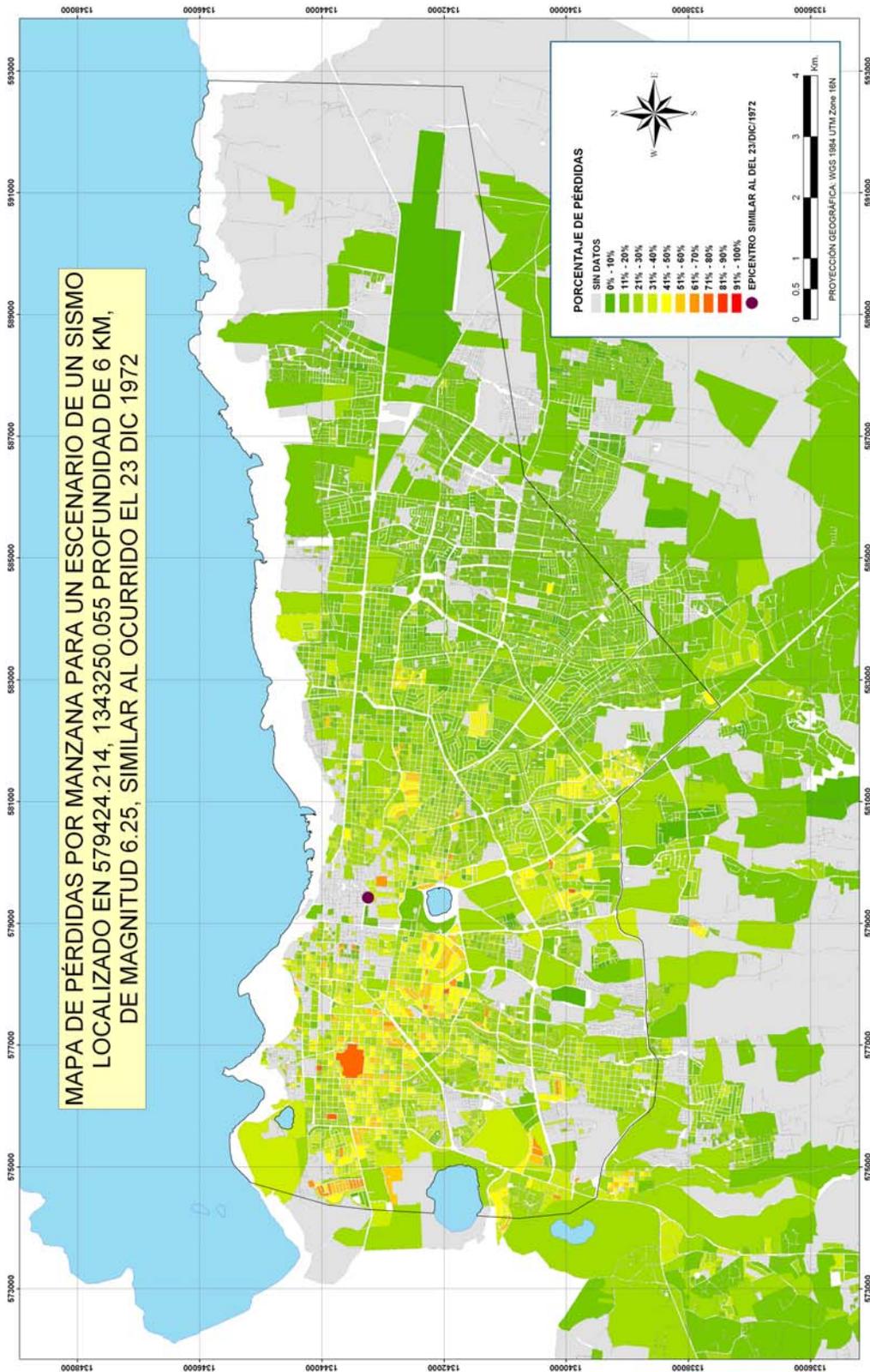


Figura A2- 7: Mapa de pérdidas en manzanas para un sismo localizado en 579424.214, 1343250.055 y profundidad 6 km, de magnitud 6.25, similar al sismo de 1972

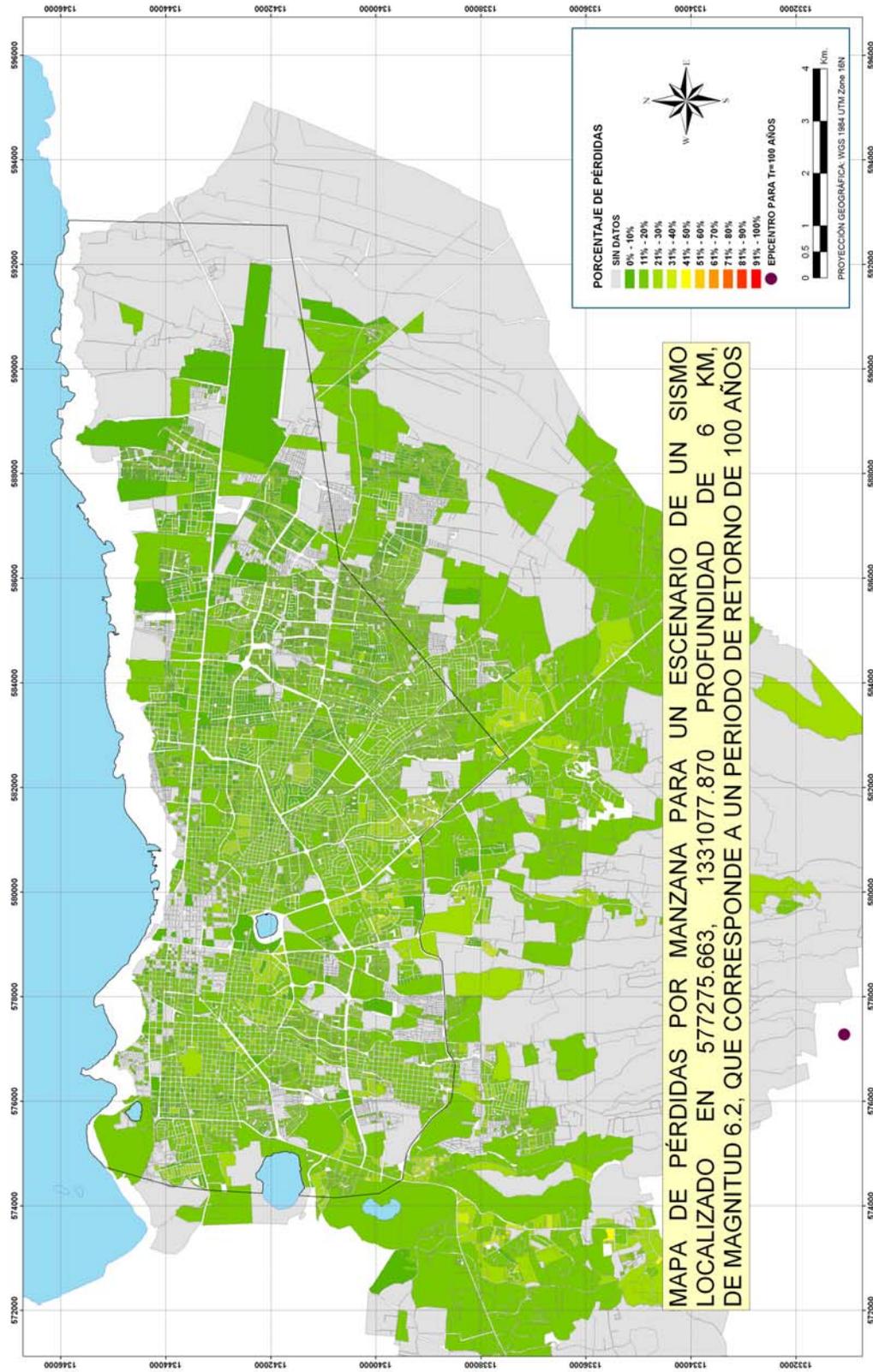


Figura A2- 8: Mapa de pérdidas en manzanas para un sismo localizado en 577275.663, 1331077.870 y profundidad 6 km, de magnitud 6.2, asociado a un periodo de retorno de 100 años

