

INFORMES

TÉCNICOS

El sismo de Tecomán del 21 de enero de 2003 (Me 7.6)

DIRECCIÓN
DE
INVESTIGACIÓN

Subdirección de
Estructuras y Geotecnia

Subdirección de
Riesgos Geológicos

Área de Estudios
Económicos y Sociales

Área del Atlas
Nacional de Riesgos



CENAPRED

Sistema Nacional de Protección Civil
Centro Nacional de Prevención de Desastres

EL SISMO DE TECOMÁN, COLIMA DEL 21 DE ENERO DE 2003 (Me 7.6)

Dirección de Investigación

Sudirección de Estructuras y Geotecnia
Sudirección de Riesgos Geológicos
Área de Estudios Económicos y Sociales
Área del Atlas Nacional de Riesgos

Noviembre, 2003

1ª edición, noviembre 2003

©SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN
Abraham González Núm. 48,
Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc,
C.P. 06699, México, D.F.

©CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES
Av. Delfín Madrigal Núm. 665,
Col. Pedregal de Santo Domingo,
Deleg. Coyoacán, C.P.04360, México, D. F.
Teléfonos:
(55) 54 24 61 00
(55) 56 06 98 37
Fax: (55) 56 06 16 08
e-mail: editor@cenapred.unam.mx
www.cenapred.unam.mx

©Autores:

“Introducción y Conclusiones”
Carlos Reyes

“Marco Geoestadístico ”
Oscar Zepeda.

“Sismología”
Carlos Gutiérrez

“Edificios Instrumentados”
Roberto Durán

“Aspectos Geotécnicos”
Leobardo Domínguez y Manuel J. Mendoza

“Sistemas Extendidos”
Sergio M. Alcocer , Leonardo Flores y Carlos Reyes

“Vivienda”
Sergio M. Alcocer, Roberto Durán, Alonso Echavarría, Leonardo Flores, Oscar A. López, Miguel Ángel Pacheco y Carlos Reyes

“Infraestructura Educativa”
Sergio M. Alcocer, Alonso Echavarría, Leonardo Flores y Carlos Reyes

“Infraestructura de Salud”
Sergio M. Alcocer y Carlos Reyes

“Patrimonio Cultural”
Roberto Durán, Leonardo Flores, Oscar A. López, Miguel Ángel Pacheco y Oscar de la Torre

“Edificios Públicos”
Sergio M. Alcocer, Roberto Durán, Leonardo Flores y Carlos Reyes

“Edificios de Uso Comercial”
Roberto Durán, Leonardo Flores y Carlos Reyes

“Impacto Socioeconómico”
Daniel Bitrán, Jorge A. Colorado, Norlang M. García y Miguel Ángel Pacheco

Edición: Miguel Ángel Pacheco
Portada: Demetrio Vázquez Sánchez

ISBN: 970-628-732-9

Derechos reservados conforme a la ley
IMPRESO EN MÉXICO. *PRINTED IN MEXICO*

Distribución Nacional e Internacional: Centro Nacional de Prevención de Desastres

EL CONTENIDO DE ESTE DOCUMENTO ES EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Lic. Santiago Creel Miranda
Secretario de Gobernación

Lic. María del Carmen Segura Rangel
Coordinadora General de Protección Civil

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

M. en I. Roberto Quaas Weppen
Director General

Dra. Georgina Fernández Villagómez
Directora de Investigación

Ing. Enrique Guevara Ortiz
Director de Instrumentación y Cómputo

M. en I. Tomás Alberto Sánchez Pérez
Director de Difusión

Lic. Gloria Luz Ortiz Espejel
Directora de Capacitación

Lic. Luz María Flores Guerrero
Directora de Administración

Profra. Carmen Pimentel Amador
Directora de Servicios Técnicos

CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN, SUMMARY | 9 |
| CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN | 11 |
| 1.1 ANTECEDENTES..... | 11 |
| 1.2 ALCANCE Y OBJETIVO..... | 11 |
| 1.3 CONTENIDO DEL DOCUMENTO..... | 11 |
| CAPÍTULO 2 MARCO GEOESTADÍSTICO..... | 13 |
| 2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA | 13 |
| 2.2 COLIMA..... | 13 |
| 2.2.1 ARMERÍA | 16 |
| 2.2.1.1 Toponimia | 16 |
| 2.2.1.2 Localización | 16 |
| 2.2.1.3 Extensión | 16 |
| 2.2.1.4 Orografía | 17 |
| 2.2.1.5 Hidrografía | 17 |
| 2.2.1.6 Clima | 17 |
| 2.2.1.7 Principales ecosistemas..... | 17 |
| 2.2.1.8 Recursos naturales | 17 |
| 2.2.1.9 Características y uso de suelo | 17 |
| 2.2.2 COLIMA..... | 18 |
| 2.2.2.1 Toponimia | 18 |
| 2.2.2.2 Localización | 18 |
| 2.2.2.3 Orografía | 18 |
| 2.2.2.4 Hidrografía | 18 |
| 2.2.2.5 Clima | 18 |
| 2.2.2.6 Principales ecosistemas..... | 19 |
| 2.2.2.7 Recursos naturales | 19 |
| 2.2.2.8 Características y uso de suelo | 19 |
| 2.2.3 COMALA | 19 |
| 2.2.3.1 Toponimia | 19 |
| 2.2.3.2 Localización | 19 |
| 2.2.3.3 Orografía | 20 |
| 2.2.3.4 Hidrografía | 20 |
| 2.2.3.5 Clima | 20 |
| 2.2.3.6 Principales ecosistemas..... | 20 |
| 2.2.3.7 Recursos naturales | 20 |
| 2.2.3.8 Características y uso de suelo | 21 |
| 2.2.4 COQUIMATLÁN | 21 |
| 2.2.4.1 Toponimia | 21 |
| 2.2.4.2 Extensión | 21 |
| 2.2.4.3 Orografía | 21 |
| 2.2.4.4 Hidrografía | 21 |
| 2.2.4.5 Clima | 21 |
| 2.2.4.6 Principales ecosistemas..... | 22 |
| 2.2.4.7 Recursos naturales | 22 |
| 2.2.4.8 Características y uso de suelo | 22 |
| 2.2.5 CUAUHTÉMOC..... | 22 |
| 2.2.5.1 Toponimia | 22 |
| 2.2.5.2 Localización | 22 |
| 2.2.5.3 Orografía | 22 |
| 2.2.5.4 Hidrografía | 23 |
| 2.2.5.5 Clima | 23 |
| 2.2.5.6 Principales ecosistemas..... | 23 |
| 2.2.5.7 Recursos naturales | 24 |

| | | |
|----------|--------------------------------------|----|
| 2.2.5.8 | Características y uso de suelo | 24 |
| 2.2.6 | IXTLAHUACÁN | 24 |
| 2.2.6.1 | Toponimia | 24 |
| 2.2.6.2 | Localización | 24 |
| 2.2.6.3 | Orografía | 24 |
| 2.2.6.4 | Hidrografía | 24 |
| 2.2.6.5 | Clima | 25 |
| 2.2.6.6 | Principales ecosistemas..... | 25 |
| 2.2.6.7 | Recursos naturales | 25 |
| 2.2.6.8 | Características y uso de suelo | 25 |
| 2.2.7 | MANZANILLO..... | 25 |
| 2.2.7.1 | Toponimia | 25 |
| 2.2.7.2 | Localización | 25 |
| 2.2.7.3 | Orografía | 26 |
| 2.2.7.4 | Hidrografía | 26 |
| 2.2.7.5 | Clima | 26 |
| 2.2.7.6 | Principales ecosistemas..... | 26 |
| 2.2.7.7 | Recursos naturales | 27 |
| 2.2.7.8 | Características y uso de suelo | 27 |
| 2.2.8 | MINATITLÁN | 27 |
| 2.2.8.1 | Localización | 27 |
| 2.2.8.2 | Orografía | 27 |
| 2.2.8.3 | Hidrografía | 28 |
| 2.2.8.4 | Clima | 28 |
| 2.2.8.5 | Principales ecosistemas..... | 28 |
| 2.2.8.6 | Recursos naturales | 28 |
| 2.2.8.7 | Características y uso de suelo | 28 |
| 2.2.9 | TECOMÁN..... | 29 |
| 2.2.9.1 | Toponimia | 29 |
| 2.2.9.2 | Localización | 29 |
| 2.2.9.3 | Orografía | 29 |
| 2.2.9.4 | Hidrografía | 29 |
| 2.2.9.5 | Clima | 29 |
| 2.2.9.6 | Principales ecosistemas..... | 29 |
| 2.2.9.7 | Recursos naturales | 30 |
| 2.2.9.8 | Características y uso de suelo | 30 |
| 2.2.10 | VILLA DE ÁLVAREZ | 30 |
| 2.2.10.1 | Toponimia | 30 |
| 2.2.10.2 | Localización | 30 |
| 2.2.10.3 | Orografía | 30 |
| 2.2.10.4 | Hidrografía | 30 |
| 2.2.10.5 | Clima | 31 |
| 2.2.10.6 | Principales ecosistemas..... | 31 |
| 2.2.10.7 | Recursos naturales | 31 |
| 2.2.10.8 | Características y uso de suelo | 31 |
| 2.3 | JALISCO..... | 32 |
| 2.4 | MICHOACÁN..... | 34 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 36 |

CAPÍTULO 3 SISMOLOGÍA37

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1 | INTRODUCCIÓN..... | 37 |
| 3.2 | EVENTO PRINCIPAL, RÉPLICAS, ACELERACIONES Y VELOCIDADES REGISTRADAS..... | 38 |
| 3.2.1 | Marco tectónico de la región epicentral | 38 |
| 3.2.2 | Réplicas..... | 39 |
| 3.2.3 | Aceleraciones del terreno..... | 40 |
| 3.2.4 | Aceleraciones del terreno en la Ciudad de México..... | 41 |
| 3.2.5 | Mapa de intensidades sísmicas..... | 42 |
| 3.2.6 | Estudios previos en la Ciudad de Colima | 44 |
| 3.2.7 | Geología superficial..... | 44 |
| 3.2.8 | Velocidades de ondas sísmicas en pozos del área urbana | 45 |
| 3.2.9 | Frecuencia dominante del terreno y amplificación de las ondas | 46 |

| | |
|--|-----------|
| BIBLIOGRAFÍA | 48 |
| CAPÍTULO 4 EDIFICIOS INSTRUMENTADOS | 49 |
| 4.1 INTRODUCCIÓN..... | 49 |
| 4.2 INFORMACIÓN OBTENIDA DE EDIFICIOS INSTRUMENTADOS POR EL CENAPRED EN LA CIUDAD DE MÉXICO..... | 49 |
| 4.2.1 Tipología de los edificios instrumentados..... | 49 |
| 4.2.1.1 Edificio B y L | 49 |
| 4.2.1.2 Descripción del Edificio IMP..... | 51 |
| 4.2.2 Registros sísmicos | 52 |
| CAPÍTULO 5 ASPECTOS GEOTÉCNICOS | 57 |
| 5.1 INTRODUCCIÓN..... | 57 |
| 5.2 MARCO GEOLÓGICO | 57 |
| 5.3 LICUACIÓN DE SUELOS..... | 58 |
| 5.4 DAÑOS LOCALES POR LAS CONDICIONES DEL TERRENO | 64 |
| 5.5 DESLIZAMIENTOS | 66 |
| BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS | 69 |
| CAPÍTULO 6 SISTEMAS EXTENDIDOS..... | 71 |
| 6.1 INTRODUCCIÓN..... | 71 |
| 6.2 ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DRENAJE Y SISTEMAS DE RIEGO..... | 71 |
| 6.2.1 Colima | 71 |
| 6.3 SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA | 71 |
| 6.3.1 Colima | 71 |
| 6.3.2 Jalisco..... | 71 |
| 6.3.3 Michoacán de Ocampo..... | 72 |
| 6.4 COMUNICACIONES | 72 |
| 6.5 VÍAS DE TRANSPORTE | 72 |
| 6.5.1 Colima | 72 |
| 6.5.1.1 Estructura sobre el Muelle Fiscal de Manzanillo, Colima | 72 |
| 6.5.1.2 Puente “Manzanillo Colima” | 74 |
| 6.5.2 Jalisco..... | 76 |
| 6.5.3 Michoacán de Ocampo..... | 76 |
| CAPÍTULO 7 VIVIENDA | 79 |
| 7.1 INTRODUCCIÓN..... | 79 |
| 7.2 ESTADO DE COLIMA | 79 |
| 7.2.1 Armería..... | 80 |
| 7.2.2 Colima | 80 |
| 7.2.2.1 Vivienda de adobe | 81 |
| 7.2.2.2 Vivienda de mampostería simple y confinada | 89 |
| 7.2.2.3 Edificio de departamentos de tres niveles..... | 90 |
| 7.2.2.4 Edificio de departamentos de cuatro niveles..... | 94 |
| 7.2.3 Coquimatlán | 98 |
| 7.2.3.1 Características y tipos de daño | 99 |
| 7.2.3.2 Estructuras de mampostería de adobe | 99 |
| 7.2.3.3 Estructuras de mampostería de tabique simple y confinada..... | 102 |
| 7.2.3.4 Estructuras de mampostería mixta..... | 103 |
| 7.2.4 Tecomán..... | 104 |
| 7.2.5 Ixtlahuacán | 106 |
| 7.2.6 Villa de Álvarez..... | 110 |
| 7.2.6.1 Adobe..... | 111 |
| 7.2.6.2 Mampostería simple..... | 112 |
| 7.2.6.3 Mampostería confinada..... | 115 |
| 7.3 ESTADO DE JALISCO | 117 |
| 7.3.1 Autlán de Navarro..... | 119 |
| 7.3.1.1 Tipología de vivienda | 119 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 7.3.1.2 | <i>Daños observados</i> | 119 |
| 7.3.2 | Cocula | 121 |
| 7.3.2.1 | <i>Tipología de la vivienda</i> | 121 |
| 7.3.2.2 | <i>Daños observados</i> | 121 |
| 7.3.3 | El Grullo..... | 122 |
| 7.3.3.1 | <i>Tipología de la vivienda</i> | 122 |
| 7.3.3.2 | <i>Daños observados</i> | 123 |
| 7.3.4 | Juchitlán | 124 |
| 7.3.4.1 | <i>Tipología de la vivienda (Predominante)</i> | 124 |
| 7.3.4.2 | <i>Daños observados</i> | 125 |
| 7.3.5 | Pihuamo | 125 |
| 7.3.5.1 | <i>Tipología de la vivienda (Predominante)</i> | 125 |
| 7.3.5.2 | <i>Daños observados</i> | 125 |
| 7.3.6 | Tecolotlán..... | 126 |
| 7.3.6.1 | <i>Tipología de la vivienda (Predominante)</i> | 126 |
| 7.3.6.2 | <i>Daños observados</i> | 126 |
| 7.3.7 | Tolimán..... | 126 |
| 7.3.7.1 | <i>Tipología de la vivienda (Predominante)</i> | 126 |
| 7.3.7.2 | <i>Daños observados</i> | 127 |
| 7.3.8 | Tonaya..... | 128 |
| 7.3.8.1 | <i>Tipología de la vivienda (Predominante)</i> | 128 |
| 7.3.8.2 | <i>Daños observados</i> | 128 |
| 7.3.9 | Tonila..... | 129 |
| 7.3.9.1 | <i>Tipología de la vivienda</i> | 129 |
| 7.3.9.2 | <i>Daños observados</i> | 129 |
| 7.3.10 | Unión de Tula | 130 |
| 7.3.10.1 | <i>Tipología de la vivienda</i> | 131 |
| 7.3.10.2 | <i>Daños observados</i> | 131 |
| 7.3.11 | Villa Corona..... | 132 |
| 7.3.11.1 | <i>Tipología de la vivienda</i> | 132 |
| 7.3.11.2 | <i>Daños observados</i> | 132 |
| 7.3.12 | El Limón..... | 132 |
| 7.3.12.1 | <i>Tipología de la vivienda (Predominante)</i> | 132 |
| 7.3.12.2 | <i>Daños observados</i> | 134 |
| 7.3.13 | Zapotitlán de Badillo..... | 135 |
| 7.3.13.1 | <i>Tipología de la vivienda en la cabecera municipal (Predominante)</i> | 135 |
| 7.3.13.2 | <i>Daños observados en la cabecera municipal</i> | 135 |
| 7.3.13.3 | <i>Tetapán</i> | 136 |
| 7.3.13.4 | <i>Daños observados</i> | 137 |
| 7.4 | ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO | 140 |
| 7.4.1 | Viviendas de adobe y de mampostería simple | 140 |
| 7.4.2 | Viviendas de mampostería confinada..... | 145 |
| 7.5 | DISCUSIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA VIVIENDA..... | 146 |
| 7.6 | DAÑO EN BARDAS, PRETILES Y MUROS DE CELOSÍA | 148 |
| 7.6.1 | Bardas | 148 |
| 7.6.2 | Pretiles..... | 154 |
| 7.6.3 | Muros de celosía | 156 |
| 7.6.4 | Caída de tejas y ornamentos y otros daños no estructurales..... | 157 |
| 7.6.5 | Discusión | 157 |

CAPÍTULO 8 INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA..... 161

| | | |
|-------|-------------------|-----|
| 8.1 | INTRODUCCIÓN..... | 161 |
| 8.2 | COLIMA..... | 161 |
| 8.2.1 | Colima | 161 |
| 8.2.2 | Coquimatlán | 166 |
| 8.2.3 | Ixtlahuacán | 167 |
| 8.3 | JALISCO..... | 168 |
| 8.4 | MICHOACÁN..... | 173 |

CAPÍTULO 9 INFRAESTRUCTURA DE SALUD 175

| | | |
|---------|--|-----|
| 9.1 | INTRODUCCIÓN..... | 175 |
| 9.1.1 | Colima | 175 |
| 9.1.1.1 | <i>Clinica-Hospital "Dr. Miguel Trejo Ochoa"</i> | 175 |
| 9.1.1.2 | <i>Edificio de Hospitalización</i> | 176 |
| 9.1.1.3 | <i>Edificio de Consulta Externa</i> | 180 |
| 9.1.1.4 | <i>Edificio de Mantenimiento</i> | 182 |
| 9.1.1.5 | <i>Edificio de Investigación y Capacitación</i> | 182 |
| 9.1.1.6 | <i>Conclusiones y recomendaciones</i> | 183 |
| 9.1.2 | Coquimatlán | 184 |
| 9.2 | JALISCO..... | 184 |
| 9.2.1 | Michoacán de Ocampo..... | 184 |

CAPÍTULO 10 PATRIMONIO CULTURAL..... 187

| | | |
|--------|---|-----|
| 10.1 | INTRODUCCIÓN..... | 187 |
| 10.2 | COLIMA | 187 |
| 10.2.1 | Armería..... | 187 |
| 10.2.2 | Colima | 190 |
| 10.2.3 | Ixtlahuacán | 194 |
| 10.2.4 | Coquimatlán | 196 |
| 10.2.5 | Tecomán..... | 199 |
| 10.3 | JALISCO..... | 202 |
| 10.4 | ESTRUCTURACIÓN MÁS COMÚN EN LAS EDIFICACIONES DE IGLESIAS | 206 |
| 10.5 | TIPO PRINCIPAL DE DAÑO | 208 |
| | REFERENCIAS | 209 |

CAPÍTULO 11 EDIFICIOS PÚBLICOS..... 211

| | | |
|----------|--|-----|
| 11.1 | INTRODUCCIÓN..... | 211 |
| 11.2 | COLIMA..... | 211 |
| 11.2.1 | Colima | 211 |
| 11.2.1.1 | <i>Administración Local Jurídica de Colima</i> | 211 |
| 11.2.1.2 | <i>Edificio de las oficinas administrativas del ISSSTE</i> | 213 |
| 11.2.2 | Armería..... | 219 |
| 11.2.2.1 | <i>Edificio de Protección Civil, Justicia y Bomberos</i> | 219 |
| 11.2.3 | Coquimatlán | 221 |
| 11.2.4 | Manzanillo | 221 |
| 11.2.4.1 | <i>Inmueble frente al muelle Fiscal</i> | 221 |
| 11.2.5 | Tecomán..... | 222 |
| 11.2.5.1 | <i>Presidencia Municipal</i> | 222 |
| 11.3 | JALISCO..... | 225 |

CAPÍTULO 12 EDIFICIOS DE USO COMERCIAL..... 227

| | | |
|--------|-----------------------------|-----|
| 12.1 | INTRODUCCIÓN..... | 227 |
| 12.2 | COLIMA | 227 |
| 12.2.1 | Colima | 227 |
| 12.2.2 | Armería..... | 229 |
| 12.2.3 | Tecomán..... | 230 |
| 12.3 | JALISCO..... | 232 |
| 12.3.1 | Zapotitlán de Vadillo | 232 |

CAPÍTULO 13 IMPACTO SOCIOECONÓMICO..... 235

| | | |
|--------|---|-----|
| 13.1 | PRESENTACIÓN | 235 |
| 13.2 | INTRODUCCIÓN Y SÍNTESIS | 236 |
| 13.3 | ANTECEDENTES..... | 238 |
| 13.3.1 | Población y área afectada | 238 |
| 13.3.2 | Características socioeconómicas de la región afectada | 238 |
| 13.4 | ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CIVIL..... | 239 |
| 13.5 | ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS EN EL ESTADO DE COLIMA..... | 242 |
| 13.5.1 | Atención de la emergencia | 242 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 13.5.2 | Sectores sociales | 243 |
| 13.5.2.1 | <i>Sector vivienda</i> | 243 |
| 13.5.2.2 | <i>Reporte y estimación de daños en vivienda</i> | 243 |
| 13.5.2.3 | <i>Infraestructura en educación</i> | 247 |
| 13.5.2.4 | <i>Infraestructura en salud</i> | 248 |
| 13.5.3 | Infraestructura y servicios | 250 |
| 13.5.3.1 | <i>Sector hidráulico</i> | 250 |
| 13.5.3.2 | <i>Sector energía eléctrica</i> | 252 |
| 13.5.3.3 | <i>Comunicaciones y transportes</i> | 253 |
| 13.5.3.4 | <i>Daños a edificios públicos, monumentos históricos e inmuebles religiosos</i> | 257 |
| 13.5.3.5 | <i>Daños a edificios e infraestructura públicos</i> | 258 |
| 13.5.3.6 | <i>Edificios históricos, artísticos y religiosos</i> | 258 |
| 13.5.4 | Sectores productivos | 260 |
| 13.5.4.1 | <i>Agricultura</i> | 262 |
| 13.5.4.2 | <i>Sector comercio</i> | 262 |
| 13.6 | COMENTARIOS FINALES | 265 |
| 13.6.1 | COMENTARIOS SOBRE LA CÉDULA DE INFORMACIÓN SOCIOECONÓMICA Y VERIFICACIÓN DE DAÑOS | 266 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 268 |
| | CAPÍTULO 14 CONCLUSIONES | 269 |
| 14.1 | CONCLUSIONES..... | 269 |
| 14.2 | RECOMENDACIONES..... | 269 |
| | AGRADECIMIENTOS | 271 |

RESUMEN

El 21 de enero de 2003, a las 20:06 hora local ocurrió un sismo de magnitud $M_e=7.6$, con epicentro frente a las costas del estado de Colima. En este informe se presentan, de manera resumida las características sismológicas del evento. Se describen las observaciones, hechas durante una visita a la zona afectada, del comportamiento de hospitales, escuelas, viviendas, puentes monumentos históricos y edificios públicos y de uso comercial. Se incluye, también, una evaluación económica del costo de reconstrucción de los daños causados por el sismo. Finalmente, se señalan algunos aspectos que deben atenderse en el campo de la protección civil en México.

SUMMARY

On January 21, 2003 at 20:06 h local time, a magnitude $M_e=7.6$ earthquake occurred with its epicenter located in front to Colima State coasts. This report summarizes the seismological characteristics of the event. Observations made during a visit to the affected region on the behavior of hospitals, schools, housing, bridges, historical monuments and commercial and public buildings are described. An economical evaluation of the damage is presented. Finally, conclusions and recommendations regarding civil protection measures are included.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Carlos Reyes

1.1 ANTECEDENTES

El 21 de enero del 2003 el Servicio Sismológico Nacional (SSN) informó de la ocurrencia de un sismo a las 20:06 hora local, (02:06 h GMT), su foco fue localizado en las coordenadas 18.6° N y 104.22° W, frente a las costas de Colima, con una profundidad de 9.3 km.

La magnitud calculada por el SSN, empleando la escala de magnitud de energía, basada en la estimación de la energía liberada empleando registros de la estación CUIG, ubicada en Ciudad Universitaria, fue Me7.6.

La intensidad del movimiento fue sentida con mayor fuerza en los estados de Colima, Michoacán y Jalisco. Los daños más notables se observaron en el estado de Colima. En el Distrito Federal, fue registrado por la red de instrumentos existente, sin embargo, su intensidad fue menor y prácticamente no se observaron daños. De acuerdo con la escala de Mercalli, la intensidad del sismo fue de VIII cerca del área epicentral, siendo las construcciones de adobe y mampostería de piezas de barro deficientemente confinada las que presentaron los mayores daños.

1.2 ALCANCE Y OBJETIVO

Por instrucciones de la Coordinación General de Protección Civil, investigadores del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) visitaron algunos puntos de los estados de Colima, Michoacán y Jalisco que presentaron diversos niveles de daño después del sismo de Tecmán del 21 de enero de 2003. El interés se concentró en la determinación del estado de las estructuras en dichos sitios después de la ocurrencia del sismo.

Las visitas a los sitios afectados por el sismo de Tecmán no fueron exhaustivas de manera de contabilizar cada una de las construcciones dañadas, sino que se llevaron a efecto de detectar los daños representativos derivados de la acción del sismo.

1.3 CONTENIDO DEL DOCUMENTO

Este documento presenta las observaciones realizadas durante los recorridos y las recomendaciones del CENAPRED a la Coordinación General de Protección Civil.

El Capítulo 2 contiene los relacionado con el marco geoestadístico de la región afectada, se describen las características fisiográficas del sitio, su clima, hidrología, localización, características y uso del suelo, entre otros aspectos.

En el Capítulo 3 se describen los aspectos sismológicos relacionados con el sismo de Tecomán, Colima del 21 de enero de 2003. Se incluye información sobre el evento principal y sus réplicas, así como las distintas intensidades sísmicas en términos de aceleraciones máximas del terreno y la escala de Mercalli Modificada.

El Capítulo 4 presenta los registros sísmicos de los instrumentos de medición localizados en los edificios monitoreados por el CENAPRED.

En el Capítulo 5 se describen los temas relacionados con los aspectos geotécnicos, tales como deslizamientos de laderas y licuación del suelo.

Los Capítulos 6 al 12 contienen la descripción de los diferentes tipos de infraestructura dañada en los sitios que los investigadores del CENAPRED. Tal es el caso de sistemas extendidos, vivienda, escuelas, hospitales, edificios públicos, entre otros.

En el Capítulo 13 se hace una evaluación del impacto económico del sismo esencialmente sobre el estado de Colima.

En el Capítulo 14 se presentan las conclusiones y recomendaciones al Sistema Nacional de Protección Civil.

CAPÍTULO 2

MARCO GEOESTADÍSTICO

Oscar Zepeda

2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

En este Capítulo se describe el marco geoestadístico de los estados de Colima, Jalisco y Michoacán, los cuales resultaron los más afectados por el sismo de Tecomán (Fig. 2.1).

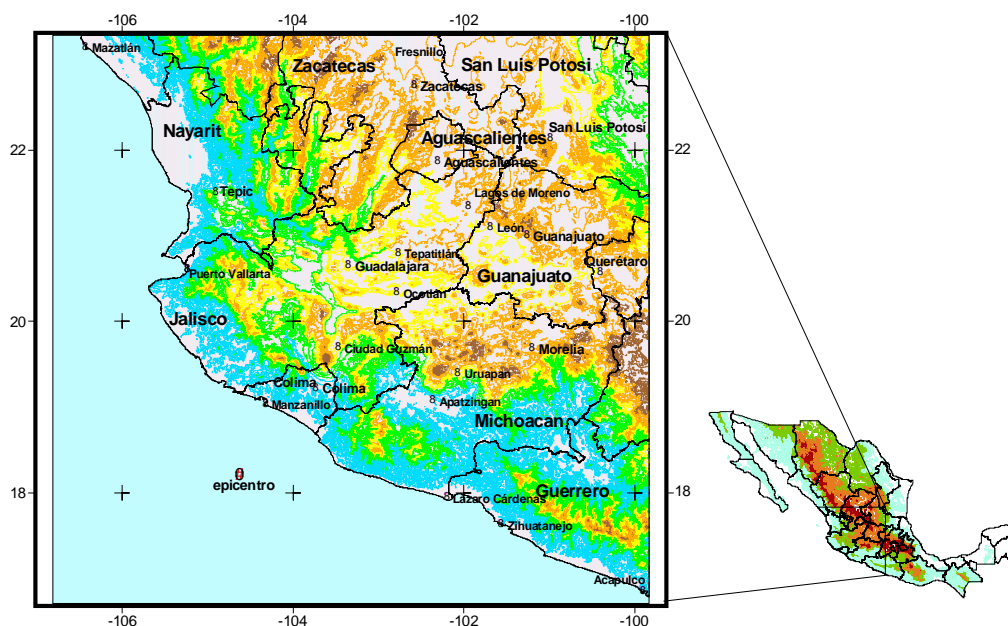


Figura 2.1 Localización del epicentro y estados circunvecinos

2.2 COLIMA

“Lugar donde domina el Dios viejo o Dios del Fuego”

El Estado de Colima se encuentra ubicado en la parte media de la vertiente del Océano Pacífico dentro de las regiones mayores de la Cordillera Neovolcánica, Sierra Madre del Sur y Llanura Costera; entre las coordenadas geográficas 19°31' y 18°41' latitud norte y 103°29' a 104°41' longitud oeste.

Su extensión territorial es de 5455 km², cuenta, además, con 221 km² de superficie insular, correspondientes al Archipiélago de Revillagigedo.

Las dos provincias fisiográficas que comprenden al estado son: Sistema Neovolcánico, el cual tiene una subprovincia denominada Volcanes de Colima que corresponde al 16 % de la

superficie estatal y esta localizada al noreste del Estado; la segunda provincia es la Sierra Madre del Sur con dos subprovincias: Sierra de la Costa de Jalisco y Colima y Cordillera Costera del Sur que ocupan el 64 % y 20 % respectivamente de la superficie.

La región norte es la más accidentada ya que en esta zona se localiza el Volcán de Colima, Sierra Mazatlán, Cerro Grande, Cerro el Peón, Cerro La Piedra Colorada, cuyas altitudes oscilan de 1760 hasta 3820 msnm.