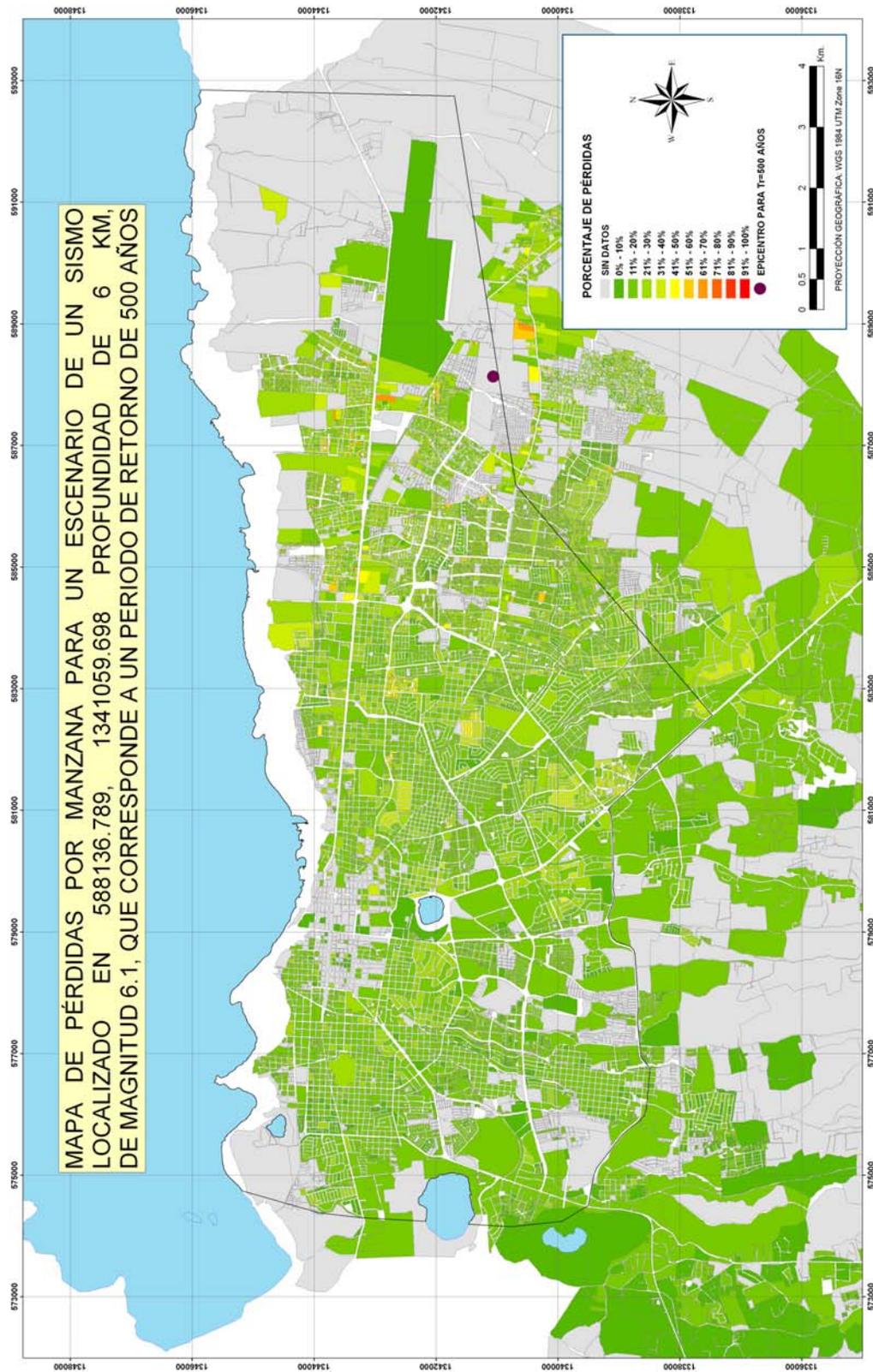


Figura A2- 9: Mapa de pérdidas en manzanas para un sismo localizado en 588136.789, 1341059.698 y profundidad 6 km, de magnitud 6.1, asociado a un periodo de retorno de 500 años

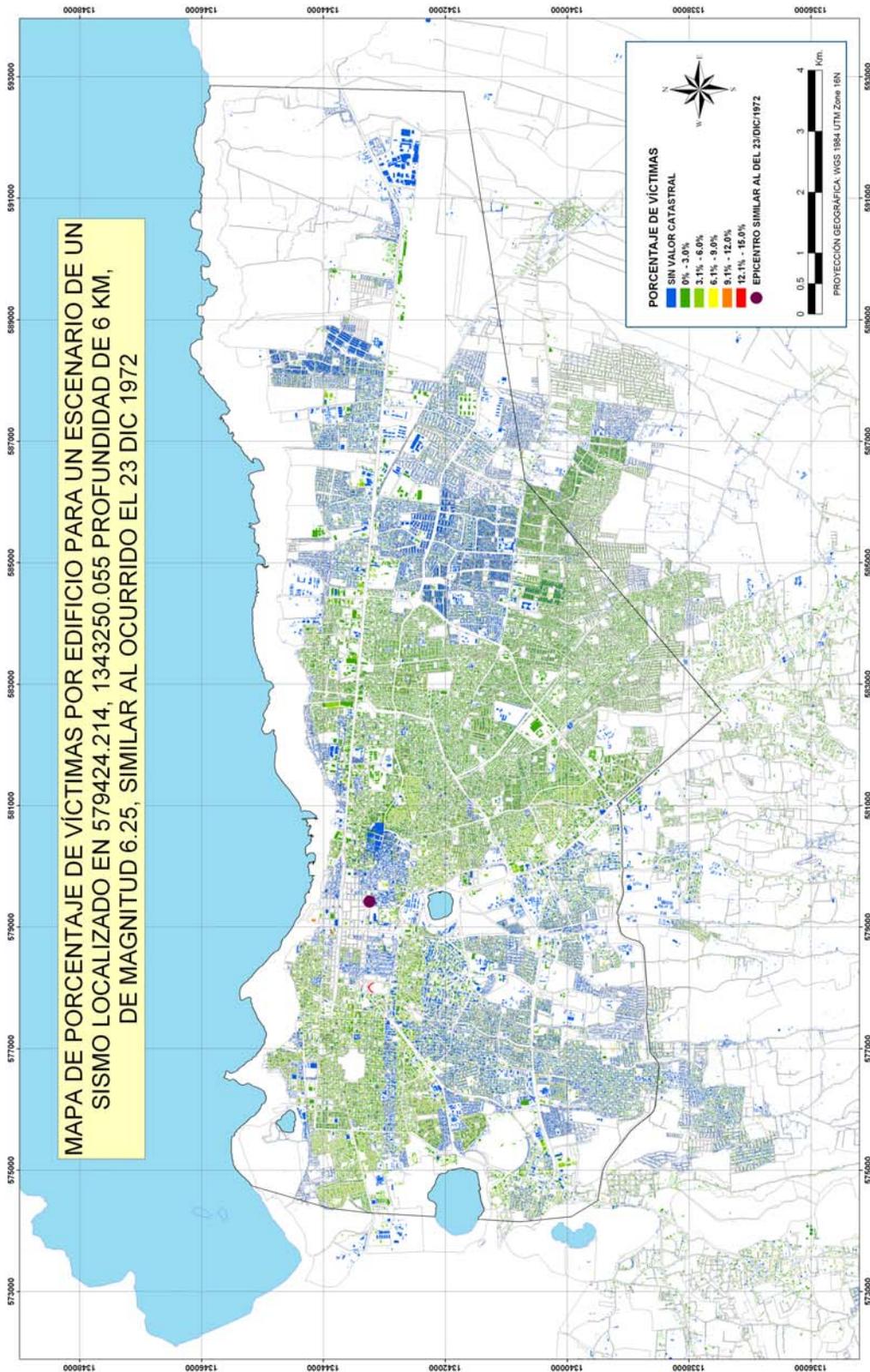


Figura A2- 10: Mapa de porcentaje de víctimas fatales por edificio para un sismo localizado en 579424.214, 1343250.055 y profundidad 6 km, de magnitud 6.25, similar al sismo de 1972

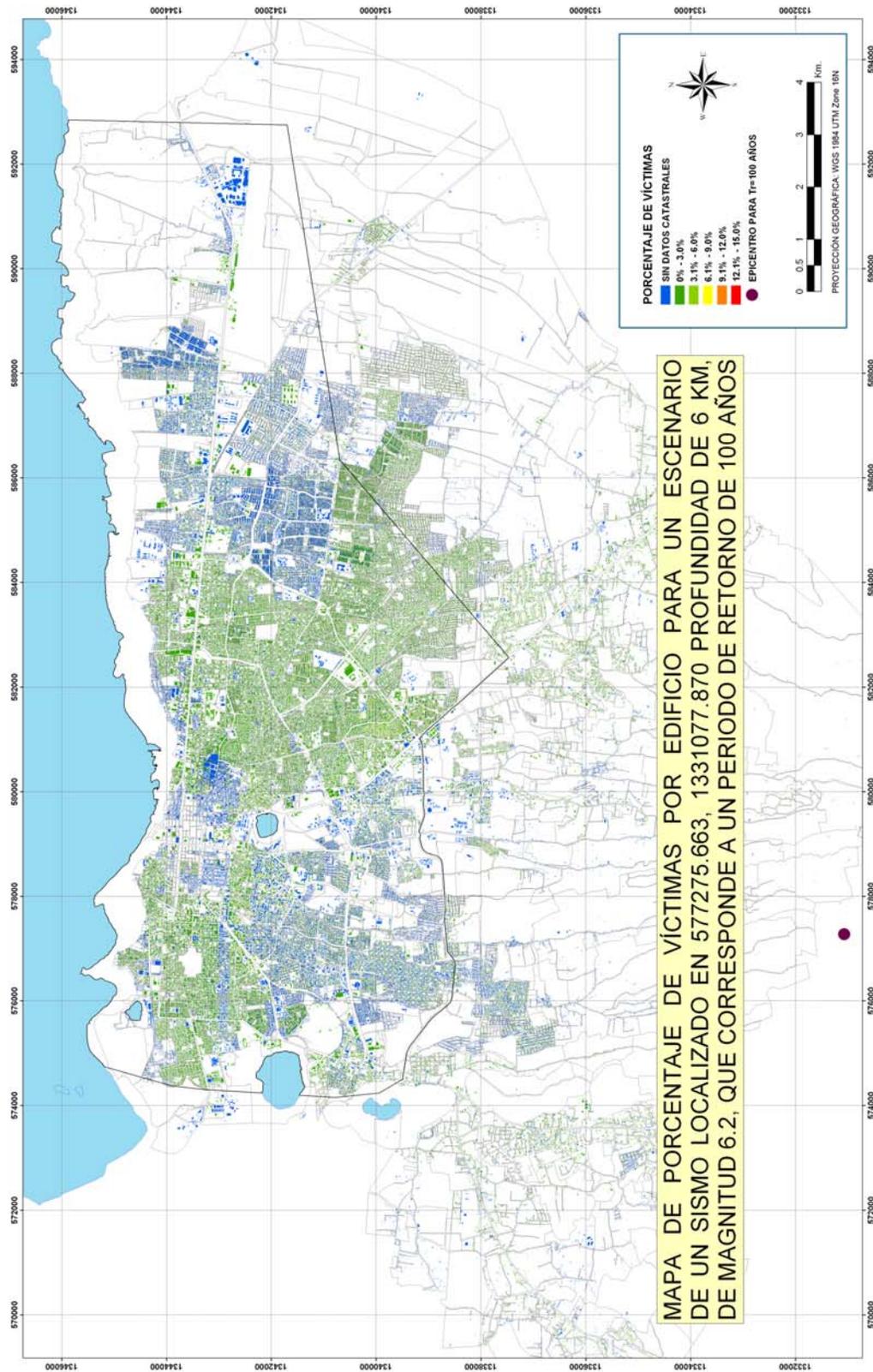


Figura A2- 11: Mapa de porcentaje de víctimas fatales por edificio para un sismo localizado en 577275.663, 1331077.870 y profundidad 6 km, de magnitud 6.2, asociado a un escenario con periodo de retorno de 100 años