Dos regiones hidrológicas son las que comprenden al Estado de Colima, la primera corresponde a la Costa de Jalisco con la cuenca del río Chacala-Purificación que ocupa el 31.2 % de la superficie estatal y se localiza en la porción suroeste del estado; presenta características hidrográficas y orográficas semejantes a lo largo del litoral del Océano Pacífico, y está constituida por corrientes poco desarrolladas debido a la cercanía de la sierra con la costa. La segunda región se denomina Armería-Coahuayana formada por la cuenca de los ríos del mismo nombre que se ubica en el resto del Estado.

Algunos cuerpos de agua son las lagunas de Cuyutlán, Amela, Alcuazahuae, Juluapan, Las Garzas, La Media Luna, Estero Boca de Pascuales, Potrero Grande; todos ellos concentrados a lo largo de la costa. Las corrientes de agua existentes tienen una extensión considerable ya que algunas de ellas atraviesan Colima de norte a sur tal es el caso de: Armería, Salado, Marabasco, Barranca del Muerto, El Naranja y Coahuayana.

Los principales acuíferos subterráneos del estado de Colima se localizan a lo largo de la costa, donde los ríos Armería, Salado, Coahuayana, Cihuatlán y otros de menor caudal han acumulado sedimentos deltaicos permeables que reciben buenas recargas debido a la precipitación abundante y a sus propios escurrimientos.

El clima dominante en el estado de Colima es el cálido subhúmedo, que se presenta principalmente en la región costera y en las zonas bajas del Valle de Tecomán. Se caracteriza por tener una temperatura media anual mayor de 22° C; está asociado a comunidades vegetativas del tipo de la selva baja, el manglar y los pastizales. Debido a su influencia y extensión, cubre el 83 % de la superficie con una precipitación media anual de 1000 mm.

Los climas semicálidos se localizan en donde la temperatura empieza a disminuir en la medida que se sube a las faldas del Volcán de Fuego. Este clima se caracteriza por una temperatura media anual entre 18° C y 22° C, se encuentra asociado a comunidades vegetales como el matorral subtropical, el chaparral y el pastizal, este clima abarca aproximadamente 2 % de la superficie.

El clima semiseco se presenta en menor grado en la zona de transición entre la llanura costera y la sierra. Su régimen térmico medio anual es mayor a los 18° C; los tipos de vegetación que comúnmente se desarrollan en éste clima son: selva baja o vegetación xerófila. Abarca 8 % de la superficie.

Los climas templados y semifríos se restringen en un área muy localizada, situada en las partes altas del Volcán de Colima. Presenta un régimen térmico medio anual mayor a 18° C; está asociado a comunidades vegetales del tipo de la pradera templada, formada por plantas herbáceas, cubre aproximadamente 4 % de la superficie estatal.

La ligera variabilidad de clima crea condiciones favorables para la agricultura, la cual se distribuye de la siguiente forma: en las regiones bajas de climas cálidos se producen frutos tropicales tales como el limón, el plátano y el tamarindo; en tanto que en las zonas altas y de climas

ligeramente menos cálido se ha desarrollado una agricultura basada en cultivos tales como: maíz, caña de azúcar, ajonjolí, arroz, chile verde y jitomate. Esta agricultura está establecida en suelos feozem que se localizan en prácticamente todo el este de Colima.

Dependiendo del relieve que se localice se desarrolla la actividad pecuaria de ganado caprino que es apto para las zonas de montaña, el ganado bovino en zonas de lomerios y escarpes suaves, y en zonas de valles el ganado ovino.

La región oeste y una porción del noreste del Estado se caracteriza por tener suelos regosoles con textura media y gruesa, en promedio ocupa el 55% de la superficie estatal; la cual es en su mayoría ocupada por selva con vegetación guácima, papelillo amarillo, copal, tepemezquite que son productos de donde se extrae forraje en el primer caso y madera en los tres últimos.

La región del Volcán de Colima tiene áreas importantes de bosque de encino que puede ser explotados industrialmente pero se encuentran en zona declarada Parque Nacional; sin embargo hay pequeñas zonas de donde se extraen productos maderables para el comercio. En las zonas de laderas tendidas en el municipio de Colima se extraen productos solamente consumibles por la población de esta entidad.

El estado de Colima cuenta en su territorio con grandes yacimientos de hierro y varias plantas de beneficio (peletizadoras) que han posibilitado el aprovechamiento de un alto porcentaje de yacimientos, como el de Peña Colorada. Se calcula que las reservas contenidas en este lugar alcanzan la cifra de 154 millones de toneladas de mineral de hierro (magnetita) que pueden durar 50 años. Los yacimientos ferríferos más importantes se encuentran en el municipio de Minatitlán; en Colima funciona solamente una fábrica de cal hidratada, en la zona de Los Asmoles de donde se explota un promedio de 1,100 toneladas mensuales.

En la región costera de Colima se obtiene el 27 % de la producción nacional de sal común (cloruro de sodio).

El estado de Colima está dividido en 10 municipios, en la siguiente tabla se presenta el nombre de los municipios y así como el de su cabecera municipal. En la Figura 2.2 se presenta el estado y su división geopolítica.

Tabla 2.1 Municipios de estado de Colima y cabecera municipal

| Municipio | Cabecera municipal |
|------------------|---------------------------|
| Armería | Ciudad Armería |
| Colima | Colima |
| Comala | Comala |
| Coquimatlán | Coquimatlán |
| Cuahutémoc | Cuahutémoc |
| Ixtlahuacan | Ixtlahuacan |
| Manzanillo | Manzanillo |
| Minatitlán | Minatitlán |
| Tecomán | Tecomán |
| Villa de Álvarez | Ciudad Villa de Álvarez. |

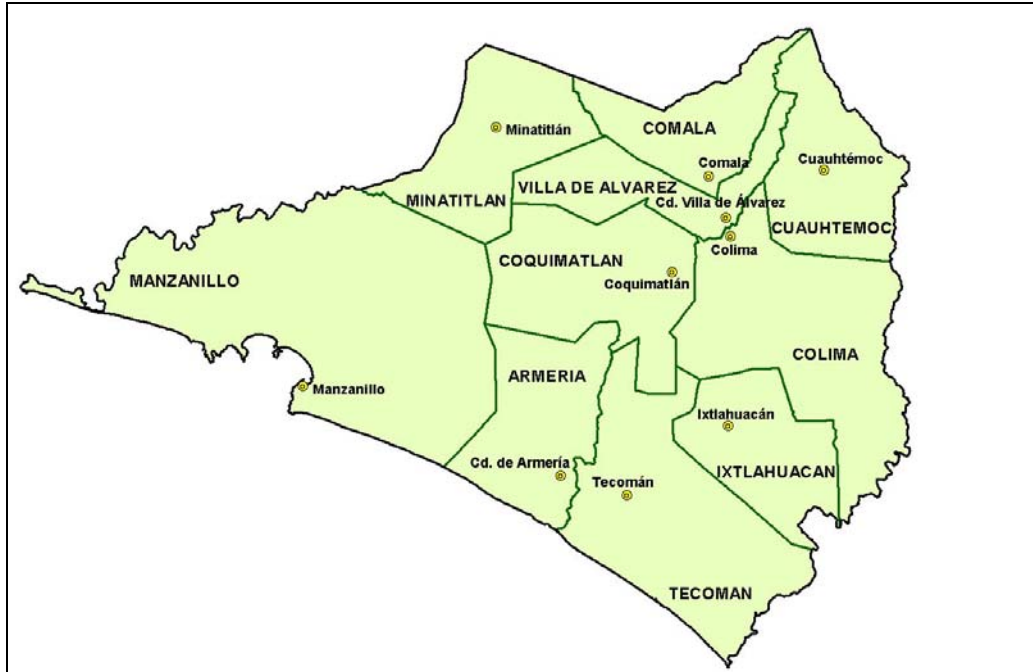


Figura 2.2 Estado de Colima, división y cabeceras municipales.

A continuación se presentan un compendio de las características fisiográficas de los municipios del estado.

2.2.1 ARMERÍA

2.2.1.1 Toponimia

Existen varias interpretaciones respecto al origen del nombre de Armería, algunas establecen que allí se “Armaban barcos”, otra que existía una hacienda denominada con ese nombre; también se sabe que en los tiempos de la colonia existía en ese lugar un destacamento de guardias virreinales que daban garantías a las “conductas” y viajeros que transitaban por el camino real de Colima; posteriormente una hacienda fue el punto de partida del núcleo de población.

2.2.1.2 Localización

El municipio de Armería está situado geográficamente entre los paralelos 103°53’ a 104°07’ W del Meridiano de Greenwich (MG); y a los 18°01’ a 19°07’ N; se ubica a 55km de la capital del Estado. La cabecera municipal se encuentra a una altitud de 20 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Limita al sur con el Océano Pacífico, al Poniente con el Municipio de Manzanillo, al Norte con Coquimatlán y al Oriente con su límite natural, el río Armería y el Municipio de Tecomán.

2.2.1.3 Extensión

Este municipio tiene una extensión territorial de 341.6 km², que representan el 6.3% de la superficie total del estado. En su región sur colinda con el Océano Pacífico a lo largo de 15.3 kilómetros de costa.

2.2.1.4 Orografía

Las principales elevaciones de la región se derivan de la Sierra Madre Occidental, encontrándose los cerros: San Buenaventura, El Escorpión, El Zacate, El Jabalí, El Cualatilla, El Tepalcate y Escaltitán, éste último con una elevación máxima de 360 m.s.n.m.

2.2.1.5 Hidrografía

El río Armería es la principal fuente de abastecimiento acuífera, la construcción de canales de riego en 1922, así como el reparto agrario propiciaron un auge económico en la localidad. Los principales canales de riego se denominan: Periquillos, La Cañita, Independencia y Cuyutlán. Con menor importancia hidrológica, el Arroyo La Atravesada irriga la región noroeste del municipio. Una extensión considerable de la Laguna de Cuyutlán se encuentra dentro del municipio de Armería, en sus inmediaciones con el Océano Pacífico.

En el municipio se localizan dos cuencas hidrológicas que le permiten contar con suficiente agua durante todo el año, la primera de ellas se denomina Armería que cubre el 73.7% de la superficie; el resto es ocupada por la cuenca Chacala-Purificación.

2.2.1.6 Clima

En la zona que se encuentra ubicado el municipio, el clima es considerado como cálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad en 56.2% del territorio municipal; y semiseco muy cálido y cálido en el 43.8% del resto de la superficie.

Presenta una temperatura media anual de 26.3° C, los meses más calurosos son de junio a octubre con una temperatura media de 27.7° C, en los meses más fríos la temperatura media es de 25° C. El municipio tiene una precipitación pluvial media anual de 700mm, siendo los meses de julio, agosto y septiembre los de mayor precipitación.

2.2.1.7 Principales ecosistemas

Las especies vegetales más abundantes son: guayabillo, palo alejo, granadillo, palo María, parota, primavera, pachote, higuera, huizache, huamuchil y mezquite. Entre la fauna se encuentra: el ticuiz, la urraca, el corvejón, la garza, el pato pinto, la gaviota rosa, el venado, el coyote y el tigrillo.

2.2.1.8 Recursos naturales

Una actividad importante del municipio es la explotación de bancos de sal localizados principalmente en las inmediaciones de la Laguna de Cuyutlán.

2.2.1.9 Características y uso de suelo

La región norte del municipio presenta diversas formaciones rocosas y vegetación media tropical que permiten el cultivo de algunas gramíneas como: maíz y sorgo, diversos cítricos tal es el caso del limón que representa el principal cultivo municipal.

En la zona baja del municipio los suelos presentan texturas muy variadas; se observa una proporción alta de limo, causa que origina fertilidad natural, formaciones principalmente de arena; en su mayoría, los suelos son de origen aluvial debido a las crecientes del río Armería o creados por los depósitos de arena del océano, y de formación mixta.

El 88% de la superficie municipal son tierras ejidales y el 12% es de pequeña propiedad. La mayor parte es de uso agrícola, sobresaliendo la palma-copra y los pastizales, en menor proporción el plátano, el mango y el tamarindo.

2.2.2 COLIMA

Capital del Estado en la que residen los poderes públicos de la entidad.

2.2.2.1 Toponimia

El nombre de Colima proviene de “coliman”, palabra náhuatl, con que se designaba al antiguo reino o señorío “colli”, significa cerro, volcan o abuelo y “maitl”, mano, dominio, es decir: “lugar conquistado por nuestros abuelos” o “lugar donde domina el Dios del fuego”, refiriéndose al volcán.

2.2.2.2 Localización

El municipio se localiza, en su mayor parte, en el Valle de Colima; se encuentra entre los 18°53' y 19°21' N y entre los 103°32' y 103°43' WMG. Tiene una altitud máxima promedio de 550 msnm y una mínima de 305 m.s.n.m.

Limita al Norte con el Municipio de Cuahutémoc; al Sur con el de Ixtlahuacan; al Suroeste con Tecomán; al Sureste con el Estado de Michoacán; al Este con el Estado de Jalisco; al Oeste con el Municipio de Coquimatlán y al Noroeste con el de Villa de Álvarez.

2.2.2.3 Orografía

Aproximadamente el 50% del municipio es accidentado, principalmente al sur y sureste, donde existe el área cerril más importante. Forma parte de dos subprovincias llamadas Volcanes de Colima y Cordillera Costera del Sur.

La sub-provincia Volcanes de Colima abarca la mayor superficie del Valle de Colima, desde la porción norte y noroeste hasta la meseta del Cerro de los Gallos.

La subprovincia de la Cordillera Costera del Sur, ocupa la porción montañosa del sur de nuestro país, tiene relación con la llamada placa de cocos localizada en el fondo del Océano Pacífico, presiona al oeste y sureste de las costas, originando una fuerte sismicidad que se registra en esta zona, desde el sur de Jalisco hasta Oaxaca y Chiapas.

Cuenta con los cerros: Los Mezcales, Los Gallos, El Agostadero, La Salvia, El Agostadero, Los Volcancillos.

2.2.2.4 Hidrografía

El municipio cuenta con varios ríos. Los más importantes son: El Colima, Salado y Naranja. De escaso caudal son los arroyos: El Zarco, El Astillero Salitrillos, Cardona y El Chico; y solo llevan agua en periodo de lluvia: El Marique, La Estancia, La Cañada, Tinajas y La Palmera.

2.2.2.5 Clima

Calido subhúmedo con lluvias en verano en la mayor parte del municipio; la temperatura media anual es de 24° a 26° C y la lluvia anual es de 800 a 1000 mm. En la parte norte del

municipio que colinda con el de Cuauhtémoc, la temperatura mejora en unos dos grados aproximadamente de 22° a 24° C, la lluvia media anual es de 1000 a 1300 mm.

En los poblados Estampilla y Las Tunas, el clima es semiseco y muy cálido con temperaturas de 26° a 28° C y precipitación anual de 600 a 700 mm.

2.2.2.6 Principales ecosistemas

La vegetación que predomina es la selva baja caducifolia, al centro, oeste y sureste; aquí, los árboles tiran la hoja en un 75% durante la época de estío. La selva mediana sub-caducifolia se localiza al sureste, en los límites con Ixtlahuacán y sus especies tiran su hoja en un 50 y 70% durante el estío. En las partes elevadas de los cerros, al sur y sureste de Tepames entre los 800 y 1000 m de altitud se localizan algunos bosques de encino.

2.2.2.7 Recursos naturales

En la extensión municipal no se localizan recursos minerales salvo pequeños aprovechamientos de rocas calizas que se extraen del Cerro de Galindo, al sur de la municipalidad.