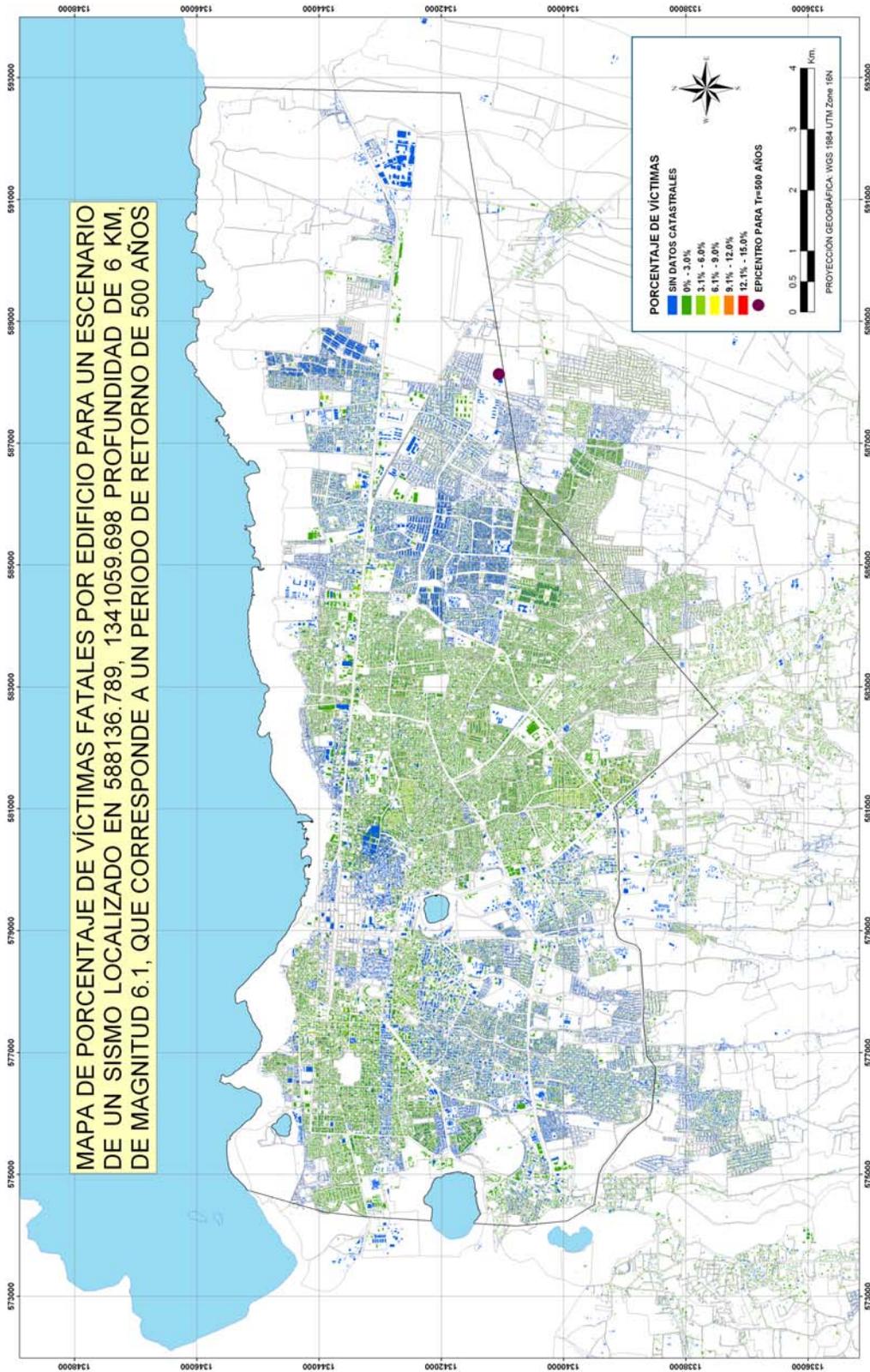


Figura A2- 12: Mapa de porcentaje de víctimas fatales por edificio para un sismo localizado en 588136.789, 1341059.698 y profundidad 6 km, de magnitud 6.1, asociado a un escenario con periodo de retorno de 500 años

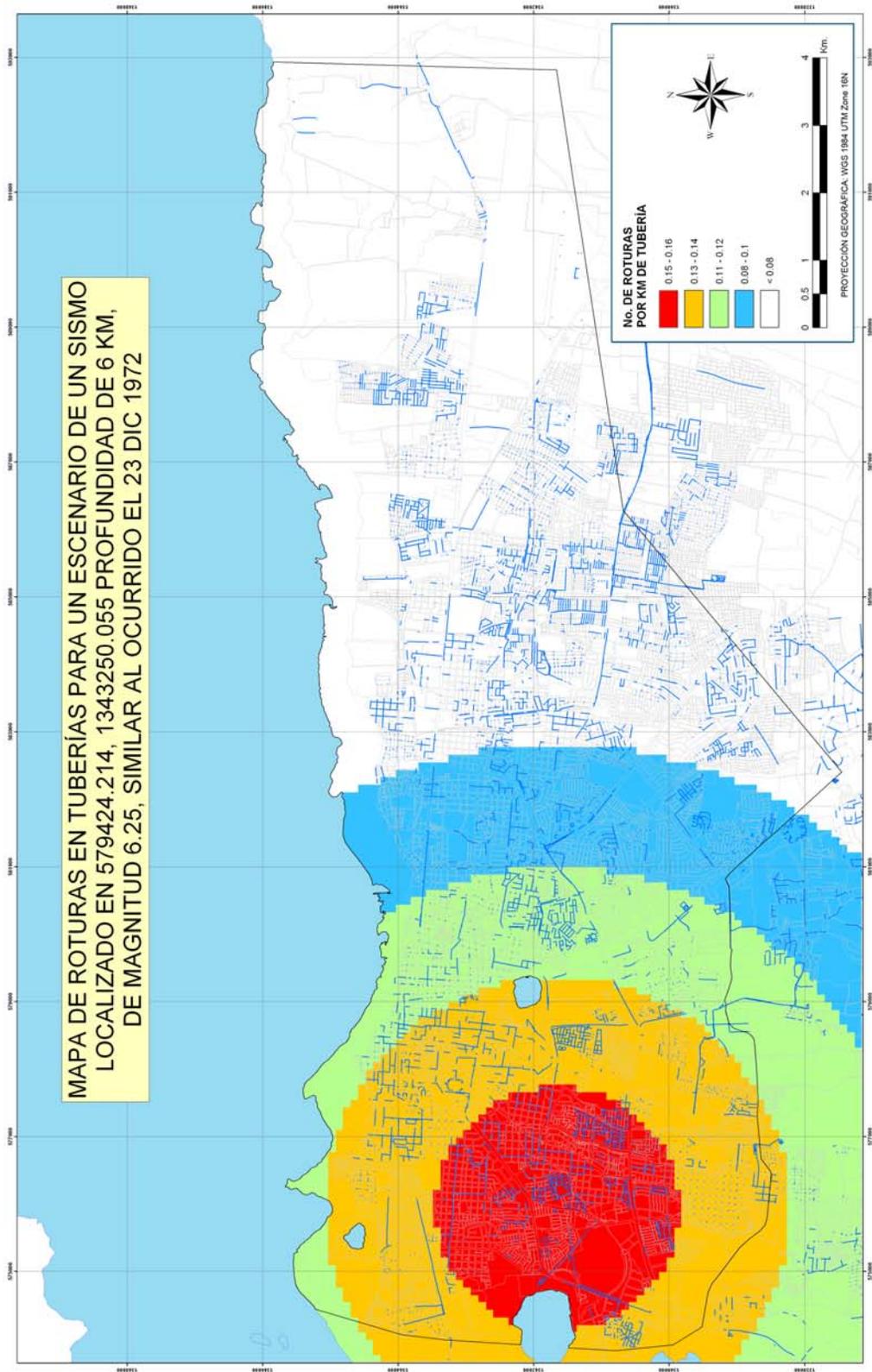


Figura A2- 13: Roturas en tuberías para un sismo localizado en 579424.214,1343250.055 y profundidad 6 km, de magnitud 6.25, similar al sismo de 1972

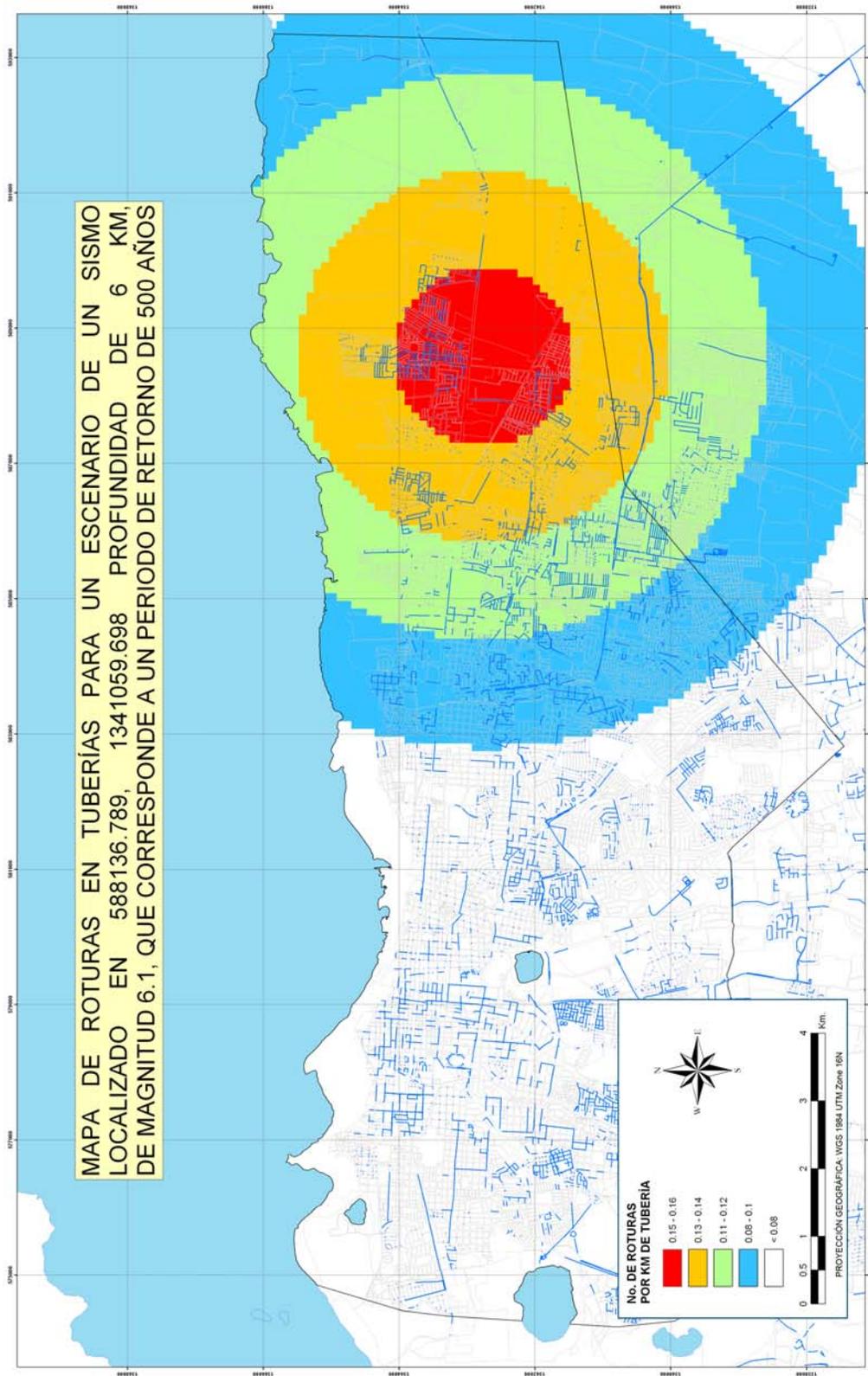


Figura A2- 14: Roturas en tuberías para un sismo localizado en 588136.789, 1341059.698 y profundidad 6 km, de magnitud 6.1, asociado a un periodo de retorno de 500 años

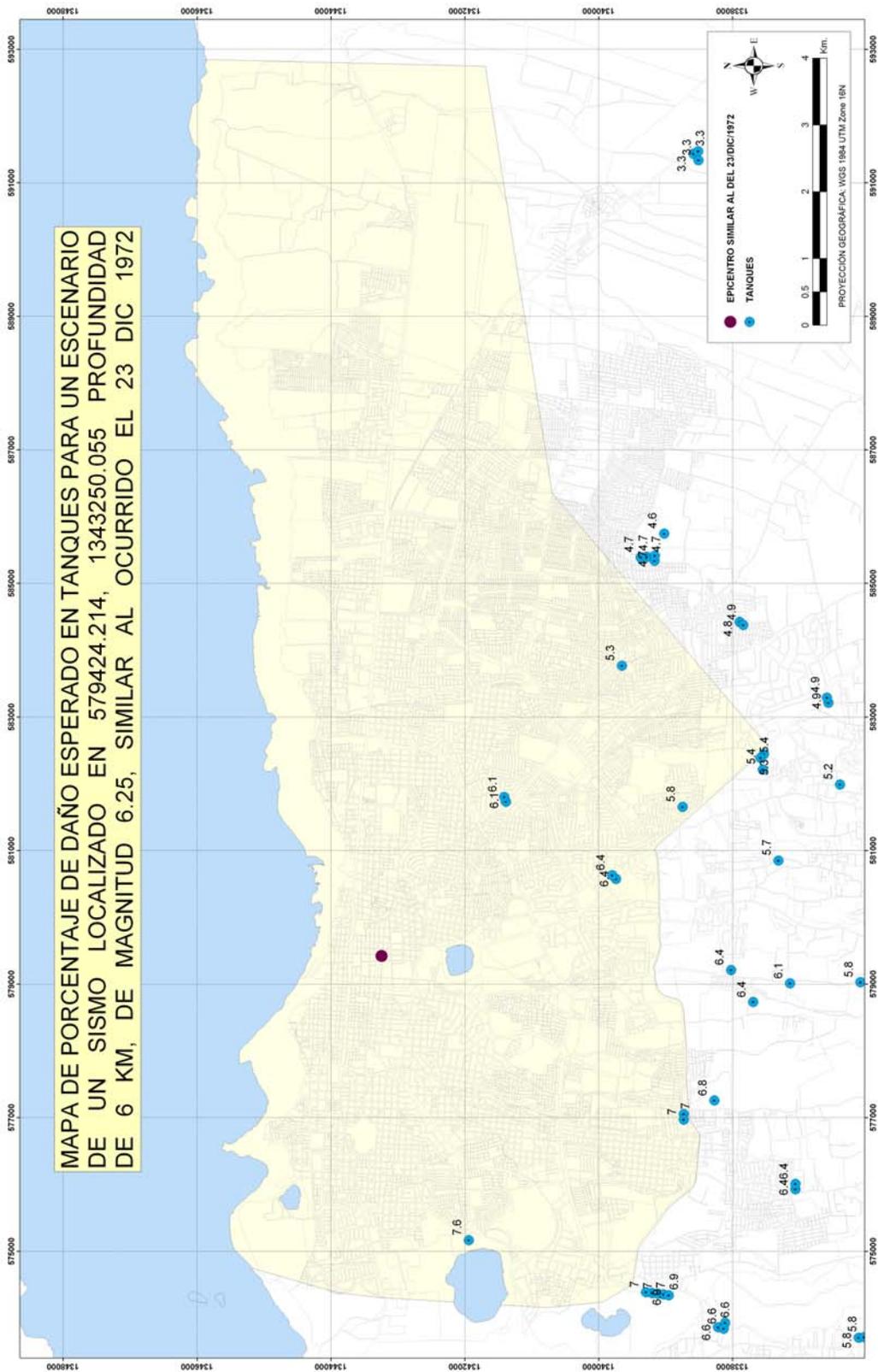


Figura A2- 15: Porcentaje de daño esperado en tanques para un sismo localizado en 579424.214,1343250.055 y profundidad 6 km, de magnitud 6.25, similar al sismo de 1972