2.2.2.8 Características y uso de suelo

Ofrece diversas características físicas que impide o limita el uso agrícola de la superficie o uso de maquinaria agrícola. La fase pedregosa o lítica se refiere a la existencia de piedras mayores a 7.5 cm de diámetro y la segunda consiste en la presencia de rocas al menos de 50 cm de la superficie que limitan la profundidad de la capa agrícola.

Existen también suelos arcillosos que presentan las características anteriores. En varios lugares del municipio hay también terrenos suaves y ricos en materia orgánica, con capa superficial oscura (feozem háplico), los cuales son aptos para uso de maquinaria agrícola.

La agricultura de riego más importante se encuentra en la parte oeste del municipio, en la meseta de los Asmoles, Las Golondrinas y Los Ortices, que forman la última depresión escalonada del Valle de Colima y recibe los beneficios del Canal de Colima procedente de la derivadora “Peñitas”, que recibe el caudal de la presa Basilio Vadillo. En el municipio 70,000 hectáreas se destinan a usos agrícolas, los cuales equivalen al 10.25 % del área municipal.

2.2.3 COMALA

2.2.3.1 Toponimia

Cómala significa “lugar donde se hacen comales” ó “lugar de comales”, nombre que deriva del náhuatl comallí, y an, lugar.

2.2.3.2 Localización

Se encuentra situado al norte del estado, entre las coordenadas 19°18' y 19°32' latitud norte y entre los 103°37' y 103°57' longitud oeste.

Se ubica a 6 kilómetros de la ciudad de Colima y limita al norte con el estado de Jalisco (municipio de Zapotitlán) y con el municipio de Cuauhtémoc; al oeste con Minatitlán y con Villa de Álvarez al sur y al este. Presenta una extensión territorial de 254 kilómetros cuadrados.

2.2.3.3 Orografía

El Río Armería divide al municipio en dos regiones: Al oeste se encuentra la parte más accidentada con el Cerro Grande y la Sierra de Manatlán. La parte menos accidentada se localiza al sureste formando parte del Valle de Colima. Por la presencia de los volcanes es abrupto en la parte norte del municipio.

2.2.3.4 Hidrografía

Además del Río Grande, o Río Armería, los más importantes ríos y arroyos son: Zacualpan, San Antonio, Los Mezcales, La Caja, San Juan, Nogueras y el Río Cómala, Integrado por los de Reynosa, Suchitlán y Barragana. Existen en el municipio las siguientes lagunas: Carrizalillos, La Joya, El Obispo, Palo Alto, Las Cuatas, El Calabozo, El Epazote, La Escondida, El Jabalí y La María.

La derivadora de Peñitas fue construida en territorio de Comala en 1963, para regadío en los municipios de Colima, Comala, Coquimatlán y Villa de Álvarez. Actualmente son cubiertas 10,217 hectáreas. Este sistema deriva de las aguas del Río Armería.

2.2.3.5 Clima

En la parte sur se presenta un clima cálido subhúmedo; al norte se tiene un clima más húmedo, y al suroeste, clima intermedio entre los anteriores por el grado de humedad. La temperatura media anual varía entre 23 °C en enero y 27 °C en junio.

La precipitación pluvial media anual es de 1,163 milímetros, con régimen de lluvias que abarca los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre.

2.2.3.6 Principales ecosistemas

Flora

La superficie con vegetación natural está compuesta por selva baja con especies caducifolias, bosque con especies latofoliadas y asociaciones especiales de vegetación con materiales subinermes: nogal, cobano, parota, higuera, rosamorada, primavera, tepemezquite, huizache, guasima, ciprés, fresno, pino; en frutales, el mango, ciruelo, guamuchil, nance, chico zapote y mamey.

Fauna

Se encuentran mamíferos como: venado, zorra, coyote, tejón, mapache, tlacuache, jabalí; roedores como: Ardilla, tesmo y tuza; en aves: Paloma, torcaza, codorniz, urraca, chachalaca, pájaro carpintero, churio, ticus, zopilote, tecolote, gavilán, quelele, perico, tapa camino y calandria.

Cómala destaca en el estado de Colima por sus áreas protegidas: Parque Nacional “Volcán de Colima”, El Jabalí, Reserva de la Biosfera de la Sierra de Mazatlán, Las Huertas de Cómala.

2.2.3.7 Recursos naturales

Las especies más significativas son el fresno, encino y librillo, y otras de menor importancia como la primavera y la parota. El área principal de explotación se localiza en el Cerro Grande.

2.2.3.8 Características y uso de suelo

Al Oeste se localiza suelo calizo; al Este suelos con formación de breccia volcánica; en las áreas adyacentes al Río Armería hay una franja con formación arenisca, y sus márgenes son de tipo pluvial.

La mayor parte de la superficie es de uso forestal, y ocupa un área importante la agricultura, y en menor cantidad la destinada a la actividad pecuaria. La tenencia de la tierra principalmente es ejidal, le sigue la comunal y en tercer lugar la propiedad privada.

2.2.4 COQUIMATLÁN

2.2.4.1 Toponimia

Coquimatlán proviene de las raíces nahuas *coqui* que quiere decir paloma o torcaza, *ma*, de *maatl* que significa mano, tomar o asir, y *tian* lugar, es decir "Lugar donde se cazan o atrapan torcazas". Existe una segunda acepción: "Lugar donde se hacen redes"; sin embargo, la primera es la más aceptada.

2.2.4.2 Extensión

La superficie total del municipio es de 320.19 kilómetros cuadrados lo que representa 9.33 % con respecto a la superficie total del estado.

2.2.4.3 Orografía

La superficie municipal se puede clasificar en dos zonas bien definidas, que se encuentran divididas por el Río Armería; una que abarca el Valle de Colima cuya superficie es plana en su mayoría, la otra agrupa las planicies de Pueblo Juárez, Agua Zarca y la Esperanza. El área montañosa está formada por los cerros: El Chino, El Barrigón, El Cerro de la Vieja y el Náhuatl; y tienen en parte como fondo, el de la Media Luna, así como los cerros La Ocotera, Loma Blanca, la Nancera, el Campanario, San Diego y El Jicotán; en la parte sureste, Los Libros y el Alcomún.

2.2.4.4 Hidrografía

Las corrientes más importantes son el río Armería y el río de Colima con sus afluentes el arroyo de Cómala y El de Los Limones, respectivamente. Los arroyos del Chino y Algodonal y los abundantes manantiales de Nahuaiapa y los Amiales son en su desembocadura también afluentes del río Armería. El municipio cuenta con siete pozos profundos, siete bordos y una represa de 100 metros de longitud por 4.00 metros de altura, ubicada en terrenos del Ejido Agua Zarca.

2.2.4.5 Clima

El municipio es dominado por clima cálido subhúmedo en 90.91 %, con lluvias en verano de menor humedad; la parte Noroeste tiene 8.52 % de clima semicálido subhúmedo, con lluvias en verano de humedad media, al Sur, en el límite con el Municipio de Armería, es 0.57 % clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano de humedad media. La temperatura media anual es de 26° C, y la precipitación pluvial media anual es de 67.3 milímetros con régimen de lluvias que abarcan los meses de julio, agosto, septiembre y octubre.

2.2.4.6 Principales ecosistemas

La vegetación en la mayor parte de la superficie es de monte bajo con existencia de manglares en pequeñas zonas aisladas, y en la parte oeste del municipio, en las rancherías de La Sidra y El Algodonal se encuentra una nutrida vegetación de altos y robustos árboles entre los que destacan mayoritariamente "Los Mojos".

En otros lugares de la superficie se encuentran frondosas "parotas" (huanacaxtles), primavera, capomos, pochotes y tepehuajes. Corresponden a los bosques el 16.07 % de la superficie y a la selva 58.82% de la misma. Existe una variada fauna silvestre compuesta por: venados, coyotes, armadillos, tezmos, iguanas, güilotas y torcazas.

2.2.4.7 Recursos naturales

Cabe destacar que los yacimientos ferríferos del cerro "Del Náhuatl" explotados por una empresa minera con capacidad, al inicio de sus operaciones en 1988, tuvieron una producción de 25 millones de toneladas con ley de hierro total de 33 %. En el cerro del Alcomún existen yacimientos de cal, yeso y cal hidráulica.

2.2.4.8 Características y uso de suelo

La región pertenece a la Era Cuaternaria con suelos de tipo sedimentario, producto del acarreo de los ríos y material volcánico, su textura es muy diversa, variando incluso en distancias cortas, pero predomina la de suelo arcilloso-arenoso. El suelo se utiliza en 24.81 % para la agricultura con sembradíos de riego y de temporal; el 75.19 % está cubierto por monte bajo, bosques y pastizales encontrándose enclavadas en esta superficie las 3,746 viviendas de la cabecera municipal y sus 12 poblados.

2.2.5 CUAUHTÉMOC

2.2.5.1 Toponimia

El nombre proviene del idioma Náhuatl; Cuauhtli significa águila y Témoc, quiere decir descender, por lo tanto se aplica la frase "Águila que descende sobre su presa".

2.2.5.2 Localización

Se encuentra situado al noreste del estado, limitando en este punto con el Municipio de Tonila, Jalisco; al Este con el de Pihuamo, Jalisco.; al Sur y Sureste con el de Colima y al Oeste con los de Cómala y Villa de Álvarez. Se localiza entre las coordenadas geográficas de los 19°12' a los 19°30' de latitud norte y los 103°30' a 103°42' de longitud oeste.

Presenta una altitud máxima de 2,700 metros sobre el nivel del mar y una mínima de 600. La cabecera municipal se encuentra a 15 km. de distancia de la Capital del Estado, la Ciudad de Colima. El municipio cuenta con una superficie de 3,732 km².

2.2.5.3 Orografía

El relieve del suelo es muy irregular desde montañas en la parte norte, cerros de mediana altura y lomas hacia los valles. Es atravesado por la Sierra Madre Occidental donde hay elevaciones

mayores a los 3,000 m como el propio volcán, sus faldas se extienden hacia las poblaciones del Coyonque, Montitlán y Quesería.

El territorio del municipio presenta declives que forman arrugas longitudinales bastante irregulares que van de norte a sur y de norte a sureste, cuyas protuberancias y deslaves han dado origen a múltiples barrancas.

2.2.5.4 Hidrografía

Las hondas cañadas y barrancas son vías por donde corren numerosos arroyuelos caudalosos en verano, algunos nacen en esta jurisdicción municipal y el resto en Jalisco. Estos se utilizan en la mediana y pequeña irrigación.

El Río Salado nace en un punto llamado Palo Alto donde se denomina Río San Jerónimo o Arroyo Grande. El Río de Colima nace en un lugar cerca de el Naranjal. Existen también el Río de la Idea y El Cobano afluentes del Río Cardona; los de las Grullas, Quesería, El Cordobán y otros de menor importancia. El límite con Jalisco por el oeste lo determina el Río Tuxpan o Naranjo.

Cuenta el Municipio con 5 pequeñas presas, un sistema de bordos que han servido de abrevaderos y para riego de necesidad agrícola.

2.2.5.5 Clima

Los climas del municipio son por grado de humedad subhúmedos y con relación a su temperatura, cálidos. En la parte noreste domina el clima cálido subhúmedo; al norte el más húmedo y templado y al sur de clase intermedia.

La temperatura media anual es de 23.7° C., con régimen de lluvias que comprende variablemente entre los meses de mayo a octubre. La precipitación pluvial media anual es de 1,336 mm. Por lo regular, en la cabecera, así como en todo el Municipio el ambiente es muy agradable y tranquilo, y por su cercanía con la Ciudad de Colima lo hace un lugar ideal para vivir.

2.2.5.6 Principales ecosistemas

En la parte alta del municipio se localiza la zona boscosa, abarca un 30 % de la superficie total municipal, lugar donde abundan las pináceas de gran altura y grueso tronco. Los fresnos, encinos, nogales, caoba, rosamorada, entre otros.

En la parte media y baja dominan regular cantidad de árboles: parotas, primaveras, huitzilacates, guamúchiles, higueras, guásimas, anomas, zalates, huizaches, chamizos, tepanes, etc., el resto de la superficie está ocupada por cultivos agrícolas, frutícolas y pastizales.

Por lo que se refiere a la fauna, pese a la destrucción del bosque, se encuentra un gran número de especies: Jaguares, onzas, puma americano, coyotes, zorros, gatos montés, cacomixtles, tejones (coatí), mapaches, tlacuaches, venados, ardillas, conejos, serpientes diversas y roedores.

También hay extensa variedad de aves como: Zopilotes, águilas, cuervos, gavilanes, lechuzas, tecolotes, jilgueros, tzentzontles, gorriones, mirlos, golondrinas, jardineros, tordos, palomas, codornices, torcacitas, zanates y peces en estanques y ríos.

2.2.5.7 Recursos naturales

La riqueza natural sobresaliente es la forestal. La parte norte del municipio cuenta con maderas finas de alta estima, la caoba, pino, nogal, encino, y en la parte media y baja se producen parotas y primavera, útiles en la industria y artesanías muebleras.

2.2.5.8 Características y uso de suelo

Toda esta región emergió según estudios geológicos de las aguas oceánicas en la era Paleozoica. Los tipos de suelo de éste son de muy diversas texturas, encontrándose desde los arcillosos y barréales que predominan en la región de Buenavista, hasta los areno-migajosos con diversos porcentajes de arena y limo de otras partes.

Su clasificación corresponde a los suelos de montaña o transición y por su cercanía con el volcán tienen un alto porcentaje de rocas que dificultan la agricultura. Se caracterizan además por sus pendientes, planos inclinados y montículos. El 50 % del suelo se destina a la actividad agrícola, un 30 % al uso forestal, el resto es para el desarrollo pecuario, vivienda, espacios y servicios públicos, predomina la tenencia de la tierra de tipo ejidal, el resto es propiedad privada.

2.2.6 IXTLAHUACÁN

2.2.6.1 Topominia

Ixtlahuacán es un vocablo náhuatl que significa "lugar desierto, sin árboles ni habitaciones, tierra plana, valle".

2.2.6.2 Localización

El municipio se localiza entre los 18°51' a 19°05' de latitud norte y 103°35' a 103°49' de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

El Municipio de Ixtlahuacán colinda al norte con el de Tecomán, así como con el de Colima con el cual también colinda al este conjuntamente con el Estado de Michoacán, por el sur con el mismo estado y el Municipio de Tecomán, lo mismo que al oeste.

La superficie con que cuenta este municipio es de 468.7 kilómetros cuadrados, y representa el 6.99% del Estado de Colima.

2.2.6.3 Orografía

Por el Municipio de Ixtlahuacán pasa una parte de la Sierra Madre del Sur, los cerros de más importancia son: La Palmera, Volcancillos, El Camichín, San Miguel, Rosa Morada, El Tepeguaje, Chamila, La Palma, San Gabriel, La Mina y La Garrapata. El municipio tiene una altura mínima de 150 y una máxima de 1,900 metros sobre el nivel del mar.

2.2.6.4 Hidrografía

El principal afluente es el río Salado, algunos arroyos como El Tecualanal, el nacimiento de agua de la toma. Hay varios pozos de donde se extrae el agua mediante sistema de bombeo, tales como: El Mojotal, El Ojo de Agua y el pozo de la unidad deportiva que abastece a la cabecera

municipal en complemento con el pozo de la comunidad La Presa. El agua de estos pozos sirve para uso doméstico y agrícola.

2.2.6.5 Clima

El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad en el 96.25% de la superficie municipal, así como semiseco muy cálido y cálido en 3.75%.