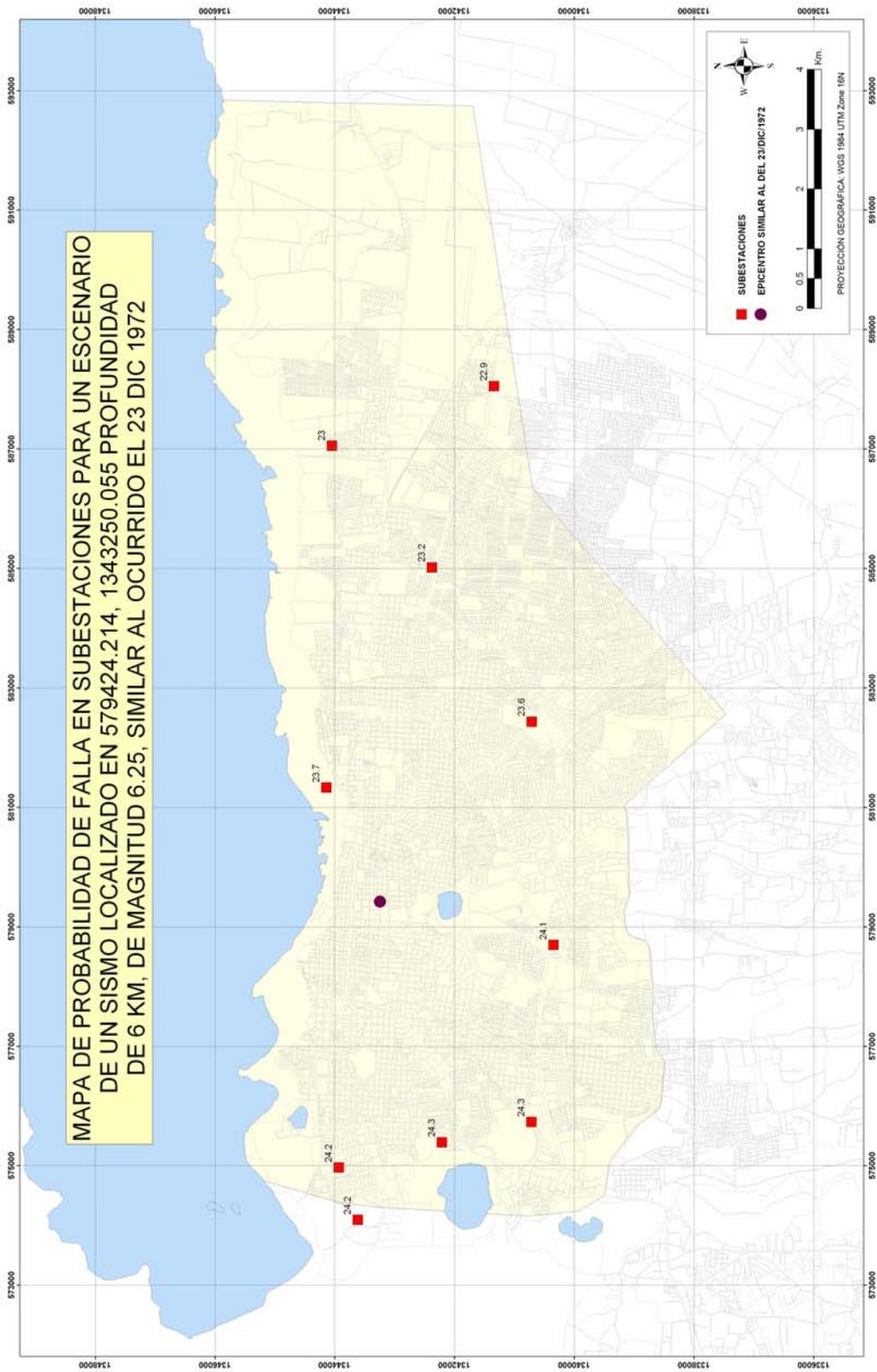


Figura A2- 17: Probabilidad de falla en subestaciones para un sismo localizado en 579424.214,1343250.055 y profundidad 6 km, de magnitud 6.25, similar al sismo de 1972

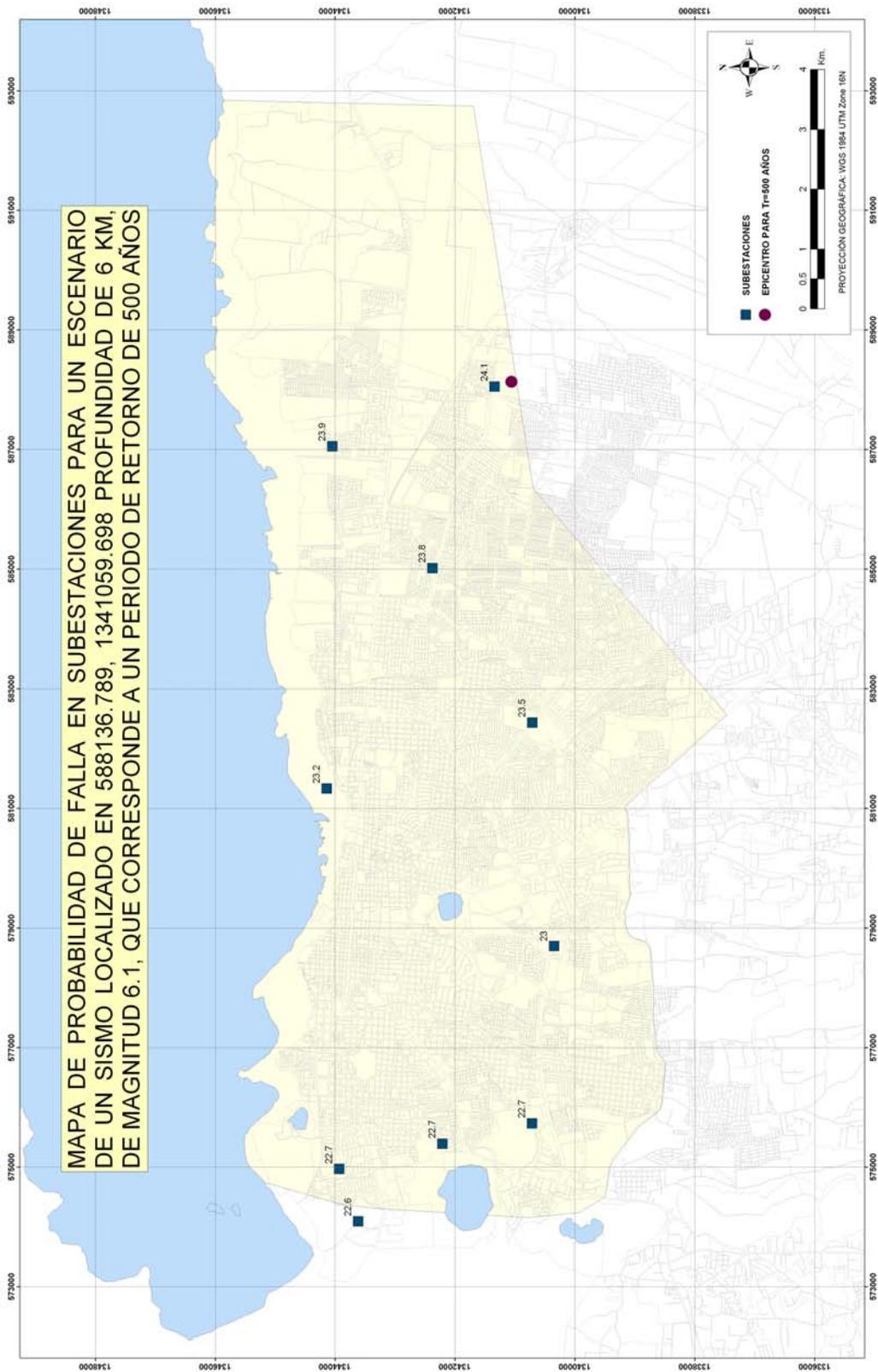


Figura A2- 18: Probabilidad de falla en subestaciones para un sismo localizado en 588136.789, 1341059.698 y profundidad 6 km, de magnitud 6.1, asociado a un periodo de retorno de 500 años

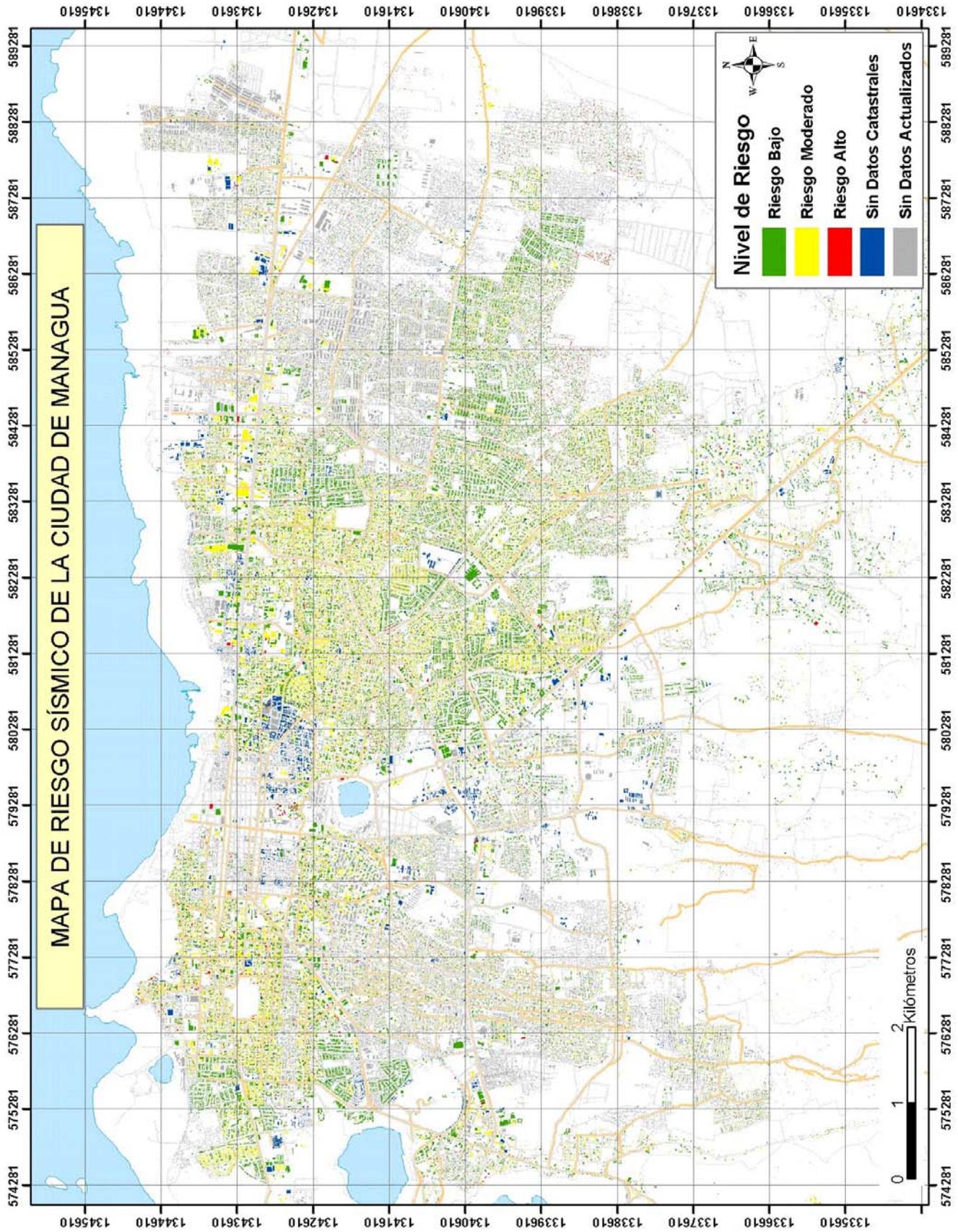


Figura A2- 19: Mapa de Riesgo Sísmico para toda la Ciudad de Managua.

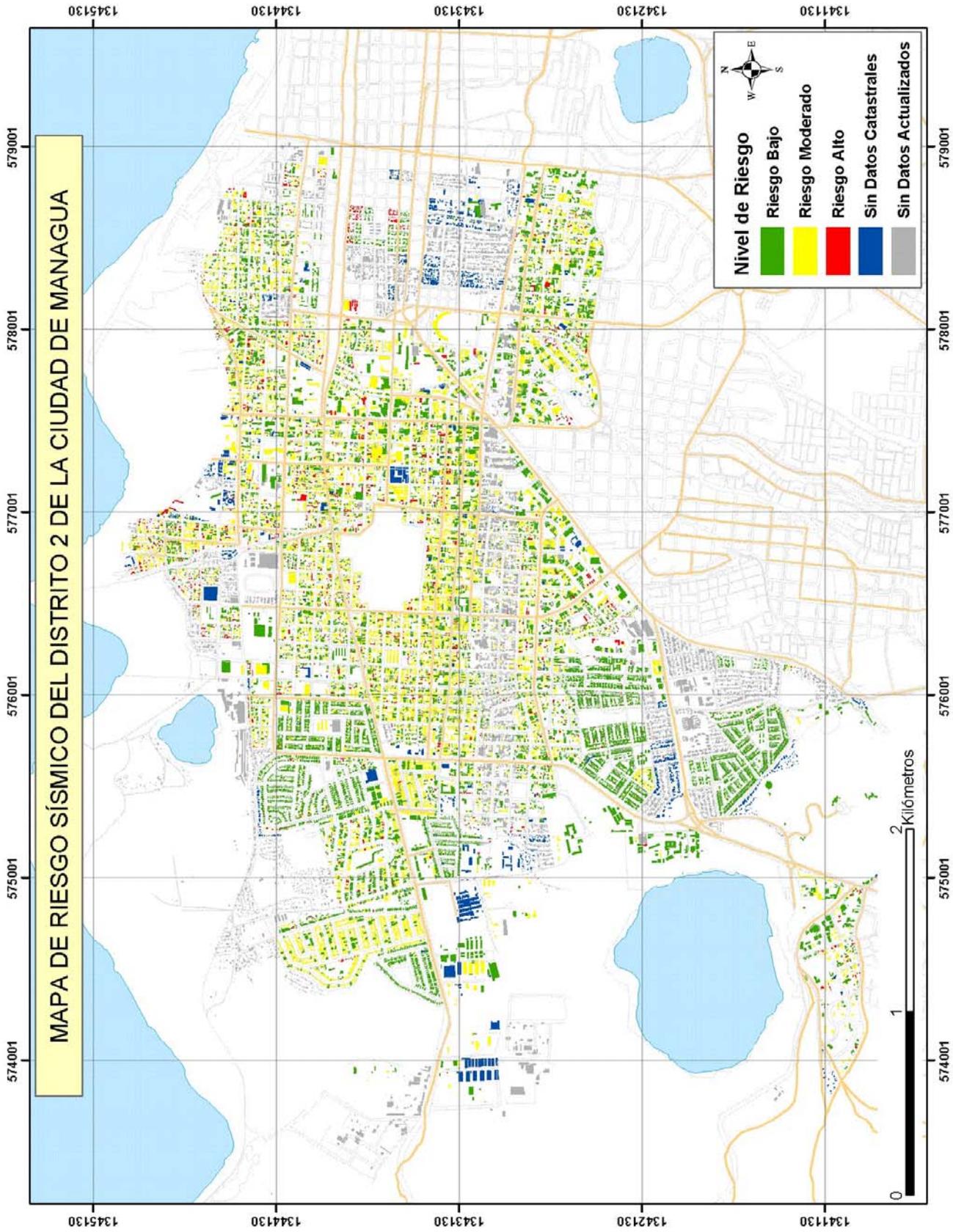


Figura A2- 20: Mapa de Riesgo Sísmico del Distrito 2 de la Ciudad de Managua.

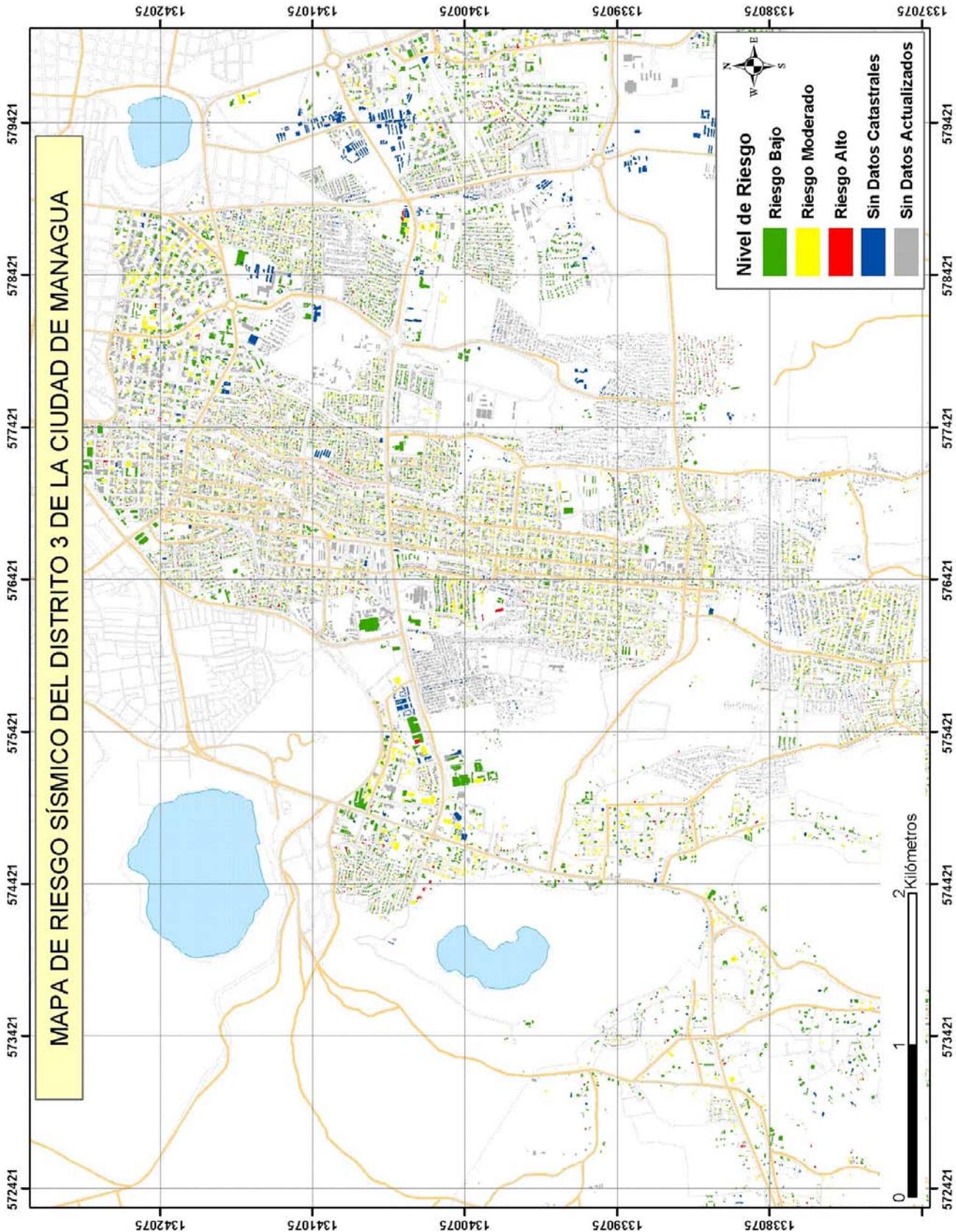


Figura A2- 21: Mapa de Riesgo Sísmico del Distrito 3 de la Ciudad de Managua.