La temperatura promedio es de 26°C y la precipitación promedio anual es de 901.8 milímetros.

2.2.6.6 Principales ecosistemas

El municipio de Ixtlahuacán, cuenta con un 3.31% de bosque en el cual se encuentran especies como Roble y Parota, de los cuales se extrae madera. La selva que hay en este territorio representa 86.20%. En esta predomina el tepemezquite, la parota y el mojo, también es maderable.

2.2.6.7 Recursos naturales

Además de lo que ya se señaló en el inciso anterior, este municipio cuenta con varias minas de fierro, zinc, plomo, cobre, plata y dolomita, que no han sido explotadas aún.

2.2.6.8 Características y uso de suelo

La región pertenece al periodo Cuaternario, Terciario y Cretácico, las rocas son de tipo sedimentario, ígneas intrusivas y extrusivas, los tipos de suelo predominantes son: La caliza con 43.38 % de la superficie municipal y la brecha volcánica intermedia con 15.10 %. Se utiliza el 10.38 % para la agricultura, 0.11 % pastizal, 3.31 % es bosque y el 86.20 % es selva.

2.2.7 MANZANILLO

2.2.7.1 Toponimia

Su nombre se deriva del árbol de nombre Manzanillo (*Hippomannimancinella*) planta euforbiacia, su fruto es venenoso, así como el látex, la planta común en ésta región; estar cerca del árbol por un tiempo produce urticaria.

Asimismo, su nombre en lengua náhuatl es Cozcztlán que se integra con los vocablos Cozcatl y Tlán. El primero significa piedra preciosa, joya, collar (perlas), gargantilla; el segundo quiere decir locativo (lugar); por lo tanto se enuncia como "Lugar de joyas, collares, gargantillas" o también "Donde se hacen collares".

2.2.7.2 Localización

El puerto se localiza en la Bahía de su nombre, al oeste del Estado de Colima, sus límites son: al norte, con el Municipio de Minatitlán; al este, Coquimatlán y Armería, al sur, está el Océano Pacífico, al oeste y noroeste, con el Estado de Jalisco.

Por su extensión es el municipio más grande del estado, se localiza entre los 103°59' a 104°44' de longitud oeste del Meridiano de Greenwich y los 18°53' a 19° 18' latitud norte, con altura sobre el nivel del mar de 4 metros en el malecón.

2.2.7.3 Orografía

El municipio se caracteriza por ser montañoso. Forma parte de la fisiografía de la Sierra Madre Sur, la que ocupa la mayor superficie del Estado de Colima y se extiende hasta el de Oaxaca.

Esta provincia fisiográfica tiene relación con la llamada placa de cocos, que es una inmensa placa móvil que emerge del fondo del Océano Pacífico a la superficie, aprovisionando hacia el Continente lo cual da origen a la fuerte sismicidad que se registra en la zona.

El relieve del suelo está formado por sistemas de topoformas, ocupando aproximadamente el 80 % de la superficie del municipio, cuya principal importancia radica en la existencia de minerales de hierro en "Los Crestones", los de cobre en "Cedros" y el "Porvenir", así como productos de cobre en "Veladero de Camotlán", "El Arrayanal", el "Águila", "La Gallina", "Chandiablo", cerro de "El Bosque", "Las Golondrinas" y "Heliotropo".

Es importante el prospecto de extracción de mármol "Santa Rita" a 12 km. al norte de Manzanillo, con un volumen de 500,000 m³.

Los sistemas de topoformas de mayor altura se localizan al Norte y Sur del municipio, con elevación sobre el nivel del mar entre 800 y 1,600 m. Las serranías y cerros más importantes son los siguientes: San Buenaventura, El Tigre, El Aguacate, Las Grutas, El Chupadero, El Centinela, Las Tablas y otros de menos altura.

2.2.7.4 Hidrografía

El río más importante es el Cihuatlán, Chacala, Marabasco o Paticajo (recibe estos nombres) que desemboca en la laguna del Puerto Navidad y sirve de límite con el Estado de Jalisco.

Nace en el municipio de Autlán, su cuenca tiene una superficie de 793.3 km² y una descarga media anual de 978 millones de metros cúbicos, recorre desde su nacimiento 123 kilómetros, sus afluentes son los ríos de Ayotitlán, Paticajo, El Carrizo o San José y El Cacao, forma esteros como el de Potrero Grande.

Arroyos:

La Lima, Don Tomás, Chandiablo, Punta de Agua, El Limoncito, Las Juntas, El Salto, La Rosa, Canoas.

Lagunas:

Cuyutlán, San Pedrito, Valle de las Garzas, Miramar, Potrero Grande, Achiutes.

2.2.7.5 Clima

El clima del municipio es sub-húmedo, cálido, con temperatura media entre 26 y 28° C de la más alta y de 22 a 23° C la más baja. Durante el verano se llegan a registrar temperaturas muy elevadas de 30 a 34 ° C. El registro pluvial medio anual es entre 800 y 1,200 milímetros cúbicos.

2.2.7.6 Principales ecosistemas

La depresión del Río Marabasco en el Municipio de Manzanillo y la zona montañosa de la Rosa, constituyen interesantes regiones ecológicas. Predomina en el municipio la llanura costera.

Flora

Este municipio es rico en producción de cereales, maderas de diferentes tipos: tintoreras, resinosas y curtientes. También existe flora de tipo industrial, oleaginosas, frutales, leguminosas, medicinales y ornamentales.

Fauna

En el municipio existe una gran variedad de *mamíferos* como tigre, leopardo, coyote, tlacuache, liebre, conejo, *aves*: Loro, cotorra, guacamaya, faisán, canario, cenizote, clarín, jilguero, catarina, aguililla, cuervo, chachalaca, codorniz, huilota, garza blanca y morena, pato negro y café, gallareta, martín pescador, pelícano, grulla, chocho, *Reptiles*: Caimán, tortuga de río, malacoas, boas, víboras de cascabel, coralillo, chirrionera, zamalacoa, tilicuate, entre otros. *Peces*: Trucha, huajina, bagre, robalo, anguila de río, sardina, guachinango, lisa, sierra, mero, roncadador, pampano, tiburón, mantarraya, tonina, tintorera, dorado, camarón chacales, e *insectos*: Mosco, mosquito, barrilitos, jején y de todos tipos.

2.2.7.7 Recursos naturales

En el Municipio de Manzanillo, existen yacimientos de cobre en Cedros, Veladero de Camotlán, el Arrayanal y Jalipa. El mármol se extrae principalmente en Santa Rita. La sal de estera es un producto propio de la zona costera o marítima, se opera en Colomos.

La agricultura se significa en la depresión del Marabasco, con cultivos muy variados de hortalizas y frutales. En la zona alta se obtiene madera de cedro, así como el guayabillo, palo dulce, rosa morada, primavera y otros recursos típicos de la costa.

2.2.7.8 Características y uso de suelo

El relieve del suelo lo forman los cerros, valles y depresiones, el territorio del municipio se conformó en la era terciaria, durante 50 a 60 millones de años, originándose plegamientos o arrugas por la fuerza del interior hasta la superficie.

El 55 % es agrícola y ganadero, 20 % para la construcción de viviendas, 15 % comercios y 10 % se destina para oficinas y espacios públicos.

2.2.8 MINATITLÁN**2.2.8.1 Localización**

Minatitlán se localiza a 55 kilómetros de Colima; limita al sur con los municipios de Manzanillo y Coquimatlán; al oriente con Villa de Álvarez y Comala; al poniente con el Estado de Jalisco.

La cabecera municipal se encuentra entre los paralelos 19°23' latitud norte, y a 104°03' de longitud oeste. Tiene una altura de 740 metros sobre el nivel del mar. El municipio tiene una extensión territorial de 215 km².

2.2.8.2 Orografía

El relieve del suelo lo forman los cerros, valles y depresiones, el territorio del municipio se conformó en la era terciaria, durante 50 a 60 millones de años, originándose plegamientos o arrugas por la fuerza del interior hasta la superficie.

Se ubica el municipio enclavado en la sierra Madre Occidental, por lo que es montañoso, y se encuentra dividido por tres secciones orográficas definidas: la primera, al noroeste, está ubicada entre los ríos Minatitlán y Ayutitlán, es una cordillera formada por los cerros el Chapulín, Chanquiahutl y El Prieto; la segunda, en la parte central del municipio, entre el Río Minatitlán y el Arroyo de San Palmar, formada por los cerros de Copales, Juanillos, Agua Fría y El Peón; y la tercera, al norte, se encuentra formada por el Cerro Grande.

2.2.8.3 Hidrografía

El municipio se encuentra en la región hidrológica denominada "Costa de Jalisco", que se concreta a dos sistemas: uno es el Río Minatitlán de corriente perenne, que nace en la falda este del Cerro del Zapote, de donde parte hacia el sur para desembocar en el Océano Pacífico. Los principales afluentes del río son: Los Arroyos y Las Truchas, Los Cuates, El Gato, Copales, Las Pesadas y El Limoncito.

El otro sistema lo forma el arroyo del Cañón, que posteriormente se une al San Palmar para desembocar en el Río Armería; ambas afluentes tienen su corriente de norte a sur en el municipio.

2.2.8.4 Clima

En la mayor parte del municipio predomina el clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano principalmente; registra una temperatura media anual de 23° C y una precipitación pluvial media de 1,674.5 milímetros anuales.

2.2.8.5 Principales ecosistemas

Flora

Dada la estructura orográfica del municipio, la vegetación es variada y boscosa, predominan en las partes bajas los arbustos y los matorrales. Actualmente se están aprovechando las zonas para plantíos de algunos frutos como: mango, guanábana y lima. En la parte alta existe higuerrilla, zapotillo, otate y pino en el Cerro Grande abunda el encino.

Fauna

La fauna está formada por jaguar, onza puma, tigrillo, jabalí coyote, mapache, tejón, zorra, armadillo, venado, conejo, ardilla e iguana

2.2.8.6 Recursos naturales

Existe una mina, la cual en 1996 alcanzó un volumen de producción que ascendió a 3,096,389 toneladas de hierro.

2.2.8.7 Características y uso de suelo

El municipio cuenta con una extensión de 5,699 hectáreas, de las cuales predominan los suelos arcilloso-arenosos no cementados, de color rojizo. De la superficie que comprende el municipio, a la pequeña propiedad corresponde una cuarta parte aproximadamente, y las otras tres son de tenencia ejidal. El principal uso del suelo es para la silvicultura.

El 55 % es agrícola y ganadero, 20 % para la construcción de viviendas, 15 % comercios y 10 % se destina para oficinas y espacios públicos.

2.2.9 TECOMÁN

2.2.9.1 Toponimia

La palabra Tecomán es de origen náhuatl. Se compone de los términos Tecol o Tecolli que significa abuelo; “man” que quiere decir lugar; por lo tanto ambos vocablos conforman la frase "el lugar de nuestros abuelos".

2.2.9.2 Localización

El municipio de Tecomán se localiza en la porción sureste del estado entre las coordenadas 103°59' a 103°73' de longitud oeste del Meridiano de Greenwich y 18° 41' a 19°06' de latitud norte. Limita al norte con los municipios de Coquimatlán y Colima, al sur con el Océano Pacífico, al este con el Municipio de Ixtlahuacán, al oeste con el de Armería y al sureste con el Estado de Michoacán. Está situado a 33 metros sobre el nivel del mar. La distancia aproximada de la cabecera municipal a la capital del estado es de 46 km.

2.2.9.3 Orografía

Tiene dos zonas bien definidas: la costera conocida como el Valle de Tecomán. Es una franja que abarca el 60 por ciento (478 km) de la superficie total. Tiene 30 kilómetros de litoral, 17 km en su parte más ancha tierra adentro y ocho km la más angosta. La superficie restante, 356 km cuadrados la forman las estribaciones de la Sierra Madre Occidental, cuyas principales elevaciones son las faldas del Cerro de Partida o de Tecolapa, con 1,200 metros sobre el nivel del mar, el Cerro San Miguel con 1,100 metros, el Cerro de Callejones y el Cerro Cabeza de Toro.

2.2.9.4 Hidrografía

Al noroeste del municipio se encuentra el Río Armería y al sureste el Coahuayana. Existen en la planicie costera dos lagunas: la de Alcuzahue que cubre un área de 160 hectáreas y la de Amela que tiene una capacidad de almacenamiento de 30 millones de metros cúbicos. En la costa se localizan los esteros de El Real, Guazango, Tecuanillo y El Chupadero. Cerca de Madrid nacen los manantiales de Guaracha.

2.2.9.5 Clima

En el municipio de Tecomán predominan los climas semiseco muy cálido, cálido al norte y centro del municipio; al sur, cálido subhúmedo. La temperatura media anual es de 26° C, con una precipitación media anual de 484.9 milímetros siendo el régimen de lluvias, principalmente en verano.

2.2.9.6 Principales ecosistemas

La vegetación que predomina en los cerros está formada por xolocoahuítl, habillo, mojo, guásima, tepemezquite, asmol, llorasangre, timúchil, coliguana, granjén, otate, etc. La parte del valle fue reforestada con plantaciones de palmeras, frutales, limón y otros cultivos. La fauna la forman: coyote, jabalí, tejón, ardilla, iguana, caimanes en esteros y lagunas; aves como la güilota y la chachalaca. No existen áreas naturales protegidas.

2.2.9.7 Recursos naturales

El volumen de la producción de los centros mineros en 1996 fue: yeso, 86,521 toneladas; caliza-lutita 3, 066,194 toneladas; puzolana, 130,336 toneladas; y maderas para construcción.

2.2.9.8 Características y uso de suelo

Los suelos en su mayoría son de origen aluvial aunque de diferente modo de formación, pues se tienen los que se constituyeron por las crecientes de los ríos Armería y Coahuayana, por los depósitos de arena del océano y los que fueron intercalados con sedimentos de origen marítimo. Su principal uso es de tipo agrícola.

2.2.10 VILLA DE ÁLVAREZ

2.2.10.1 Toponimia

Los suelos en su mayoría son de origen aluvial aunque de diferente modo de formación, pues se tienen los que se constituyeron por las crecientes de los ríos Armería y Coahuayana, por los depósitos de arena del océano y los que fueron intercalados con sedimentos de origen marítimo. Su principal uso es de tipo agrícola.

2.2.10.2 Localización

El Municipio de Villa de Álvarez se encuentra ubicado entre las coordenadas extremas de los paralelos 19°15' a 19°21' de latitud norte y 103°40' a 104°05' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altitud máxima de 1,600 m.s.n.m., y una mínima de 440. Limita al norte con el Municipio de Cómala; al suroeste, con el de Colima; al noroeste, con el de Minatitlán; al suroeste, con el de Coquimatlán y al este con el Municipio de Cuauhtémoc.

2.2.10.3 Orografía

Al lado Este se localiza la superficie menos accidentada con una parte de valle, precisamente donde se encuentra la cabecera municipal. La mayor parte del territorio presenta una geografía accidentada y montañosa, en el área del lado oeste del río Armería cuyas principales elevaciones son: el Cerro del Rincón de Almoloyan, el Cerro de El Chino y parte del Cerro El Barrigón (en cuya cima se encuentra un cráter que en tiempos de lluvia se llena de agua, formando una hermosa laguna); ubicado en el lado norte, el Cerro de Culuapan, donde existe una enorme roca que parece estar amenazando a la población cercana del mismo nombre.

2.2.10.4 Hidrografía

El Río Armería, atraviesa el municipio de norte a sur; sus afluentes son los ríos: Picachos, Comala y San Antonio. El volumen de agua escurrida se concentra en Peñitas. El río Colima por el lado oeste establece el límite con los municipios de Colima y Cuauhtémoc.

En el municipio se localizan las siguientes lagunas: La Grande, Pastores, al noroeste la del Carrizal, Las Cuatas, y el Pozo. Además el municipio cuenta con algunos arroyos como: El Seco, Tecomala, Del Diablo, San Palmar, Agua Dulce, y el Pereira que atraviesa la cabecera municipal.

2.2.10.5 Clima

Los climas del municipio por su grado de humedad son subhúmedos, y con relación a su temperatura cálidos; al centro y norte del municipio existe un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano; y al noroeste presenta, también el cálido subhúmedo y semicálido subhúmedo, también con lluvias en verano.

La temperatura media anual es de 23.7°C, y la precipitación pluvial media de 1,193.8 milímetros cúbicos, con régimen de lluvias que abarca los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre.

2.2.10.6 Principales ecosistemas

Flora

En el territorio municipal existen las siguientes variedades vegetales, predominando en las zonas de las comunidades Agua Dulce y Pueblo Nuevo: el mojo, la parota, la higuera, cóbano, hebilló, rosamorada, chicozapote, cuahuayote (bonete), cabeza de negro, anona, tescalama, colorín, guásima, huizcolote, cuastecomate, chamizo, mezquite, huizache, palma real, cactus y otras variedades como: guayabo, guayabillo, guamúchil, ciruelo, zapote negro, zapote blanco, mango, naranjo, aguacate, limonero, lima, toronja, nanche, nopal, plátano y maguey.

Fauna

Existe la siguiente variedad de animales: Coyote, onzas, venado, armadillo, zorra, zorrillo, tlacuache, mojocuán, tejón, mapache, ardilla, conejo, liebre, tesmos y tuzas.

Entre las aves se encuentran: Chachalacas, palomas, huijotas, torcazas, ticuces, zanates, cuervos, zopilotes, lechuzas, tecolotes, pericos, tapacaminos, pichacuates, urracas, correcominos, calandrias, ceniztos, jilgueros, chuparrosas, carpinteros, cardenales y gorriones.

Dentro del género de los reptiles: Malcoá, víbora, chirrionera, coralillo, apalcuate, sorcuate, iguana y lagartija. Entre los arácnidos: Escorpión, arañas, alacrán, tarántulas, ciempiés. Insectos: Zancudo, mosca, mosquito, avispa, abeja, jicote, mariposa. Peces: Trucha, langostino, tilapia (en bordos y lagunas).

2.2.10.7 Recursos naturales

El área forestal del municipio representa aproximadamente el 60 %, de la superficie total, predominando en la zona de bosques: fresno, cedro, sabino, nogal y tabachín.

2.2.10.8 Características y uso de suelo

El territorio villalvareense, con todo el Estado de Colima, emergió del Océano Pacífico en las eras Paleozoica y Mesozoica. Está constituido por cinco tipos de suelos: En la parte oeste, a partir del Río Armería, existe una formación de suelo calizo; al lado norte, una de brecha volcánica; en el área adyacente del Río Armería existe una franja con formación de arenisca - conglomerado, y una franja de tipo aluvial hacia el oeste; colindando con el Municipio de Minatitlán existe una formación extrusiva ácida y, finalmente, una formación de granito y conglomerado.

La mayor parte del suelo pertenece al régimen de propiedad privada, la parte restante es suelo ejidal. El uso del suelo se ha distribuido de la siguiente manera: 60 % es de uso forestal. 35 % de explotación agrícola. 5 % para la explotación pecuaria.

El municipio consta de 27,017 hectáreas de tierra, de las cuales: 33.3 % (8,996 ha) son de calidad agrícola. 25 % (6,484 ha) son cerriles. 13.37 % (3,612 ha) son llanuras 29.33 % (7,925 ha) corresponde a tierras maderables, no maderables e improductivas.

La superficie agrícola es de tres tipos:

- a) De temporal, que representa el 89.8 % (7,784.4 ha)
- b) De riego, que representa el 9.5 % (821.6 ha)
- c) De humedad, que representa el 7 % (63.5 ha)

2.3 JALISCO

El estado de Jalisco está dividido en 124 municipios. Se encuentra entre las coordenadas geográficas 22°45' y 18°55' latitud norte y 101°28' a 105°42' de longitud oeste.

Jalisco colinda al norte con Nayarit, Aguascalientes, Zacatecas; al este con Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato y Michoacán de Ocampo; al sur con Michoacán de Ocampo y Colima y el Océano Pacífico y al oeste con el Océano Pacífico y Nayarit. La superficie total del estado es de 81,058 km², representando el 4.0 % de la superficie total del país, por lo que ocupa el sexto lugar por su extensión territorial.

Su litoral mide 279 kilómetros y está formado por playas bajas y arenosas, sin detalles relevantes, como no sea el cabo corrientes, que limita a Bahía de Banderas y Barra de Navidad.

El estado de Jalisco está dividido en cuatro provincias fisiográficas: región de los cañones, región de los altos, región de las cuencas centrales y la región montañosa y declives del Pacífico.

a) *Región de los cañones.*- En el norte del estado hay una serie de angostas y profundas depresiones ligadas a sistemas de fracturas por donde corren los afluentes de la margen derecha del río Santiago. Se encuentran en esa región el Cañón de Bolaños y el cañón que se forma en el curso inferior del río Verde; son los más importantes dentro del territorio jalisciense.

b) *Región de los altos.*- Esta provincia se encuentra en la parte NE del estado, drenado por afluentes de la margen derecha del río Santiago; los más importantes son los ríos Verde y Zula o Atotonilco. Esta extensa provincia tiene una inclinación que va de NE a SW, descendiendo desde los 2, 200 m. hasta los 1,400 m. sobre el nivel del mar. En su porción central se encuentran las sierras de Arandas y Tepatitlán.

c) *Región de las cuencas centrales.*- Corresponde a una zona lacustre que se localiza en el centro del estado. Esta constituida por dos zonas fundamentales: una al E, formada por la cuenca exorreica de Chapala y una zona pequeña que se extiende al NE y E del lago de Chapala y abarca parte de la ciénega de Chapala, y el valle de Guadalajara- Tesislán; la otra al W integrada por las cuencas endorreicas de Cajititlán, Zacoalco, Sayula y Zapotlán.

d) *Región montañosa y declives del Pacífico.*- Es la provincia fisiográfica que tiene mayor extensión. Esta integrada por dos regiones: una a lo largo del litoral, llamada de Declives y constituida por una zona de valles, paralelos unos a otros y normales a la costa; y la otra al este de la anterior, formada por macizos montañosos originados por las estribaciones de la Sierra Madre Occidental y la Sierra Volcánica Transversal.

En el estado de Jalisco, de acuerdo con la clasificación de Koeppen, se presentan 4 tipos principales de climas: Aw, BS y Cw. El clima Cw es un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, es el tipo de clima que presenta la mayor extensión en el estado. Se localiza principalmente en las regiones montañosas del estado: en la porción meridional de la región de Los Altos, en la región de las Cuencas Centrales y en la parte montañosa que corresponde a la provincia fisiográfica de la región Montañosa y Declives del Pacífico.

El clima BS, clima seco, se localiza principalmente al NE del estado, y ocupa una extensión considerable en la porción septentrional de la región de los Altos. Existen otras regiones pequeñas con este tipo de clima: en la Sierra de Colotlán al NE y SW del lago de Chapala, al W del volcán y nevado de Colima.

La zona de clima Aw, tropical con lluvias en verano, abarca una extensión considerable. Se encuentra en regiones que tiene una altitud inferior a 1,400 m. en la región de los valles que bajan de la provincia fisiográfica. Declives del Pacífico, localizada en los valles siguientes: Ameca, Tomatlán, San Nicolas, Cuitzamala, Purificación, Chihuahatlán, Coahuayana y cuenca del Tepalcatepec.

La Sierra Madre Occidental corre paralela al litoral del Pacífico, por la parte media de la Entidad. Esta sierra recibe diferentes nombres: en el norte se llama Sierra de Nayarit y de Hostotipaquillo; en el centro se le denomina Sierra del Puerto de Quila, primero y de Talapa después, (en la Sierra de Quila se localiza en Cerro del Huehuentón), a más de 2, 000 m. sobre el nivel del mar) y en los límites de Colima y Michoacán, Sierra del Halo. De esta cadena montañosa se desprenden diversos ramales, como las sierras de Atemajac, Ameca, Atenguillo, Pihuamo y las Bufas, donde se localizan las montañas más altas. Existen otros sistemas montañosos en la entidad, como son las sierras de Bolaños y Colotlán, en el norte; Mascota, San Sebastián y perote, en el oeste; Tesistán, Collí y Talajomulco, en el centro; Jesús María y los Altos, en el este y en el sur de la Sierra del Tigre.

El perfil orográfico del Estado forma diferentes valles y llanuras, de los cuales los más importantes son los siguientes: Atemalac, donde se asenta la ciudad de Guadalajara; Toluquilla, Cuisillos, Ameca, Zapotlán, Llano Grande, Huejúcar, La Braca y Ocotlán.

Los ríos y lagos de Jalisco pertenecen a la vertiente del Pacífico, ya que desaguan en este océano, bien sea por el territorio de la entidad o por los de Nayarit, Michoacán y Colima, siendo ocho los principales ríos del estado, como sigue:

El río Lerma, que es de desagüe interior, nace en la pequeña laguna llamada Chiconahuapan (siete ríos), formada por siete arroyos que nacen en Almoloya del Río, al sur del Valle de Toluca, Estado de México; separa, con el nombre del Río Grande, los Estados de Guanajuato y Michoacán, sirviendo de límite natural entre este último y Jalisco, y desemboca en el lago de Chapala, después de 450 kilómetros.

Del mencionado lago nace el Río Grande de Santiago; dicho río Santiago riega una parte de los municipios de Ocotlán y la Barca; como a 8 km. Al noreste de Guadalajara, en el lugar llamado "Las Juntas", hace confluencia con el Río Verde. Atraviesa el estado de Nayarit y desemboca en el Océano Pacífico, formando un amplio delta tras un curso de 412 km.

Sigue en importancia el río Ameca que nace en el estado, el curso de este río es de 127 km y desagua en el mar; luego tenemos al río Marabasco o Cihuatlán que sirve de límite natural, en parte, entre Jalisco y Colima; después el río Armería que nace en la sierra de Quila y se

interna en el estado de Colima donde recibe otros afluentes después de regar su corriente 169 km; el río Coahuayana nace en la sierra de las Bufas teniendo una corriente de 170 km. Además de los mencionados, destacan los ríos Cuale, Quimisto, China, Tiuto, Tomatlán con un curso de 90 km y el río San Nicolas, con 170 km.

Este estado cuenta con las lagunas de Cajititlán y Tizapan, las de Zacoalco, San Marcos, Atoyac, Sayula, Zapotlán, Guadalupe, Mascota y Juanacatlán, pero el principal lago es el de Chapala, que tiene 85 km de largo de este a oeste y 28 km de ancho, de norte a sur y con una profundidad media de 10 a 12 metros.

En la región costera, caliente y húmeda, la vegetación es importante, sobresaliendo las maderas preciosas: caoba, granadillo, linaloé, cedro, nogal, además de pinos, hayas, fresnos, robles, laurel, naranjos, encinos, etc. En el resto del estado, principalmente en las sierras, quedan vestigios de los que fuera una vegetación riquísima, pues la explotación de los bosques jaliscienses ha sido irracional.

2.4 MICHOACÁN

El estado de Michoacán de Ocampo esta dividido en 113 municipios. Se encuentra entre las coordenadas geográficas 20°45' y 17°55' de latitud norte y 100°04' a 103°44' de longitud oeste.

El estado de Michoacán de Ocampo colinda al norte con Jalisco, Guanajuato y Querétaro de Arteaga; al este con Querétaro de Arteaga, México y Guerrero; al sur con Guerrero y el Océano Pacífico y al oeste con el Océano Pacífico, Colima y Jalisco. La superficie total del estado es de 60,581 km², representando el 3.0 % de la superficie total del país, por lo que ocupa el decimosexto lugar por su extensión territorial.

El litoral del estado de Michoacán tiene una longitud de 26.5 kilómetros.

El estado de Michoacán está dividido en cinco provincias fisiográficas: las planicies costeras del Pacífico; la Sierra Madre del Sur; la Depresión del Balsas; el Sistema Volcánico Transversal y la Depresión del Lerma o Altiplanicie.

La planicie costera del Pacífico.-Entre la Sierra Madre del Sur y el Océano Pacífico se localiza una angosta e interrumpida franja frente a un litoral que va desde la desembocadura del río Coahuayana hasta la desembocadura del río Balsas o Zacatula. Las planicies costeras del Pacífico, en el estado de Michoacán, son las más angostas de todas las que se hallan en el sur del país. La más extensa es la planicie de Lázaro Cárdenas, situada frente al litoral del extremo sudeste de la entidad. Dentro de esta planicie se localizan unos 18 km² de planos inundados y esteros, 11 km² de playa y 25 km² de lomas y cerros dentro de la planicie.

Sierra Madre del Sur.- Presenta una longitud de casi 200 km. Se le considera una continuación de la Sierra de Baja California. Presenta una dirección NW – SE, extendiéndose a lo largo y cercanamente a la costa del Océano Pacífico. Tiene una anchura de casi 100 km y una altitud promedio de 2000 m. presentando una superficie de 13,126 km². La elevación más alta localizada en esta sierra tiene 2,985 metros de altitud. La sierra Madre del Sur ha sido fácilmente cruzada por varias corrientes fluviales, algunas de las cuales pudieron ser endorreicas.

Depresión del Balsas.- Está limitada por el Sistema Volcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur, presentando en el territorio de Michoacán una altitud media de 500 metros, que disminuye

a menos de 200 metros en su parte oeste. Esta orientada de NW a SE tiene una longitud de 255 km y una anchura media de 30 km, presentando una superficie de 14, 466.2 km²s.

Sistema Volcánico Transversal.- Se localiza al sur de la Altiplanicie Mexicana y se formó como consecuencia e la aparición de numerosos volcanes. En el territorio del estado de Michoacán tiene una longitud de 300 km y una anchura aproximada de 130 km, presentando una superficie de 27, 496.4 km². Se presentan numeroo valles exorreicos y cuencas endorreicas como la de Patzcuaro, Ciutzeo y Sirahuen. Dentro del Estado de Michoacán, el Sistema Volcánico Transversal recibe diferentes nombres locales, entre ellos: Sierra de Parajuacán, Tarecuato, San Angel, Patambán, Paracho, Tancítaro, Nahuatzen, Comanja, El Tigre, Mil Cumbes, Santa Clara, San Andrés, Tlalpujahuá, Anganguero, Zitacuaro, etc.

En el estado de Michoacán se los siguientes tipos de clima: Aw, tropical con lluvias en verano, localizado en la costa , en el sur, y al norte de la depresión del río Tepalcatepec, con excepción de las zonas cuyas alturas sea mayores a 1, 800 metrso sobre el nivel del mar; Cw se localiza al norte del estado.

En el estado existen varios sistemas fluviales, entre los que destacan sus lagos, como el lago de Ciutzeo, lago de Patzcuaro, lago de Zirahuén y el lago de Chapala.