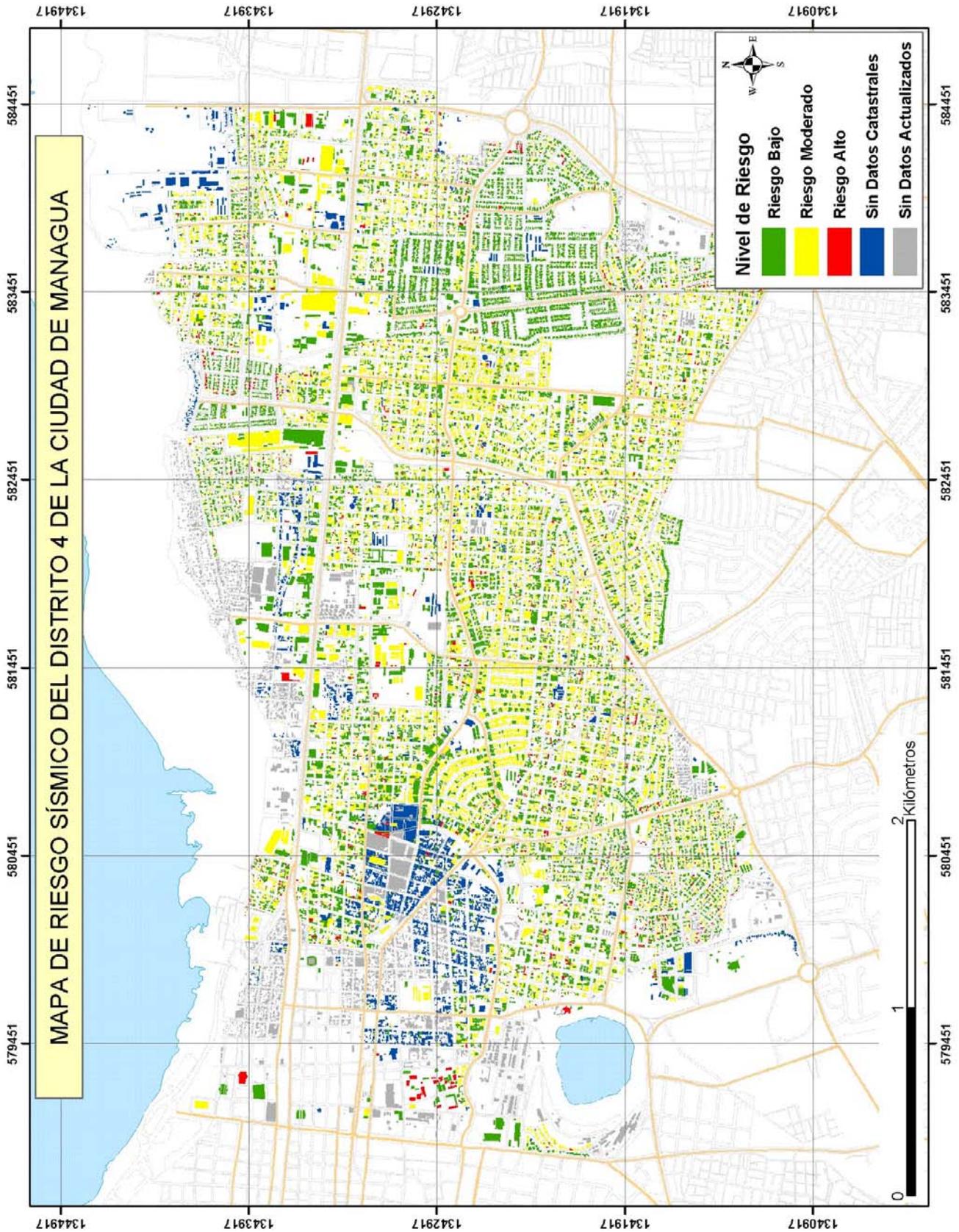


Figura A2- 22: Mapa de Riesgo Sísmico del Distrito 4 de la Ciudad de Managua.

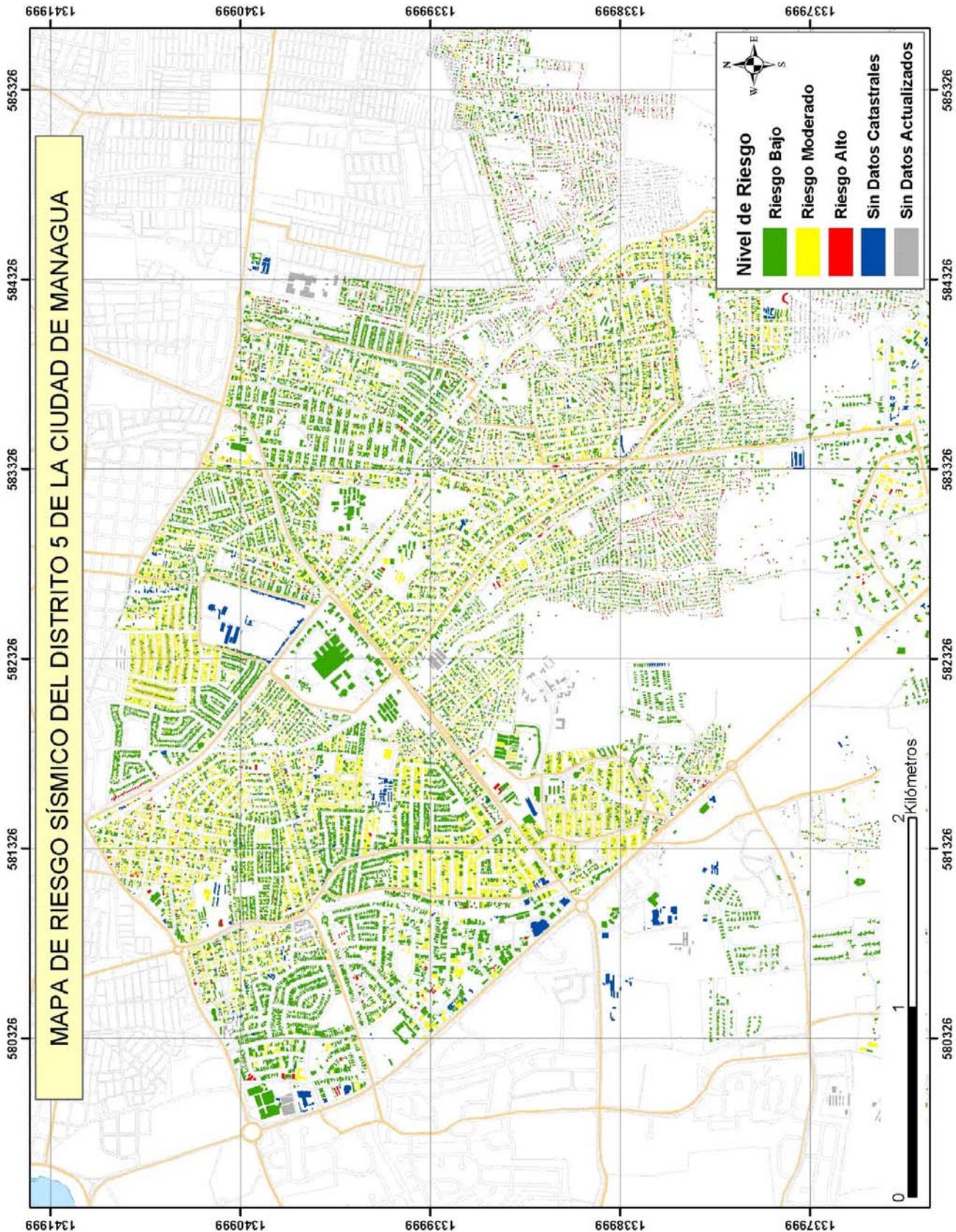


Figura A2- 23: Mapa de Riesgo Sísmico del Distrito 5 de la Ciudad de Managua.

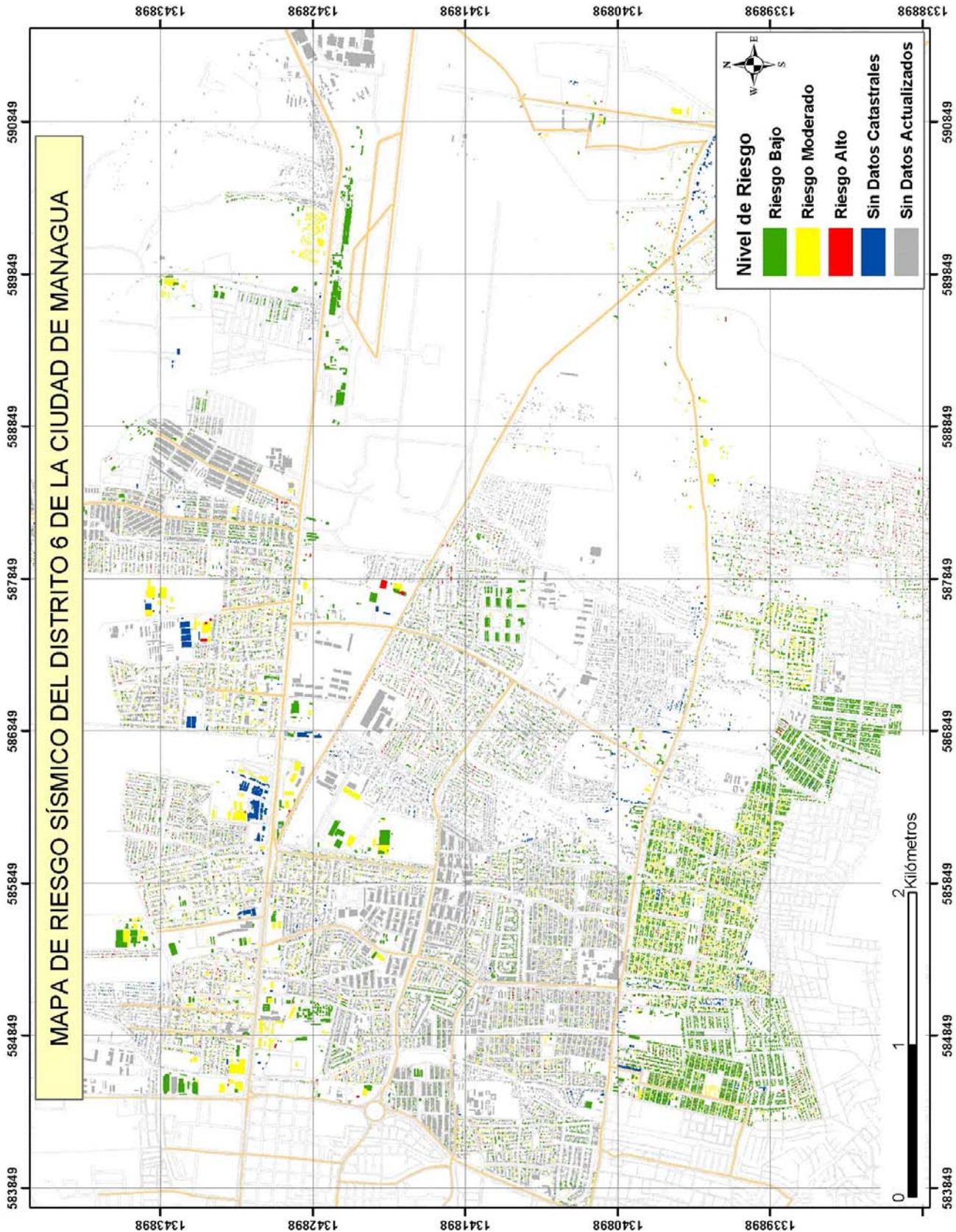


Figura A2- 24: Mapa de Riesgo Sísmico del Distrito 6 de la Ciudad de Managua.