El lago de Cuitzeo es alimentado por dos corrientes principales: el río Grande de Morelia y el río Querendaro; el lago de Patzcuaro tiene una superficie de 1, 525 km², entre las corrientes que aportan un volumen a este lago están el río San Gregorio, Chapultepec y arroyos de Santa Fé y Soto; el lago de Zirahuén presenta una cuenca de 615 km² cuadrados, este se encuentra alimentado por los ríos Manzanillo y Zinamba; el lago de Chapala recibe importantes aportaciones del río Duero y del río Lerma, corresponden a Michoacán la parte sudeste del lago que abarca aproximadamente unos 125 km².

Los ríos más importantes de el estado de Michoacán son los siguientes: Río Tlalpujahuá, río Cachiví, río Angulo, río Tanhuato, río Duero, río Santiago, río Cutzamala, río Zitacuaro, río Tacambaro, río Tepalcatepec, río Balsas, río Tepalcatepec, río Grande de Morelia, río Coahuayana, río Maruata, río Coalcomán, río Nexpa, por mencionar algunos.

BIBLIOGRAFÍA

Bassols Á. (1988), “Norte de Jalisco, una región remota de occidente”. Edit. Instituto de Investigaciones Económicas., UNAM. 1ed. 1988. 188 pp.

Correa G. (1974), “Geografía del Estado de Michoacán”, Tomo I Geografía Física, Gobierno del Estado, Morelia, Michoacán, 1974. 454 pp.

Gutiérrez, M.T. (1968), “Geodemografía del Estado de Jalisco”. Instituto de Geografía, UNAM, México, 1968. 79 pp.

INEGI (1977), Anuario Estadístico del Estado de Colima, Edición 1997.

Secretaría de Programación y Presupuesto, Síntesis Geográfica de Colima, 1981, México, D.F., Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística Geografía e Informática.

CAPÍTULO 3

SISMOLOGÍA

Carlos Gutiérrez

3.1 INTRODUCCIÓN

El 21 de enero del 2003 se registró un sismo a las 20:06 hora local, (02:06 h GMT), localizado por el Servicio Sismológico Nacional (SSN) en 18.6° N y 104.22° W, frente a las costas de Colima, con una profundidad de 9.3 km.

La magnitud calculada por el SSN, empleando la escala de magnitud de energía, basada en la estimación de la energía liberada empleando registros de la estación CUIG, ubicada en Ciudad Universitaria, fue Me7.6.

El movimiento fue sentido con fuerza, ocasionando daños considerables en construcciones e interrupción de servicios eléctrico y telefónico, principalmente en Colima y parte de los estados vecinos de Michoacán y Jalisco. El movimiento fue sentido claramente en la ciudad de México y, aunque levemente, en localidades alejadas como Orizaba, situada a unos 800 km del epicentro.

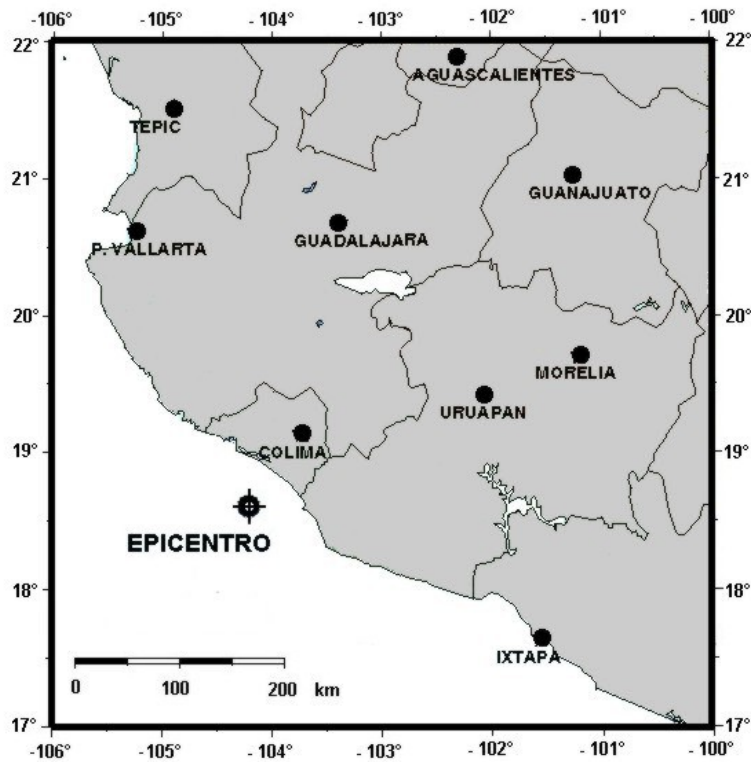


Figura 3.1 Localización del epicentro del sismo del 21 de enero de 2003 M 7.6 (SSN)
(Fuente: Servicio Sismológico Nacional)

3.2 EVENTO PRINCIPAL, RÉPLICAS, ACELERACIONES Y VELOCIDADES REGISTRADAS

3.2.1 Marco tectónico de la región epicentral

Este evento, considerado dentro del contexto sísmológico de nuestro país como de gran magnitud, se origina en la zona de subducción ubicada a lo largo de la costa del Pacífico, entre los estados de Jalisco y Chiapas donde tiene lugar la mayor parte de la sismicidad de la República Mexicana.

Es muy probable que el epicentro se encuentre próximo a la todavía poco precisa frontera, entre las placas Rivera y Cocos las cuales penetran, en esa región, por debajo de la placa Norteamericana con una velocidad relativa de alrededor de 5 cm/año (Kostoglodov and Bandy, 1995).



Figura 3.2 Distribución y tipo de desplazamiento de las placas tectónicas a lo largo de la costa occidental de México

El mecanismo focal de este temblor corresponde a una falla inversa, paralela a la trinchera, con un ángulo de buzamiento de 17° (U. de Harvard), lo cual permite considerar este evento como típico de la zona de subducción mexicana, producto de la interacción entre placas (evento interplaca).

Como antecedentes importantes de temblores grandes en esa región, se pueden citar los siguientes:

Octubre 9, 1995. Mw 8.0. Su epicentro se localizó frente a las costas de Colima, cercano a Manzanillo. Este evento produjo, en ese puerto, el colapso total del hotel Costa Real y daños importantes en vivienda y otros hoteles de la localidad. Asimismo, produce daños menores en la planta termoeléctrica y licuación de arenas (Tena, A., 1997). Como efecto adicional, se tiene reportada la ocurrencia de un tsunami con olas hasta de 5 m de altura, entre Manzanillo y Chamela, Jalisco.

Enero 30, 1973. Ms 7.6. Epicentro en la región costera de Michoacán. Los daños mayores, principalmente es estructuras no ingenieriles, se concentraron en el estado de Colima, la parte suroeste de Michoacán y sur de Jalisco. Provoca un tsunami con olas de 1.1 m en Manzanillo.

Junio 3, 1932. Ms 8.2. El evento está catalogado como el más grande del siglo pasado. Ocasionó graves daños principalmente en el estado de Jalisco, donde se alcanzaron intensidades de IX y X en la escala Modificada de Mercalli (MM). En el estado de Colima se tuvo un nivel de daño menor, caracterizado por el grado VIII de MM (Singh et al. 1985). Como consecuencia de este temblor, también se registró un tsunami en Manzanillo, con altura máxima de 2.0 m.

Cabe mencionar que el sismo del día 3, tuvo repeticiones importantes el 18 y 22 de junio, con magnitudes 7.8 y 6.9, respectivamente. El evento del día 22 produjo un tsunami con olas hasta de 10 m en Cuyutlán, penetrando hasta un kilómetro sobre el continente.

3.2.2 Réplicas

De acuerdo con los reportes del SSN, el mayor número de réplicas se registró del 21 al 24 de enero. Las de mayor magnitud ocurrieron el día 22, con 5.3 y 5.7. En la tabla 3.1 se muestran las réplicas reportadas hasta el día 5 de febrero.

Tabla 3.1 Réplicas reportadas por el SSN, del 21 de enero hasta el 5 de febrero de 2003

| Fecha | Hora | Mag | Lat °n | Lon °o | Prof (km) | Region |
|----------|----------|-----|--------|---------|-----------|-----------------|
| 21/01/03 | 20:26:45 | 4.0 | 18.67 | -104.27 | 10 | Costa de Colima |
| 21/01/03 | 20:29:02 | 4.5 | 18.62 | -104.39 | 10 | Costa de Colima |
| 21/01/03 | 22:17:20 | 4.0 | 18.47 | -104.49 | 10 | Costa de Colima |
| 21/01/03 | 22:34:15 | 4.0 | 18.45 | -104.21 | 10 | Costa de Colima |
| 21/01/03 | 22:50:44 | 4.0 | 18.49 | -104.20 | 10 | Costa de Colima |
| 21/01/03 | 23:09:26 | 4.4 | 18.42 | -104.61 | 10 | Costa de Colima |
| 21/01/03 | 23:45:09 | 4.3 | 18.74 | -104.18 | 10 | Costa de Colima |
| 21/01/03 | 23:52:43 | 4.2 | 18.51 | -104.35 | 10 | Costa de Colima |
| 22/01/03 | 00:04:45 | 4.3 | 18.95 | -104.22 | 10 | Costa de Colima |
| 22/01/03 | 03:42:01 | 3.9 | 19.05 | -104.11 | 15 | Costa de Colima |
| 22/01/03 | 09:12:17 | 3.9 | 18.54 | -104.23 | 7 | Costa de Colima |
| 22/01/03 | 13:41:40 | 5.8 | 18.64 | -104.58 | 10 | Costa de Colima |
| 22/01/03 | 13:58:04 | 4.0 | 18.61 | -104.65 | 21 | Costa de Colima |
| 22/01/03 | 14:15:38 | 5.3 | 18.83 | -104.49 | 10 | Costa de Colima |
| 22/01/03 | 17:09:51 | 4.0 | 18.71 | -104.81 | 13 | Costa de Colima |
| 22/01/03 | 19:30:01 | 4.0 | 18.60 | -104.76 | 10 | Costa de Colima |
| 22/01/03 | 22:46:13 | 4.1 | 18.93 | -104.58 | 10 | Costa de Colima |
| 23/01/03 | 00:26:44 | 4.0 | 18.72 | -104.73 | 12 | Costa de Colima |
| 23/01/03 | 02:25:27 | 4.1 | 18.45 | -104.33 | 22 | Costa de Colima |
| 23/01/03 | 04:54:59 | 4.7 | 18.49 | -104.48 | 7 | Costa de Colima |
| 23/01/03 | 11:54:37 | 4.3 | 18.66 | -104.34 | 15 | Costa de Colima |
| 23/01/03 | 13:08:42 | 4.4 | 18.47 | -104.33 | 19 | Costa de Colima |
| 24/01/03 | 00:40:17 | 3.8 | 18.66 | -104.15 | 6 | Costa de Colima |
| 24/01/03 | 01:49:09 | 4.0 | 18.71 | -104.60 | 16 | Costa de Colima |
| 24/01/03 | 03:29:40 | 3.9 | 18.80 | -104.28 | 10 | Costa de Colima |
| 24/01/03 | 04:33:11 | 3.7 | 18.56 | -104.38 | 16 | Costa de Colima |
| 24/01/03 | 05:19:17 | 3.7 | 18.69 | -104.50 | 17 | Costa de Colima |
| 26/01/03 | 02:46:48 | 4.0 | 18.67 | -104.67 | 5 | Costa de Colima |
| 28/01/03 | 05:29:06 | 4.2 | 18.47 | -104.16 | 22 | Costa de Colima |
| 29/01/03 | 13:38:07 | 3.9 | 18.38 | -104.32 | 10 | Costa de Colima |
| 03/02/03 | 21:34:09 | 4.4 | 18.64 | -104.18 | 10 | Costa de Colima |
| 04/02/03 | 10:29:51 | 4.3 | 18.59 | -104.24 | 14 | Costa de Colima |
| 05/02/03 | 21:44:11 | 3.8 | 18.54 | -104.09 | 16 | Costa de Colima |

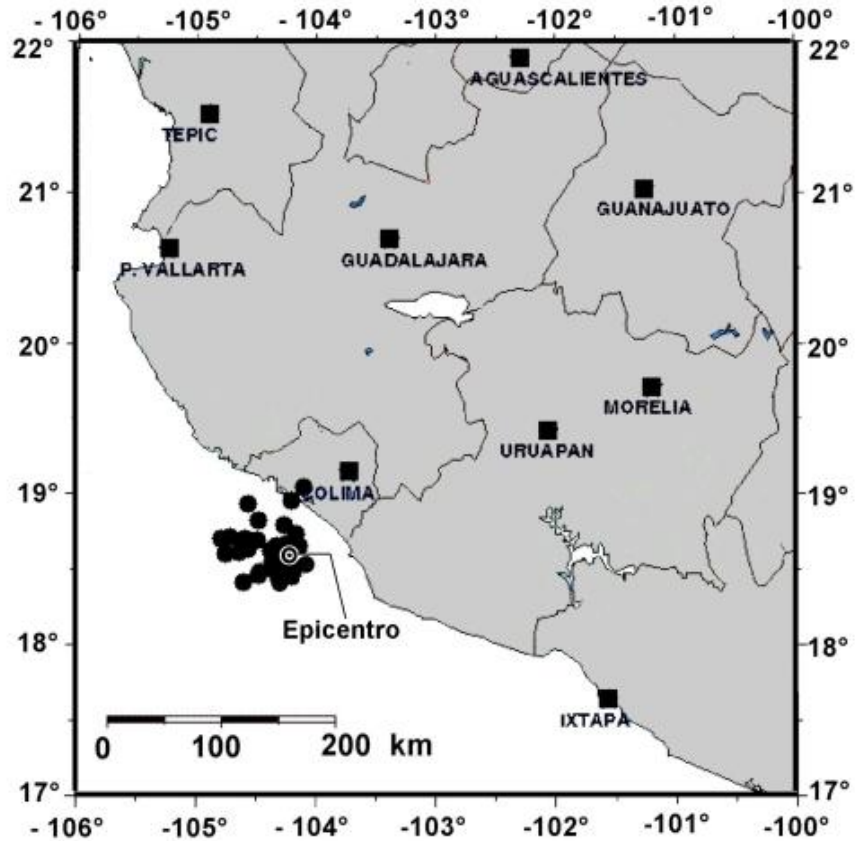


Figura 3.3 Epicentros del evento principal y de las réplicas hasta el día 5 de febrero (Fuente: Servicio Sismológico Nacional)

3.2.3 Aceleraciones del terreno

De acuerdo con un registro obtenido por el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES) en una zona de terreno blando dentro de la planta termoeléctrica de Manzanillo, la aceleración máxima ($A_{m\acute{a}x}$) alcanzó un valor de 323 gal para componente horizontal.

Por otra parte, el SSN cuenta con una estación de banda ancha, ubicada cerca de la ciudad de Colima, con la que se registraron aceleraciones del terreno aunque sólo para los primeros 10 segundos del temblor, debido a una falla instrumental. Los valores máximos ($A_{m\acute{a}x}$), que corresponden esencialmente a ondas P, son 47.8, 70.5 y 72.1 gal, para los componentes NS, EO y vertical, respectivamente. Es probable que en la ciudad de Colima, tomando en cuenta el nivel de daño observado, las aceleraciones máximas hayan alcanzado niveles similares al reportado para Manzanillo.

El sismo también fue registrado por acelerógrafos del CENAPRED, siete en el D.F. y las estaciones de Cuernavaca y Acapulco, así como por estaciones de banda ancha del SSN y acelerógrafos operados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (ver tabla 3.2).