Referencias

- ALA (2001)**, “Seismic Fragility Formulations For Water Systems.” American Lifelines Alliance ALA, Part I – Guideline, April.
- Alcaldía de Managua (2000)**, “Plan Parcial de Ordenamiento Urbano, Sector Oriental.
- Alcaldía de Managua (2000)**, “Plan Parcial de Ordenamiento Urbano, Sector Nor-Central.
- Alcaldía de Managua (2000)**, “Plan Parcial de Ordenamiento Urbano, Sector Sur-Occidental.
- Boore, D.M. et. al, (1993)**, “Estimation of response spectra and peak accelerations from western North American earthquakes: An interim report”, US Geol. Surv. Open-File Rep. 93-509, 72 p
- Brown, R.D., Ward, P.L., Plafker G. (1973)**, Geologic and Seismologic Aspects of the Managua, Nicaragua, Earthquake of December 23, 1972, US Geological Survey Prof. Paper 838
- Brune, J. N. (1970)**, “Tectonic stresses and spectra of seismic waves from earthquakes”, J. Geophys.Res., 75, 4997-5009.
- Campbell K. W. (2000)** – “Empirical near-source attenuation relationship for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra”, Seismological Research Letter No 3, vol. 71, p. 352.
- Climent, A., Taylor W., Ciudad Real, M., Strauch, W., Villagrán, M., Dahle, A. y Bungum, H. (1994)**, “Spectral strong motion attenuation in Central America”, NORSAR Technical Report 2-17.
- Cornell. C. A. (1968)**, “Engineering seismic risk analysis”, Bulletin of the Seismological Society of America, 63, 9-48.
- Cornell, C. A. and Vanmarcke, E. H. (1969)**, “The major influences on seismic risk”, Proc. 4th World Conference Earthquake Engineering , Santiago de Chile, Chile.
- Del Valle, E. (1973)**, Daños causados por los temblores del 23 de Diciembre de 1972 en las construcciones de Managua, Publicación 313, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Der Kiureghian, A. and Neuenhofer, A. (1991)**, “A response spectrum method for multiple support seismic excitations”, Earthquake Engineering Research Center, UCB/EERC-91/08, 1991.
- Earthquake Engineering Research Institute (1973)**, Reconnaissance report, Managua, Nicaragua Earthquake of Managua 23, 1972, Oakland, California.
- Eidinger, J.; Ostrom, D.; Matsuda, E (1995)**, “High voltage electric substation performance in earthquakes.” Proc.4th. US Conf. Lifelines Earthquake Engineering, San Francisco, p.336-346.
- Eidinger, J. (1998)**, “Lifelines, water distribution system, in the Loma Prieta, California, earthquake of october 17 1989”, Performance of the built environment-lifelines, US Geological Survey Professional Paper 1552-A, december, pp A63-A80.
- Escobar, E. and Corea, A.M. (1998)**, Microzonificación Sísmica de la ciudad de Managua, Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Esteva, L. (1967)**, “Criterios para la construcción de espectros para diseño sísmico”, III Simposio Panamericano de Estructuras, Caracas, Venezuela.
- Estrada Uribe, G. (1973)**, Managua Antisísmica, Bogota

- Faccioli, E., Santoyo, E. y León, J. L. (1973)**, “Microzonation criteria and seismic response studies for the city of Managua”, EERI, pp 271-279.
- Gutenberg, B. And Richter, C.F. (1954)**, Seismicity of the earth, Princeton University Press, Princeton, N.J., USA.
- Guzmán, C. y Atakan, K. (1998)**, “Empirical response study in Managua , Nicaragua”, Technical report II 1-08, Instituto de Física de la Tierra Sólida, Universidad de Bergen, Noruega.
- Guzmán, C. y Lindholm, C. (1998)**, “Estudio de respuesta de sitio para Managua, Nicaragua (para el Proyecto de Microzonificación Sísmica de Managua)”.
- Guzmán, C. (1999)**, “Estudio de la amplificación del suelo en Managua, Nicaragua, con el método de nakamura”, Proyecto de Microzonificación Sísmica de Managua, INETER.
- Hansen, F. and Chavez, V. (1973)**, Iseisml maps of the Managua December 23, 1972 earthquake, Earthquake engineering research institute conference proceedings, California.
- Hanson R. and Goel S. (1973)**, “Behavior of the ENALUF building in the Managua earthquake of December 23, 1972”, EERI Conference Proceedings, San Francisco, California.
- Henghian L., Kohiyama M., Horie K, Maki N., Hayashi H and Tanaka S. (2003)** Building Damage and Casualties after an Earthquake, *Natural Hazards*, **29**: 387-403.
- Herrmann, R. B. y Nuttli, O. W. (1984)**, “Scaling and attenuation relations for strong ground motion in eastern North America”, Proc. XIII World Conf. Ea. Eng., Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., Vol. II, 305-309.
- INETER (2000)**, “Microzonificación Sísmica de Managua”, Instituto Nacional de Estudios Territoriales, Nicaragua.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (1995)**, “VII Censo de Población y III de Vivienda, 1995”, Republica de Nicaragua.
- Johansson, L. (1988)**, “Seismic hazard analysis of Managua, Nicaragua”. The Department of Rock and Soil Mechanics, K.T.H. Stockholm, Master thesis No 3: 88
- Leeds, D. (1973)**, Destructive earthquake of Nicaragua, Earthquake Engineering Research Institute conference proceedings. California.
- McLean R. (1973)**, “Three reinforced concrete frame buildings, Managua earthquake, December 1972”, EERI Conference Proceedings, San Francisco, California.
- Meehan J. F. et. al. (1973)**, “Engineering aspects”, EERI Reconnaissance Report.
- Miranda, E. (1999)**, “Approximate seismic lateral deformation demands on multistory buildings.” J. Struct. Eng, Vol 125 No 4, 417-425.
- Miranda, E.; Reyes, C. J. (2002)**, “Approximate lateral drift demands on multistory buildings with nonuniform stiffness.” J. Struct. Eng, Vol 128 No 7, 840-849.

- Moehle, J.P. (1992)**, “Displacement-based design of RC structures subjected to earthquakes.” *Earthquake Spectra*, 8(3), 403-428.
- Ordaz, M., Aguilar, A. and Arboleda, J. (2003)**, *Crisis2003: Program for computing seismic hazard*, Ver. 1.0.1, Instituto de Ingeniería, Univ. Nal. Aut. de México (UNAM).
- Ordaz M., Jara J.M. y Singh S.K. (1989)**, "Riesgo sísmico y espectros de diseño en el estado de Guerrero". Informe conjunto del Inst. de Ing. y el Centro de Invest. Sísmica AC de la Fundación Javier Barros Sierra al Gob. del estado de Guerrero., Instituto de Ingeniería, UNAM, Realizado para: Gobierno del Estado de Guerrero, Proy. 8782 y 9745, México.
- Ordaz M., Singh S.K. (1992)**, “Source spectral and spectral attenuation of seismic waves from Mexican earthquakes, and evidence of amplification in the hill zone of Mexico City”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, (82) 24-43
- Ordaz M., Veras L., Zeballos A., Nuñez F. y Hernandez O., (2004)**, “Aspectos Sísmicos y Sismorresistentes, Normativa de Viento y Propuesta Preliminar Sobre Artículo No. 9 del Actual Reglamento Nacional de la Construcción”, SINAPRED.
- Priestley, M. J. N. (1996)**, “Displacement-based seismic assessment of existing reinforced concrete buildings.” *Bull. New Zealand Natl. Soc. Earthquake Eng.*, 29(4), 256-272.
- Rondon M. (1997)**, “Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales” Caso estudio Caracas, Octubre 1997 OPS/OMS.
- RS-MEX® v.2.1 (2003)**, Programa para el cálculo de prima pura y pérdida máxima probable (PML) para edificios en la República Mexicana, ERN Ingenieros Consultores S.C., México.
- Segura, F. y Rojas, W. (1996)**, “Amenaza sísmica para el centro de la Ciudad de Managua, Nicaragua”, Informe Preliminar, INETER.
- Spence R. J. S., Pomonis A., Dowrick D. J. and Cousins W. J. (2004)** Estimating human casualties in earthquakes: the case of Wellington,.
- Spudich, P. et al. (1996)**, “Earthquake ground motions in extensional tectonic regimes”, US Geological Survey Open-File Report 96-292.
- Terán J. F. (1973)**, “Historical Context of building forms in Managua”, EERI Conference Proceedings, San Francisco, California.
- Toivanen M. and Wagenius J. (1989)**, “Seismic aspects on building in Managua-Nicaragua”, Diploma Thesis Department of Soil and Rock Mechanics at the Royal Institute of Technology (KTH).
- Valera, J., Dames and More (1973)**, Soil conditions and local soil effects during the Managua Earthquake of December 23,1972, Earthquake Engineering Research Institute, Conference proceedings, California.
- Wallace, J.W. (1994)**. “New methodology for seismic design of RC shear walls.” *J. Struct. Eng.*, 120(3), 863-884.