Tabla 3.2 *Aceleraciones máximas, en cm/s^2 , registradas por acelerógrafos del CENAPRED (1), Instituto de Ingeniería de la UNAM-U. de Nevada (2) y Servicio Sismológico Nacional (3). * Corresponden a ondas P, por lo que las aceleraciones para la fase más intensa se estiman por encima de esos valores*

| Estación | Norte Sur | Este Oeste | Vertical |
|-------------------|-----------|------------|----------|
| CENAPRED (1) | 4.31 | -4.57 | -2.70 |
| COYOACÁN (1) | -6.57 | 5.19 | 2.05 |
| IMP (1) | 6.6 | 5.9 | 1.9 |
| TLACOTAL (1) | -16.65 | -13.89 | 4.46 |
| ZARAGOZA (1) | 19.5 | 14.2 | 4.5 |
| U. KENNEDY (1) | 11.6 | 13.2 | 3.0 |
| ROMA C (1) | 20.02 | -15.82 | 4.46 |
| CHAPULTEPEC(1) | -4.42 | -3.91 | 3.35 |
| ESTANZUELA (1) | -2.05 | -2.04 | 1.25 |
| ACAPULCO (1) | 1.96 | 1.54 | 1.29 |
| CUERNAVACA (1) | -6.94 | -8.20 | -4.57 |
| CALETA CAMPOS (2) | 28.1 | 27.8 | 14.7 |
| VILLITA (2) | 10.4 | 11.1 | 6.8 |
| UNION (2) | 12.3 | 8.2 | 8.9 |
| PETATLAN (2) | 3.7 | 3.6 | 3.7 |
| COYUCA (2) | 4.9 | 3.4 | 3.7 |
| COLIMA(3) | >47.8 * | >70.5 * | >72.1* |
| CHAMELA (3) | 38.8 | 6.2 | 15.9 |
| ZIHUATANEJO (3) | 5.4 | 5.4 | 3.7 |
| CAYACO (3) | 1.4 | 1.5 | 1.2 |
| ZACATECAS (3) | 1.6 | 2.0 | 2.6 |
| IGUALA (3) | 7.8 | 3.4 | 4.0 |
| CU – D.F. (3) | 4.2 | 4.2 | 2.0 |
| YAUTEPEC (3) | 3.2 | 2.2 | 2.1 |
| MAZATLÁN (3) | 0.65 | 0.41 | 0.39 |
| TEHUACAN (3) | 4.2 | 2.3 | 3.0 |
| PINOTEPA (3) | 0.99 | 0.41 | 0.97 |
| OAXACA (3) | 3.6 | 2.3 | 2.0 |
| MATÍAS ROMERO (3) | 1.2 | 0.42 | 0.62 |
| COMITAN (3) | 0.64 | 0.37 | 0.44 |

3.2.4 Aceleraciones del terreno en la Ciudad de México

El CIRES publicó datos de aceleraciones registradas mediante la Red Acelerográfica de la Ciudad de México (RACM), que cuenta con 64 estaciones de superficie, cubriendo las zonas de lago, transición y terreno firme.

Empleando conjuntamente los valores de aceleraciones máximas ($A_{m\acute{a}x}$) reportados por CIRES y aquellos obtenidos por CENAPRED, se construyó un mapa de aceleraciones máximas para la ciudad de México (Fig. 3.4).

El nivel más alto de aceleración se registró en la estación Xochimilco (CIRES) con 48.4 gal.

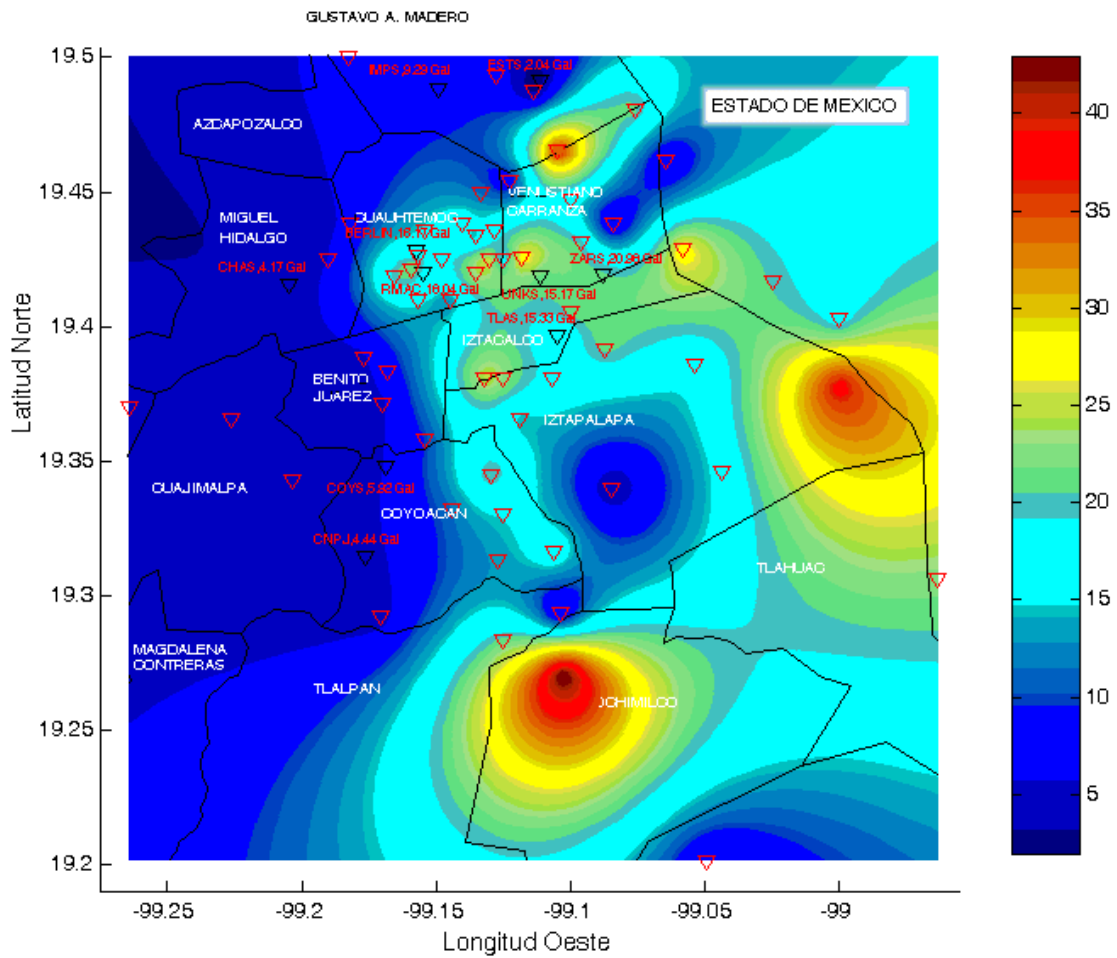


Figura 3.4 Distribución de aceleraciones máximas en la Ciudad de México con base en datos de estaciones de CIRES Y CENAPRED

3.2.5 Mapa de intensidades sísmicas

Para la construcción del mapa de intensidades, con base en la Escala Modificada de Mercalli, se consideraron las descripciones de daños y efectos en el terreno por parte del personal del CENAPRED que visitó las zonas de mayor afectación, los reportes generados por autoridades federales y estatales de Protección Civil, consultas telefónicas y notas periodísticas.

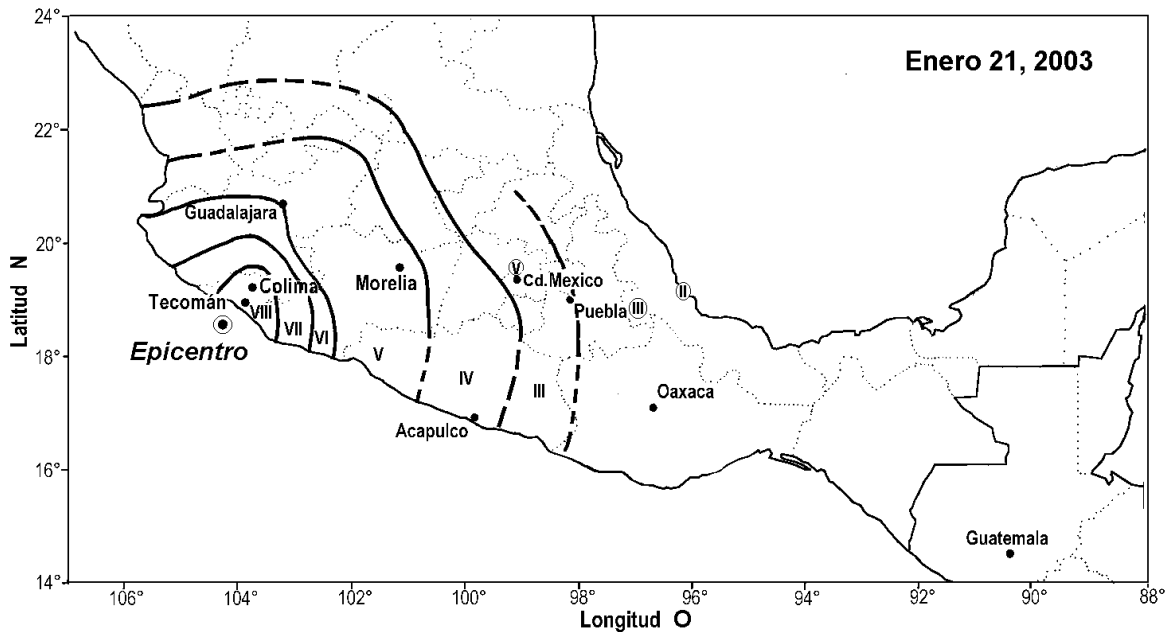


Figura 3.5 Mapa de intensidades Sísmicas

Los máximos niveles de intensidad, VII y VIII, se asignaron en el estado de Colima y parte de los estados vecinos, Michoacán y Jalisco.

Las isosistas muestran una elongación en sentido Norte-Noreste, lo que sugiere un efecto de directividad en la salida de la energía de la fuente sísmica. Dicho efecto de directividad fue verificado por Singh et al., 2003, de manera analítica, resultando una trayectoria con un ángulo N38°. Lo anterior puede explicar el que los mayores daños se hayan concentrado en poblaciones como Tecomán, Armería y la ciudad de Colima, mientras que el nivel de daño en Manzanillo fue relativamente menor.

La tendencia a la elongación de las isosistas, correspondiendo a un efecto de directividad, ha sido observada anteriormente, como es el caso del sismo de Tehuacán, ocurrido el 15 de junio de 1999, Mw 7.0, (Singh, et al., 1999).

Para conocer la frecuencia con que se han presentado daños severos, a partir de 1900, en las ciudades de Colima y Manzanillo como consecuencia de grandes sismos con epicentro cercano al estado de Colima, se muestra la Tabla 3.3. Se observa que, para ese periodo, intensidades de VII o mayores han ocurrido siete veces para Colima y al menos, seis para Manzanillo. Lo anterior implica, de manera general, que en la región se han tenido daños severos en promedio cada 15 años.

Tabla 3.3 Frecuencia de daños en las ciudades de Colima y Manzanillo a partir de 1900

| Fecha | Magnitud | Manzanillo | Ciudad de Colima |
|-----------------|----------|------------|------------------|
| Enero 20, 1900 | M 7.4 | - | VIII |
| Junio 3, 1932 | Ms 8.2 | VIII | VIII |
| Junio 18, 1932 | Ms 7.8 | VIII-IX | IX |
| Abril 15, 1941 | Ms 7.6 | VIII | X |
| Enero 30, 1973 | Mw 7.6 | VIII | VIII |
| Octubre 8, 1995 | Mw 8.0 | VIII-IX | VII |
| Enero 22, 2003 | Mw 7.4 | VII-VIII | VIII |

3.2.6 Estudios previos en la Ciudad de Colima

Como parte de una estrategia a nivel nacional, el CENAPRED realiza estudios de microzonificación sísmica en ciudades ubicadas en zonas de alta sismicidad y que, al mismo tiempo, poseen una infraestructura creciente.

En 1996 se publicaron los resultados de una campaña de microzonificación sísmica en la ciudad de Colima que incluyen, entre otros, las frecuencia dominante en algunos sitios, con base en sismos de magnitud moderada, y dos perfiles de velocidades de ondas de corte en dos sitios característicos de la zona urbana (Gutiérrez et al., 1996).

3.2.7 Geología superficial

El terreno sobre el que se asienta la zona urbana está constituido por (Fig 3.6):

Conglomerados, principalmente en la parte Este de la ciudad

Intercalaciones de arenas y conglomerados predominantes en la parte Oeste del área urbana

Aluviones, producto básicamente del acarreo de ríos, depositados en el sur de la ciudad utilizados principalmente con fines agrícolas

Brecha volcánica andesítica sobre la que se han desarrollado la mayor parte de las obras civiles y se concentra más del 50% de la población; se extiende principalmente en la parte norte. El espesor total de los depósitos de avalancha volcánica debajo de la ciudad puede llegar a ser hasta de 700 m según estudios geológicos (Navarro, Cortés, Universidad de Colima, comunicación personal) y geofísicos, (López y Gutiérrez, 1977).

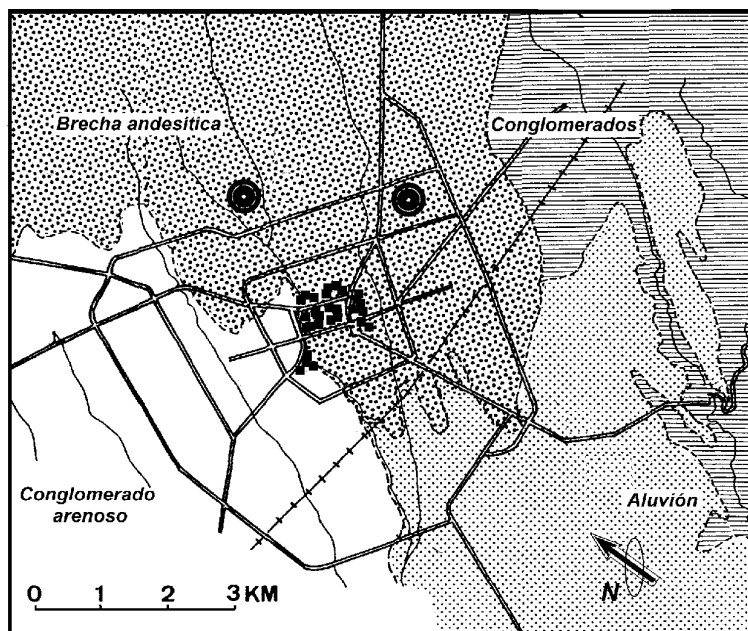


Figura 3.6 Geología superficial en la ciudad de Colima. Se señalan, en la zona centro, las áreas con mayores daños como consecuencia del sismo del 21 de enero de 2003 y la ubicación de dos pozos exploratorios con profundidad de 50 m

3.2.8 Velocidades de ondas sísmicas en pozos del área urbana

Se perforaron dos pozos con profundidad de 50 m, con el fin de conocer las velocidades de ondas P y S en las primeras capas, cuya respuesta ante la excitación sísmica es significativa para las construcciones (Fig. 3.7).

Para ello se utilizó un sistema de sonda suspendida que, a diferencia de otros métodos para la observación de velocidades de ondas sísmicas a diferentes profundidades, alcanza un mayor nivel de precisión debido principalmente a que la fuente y los detectores se encuentran en el mismo cuerpo (Fig. 3.8)

Los pozos se ubicaron sobre brecha volcánica, material donde se encuentra desplantada, gruesamente, poco más de la mitad de las construcciones y sobre el cual tiende a crecer la ciudad, en sentido norte, para alcanzar mayores alturas y, en consecuencia, temperaturas relativamente menores.

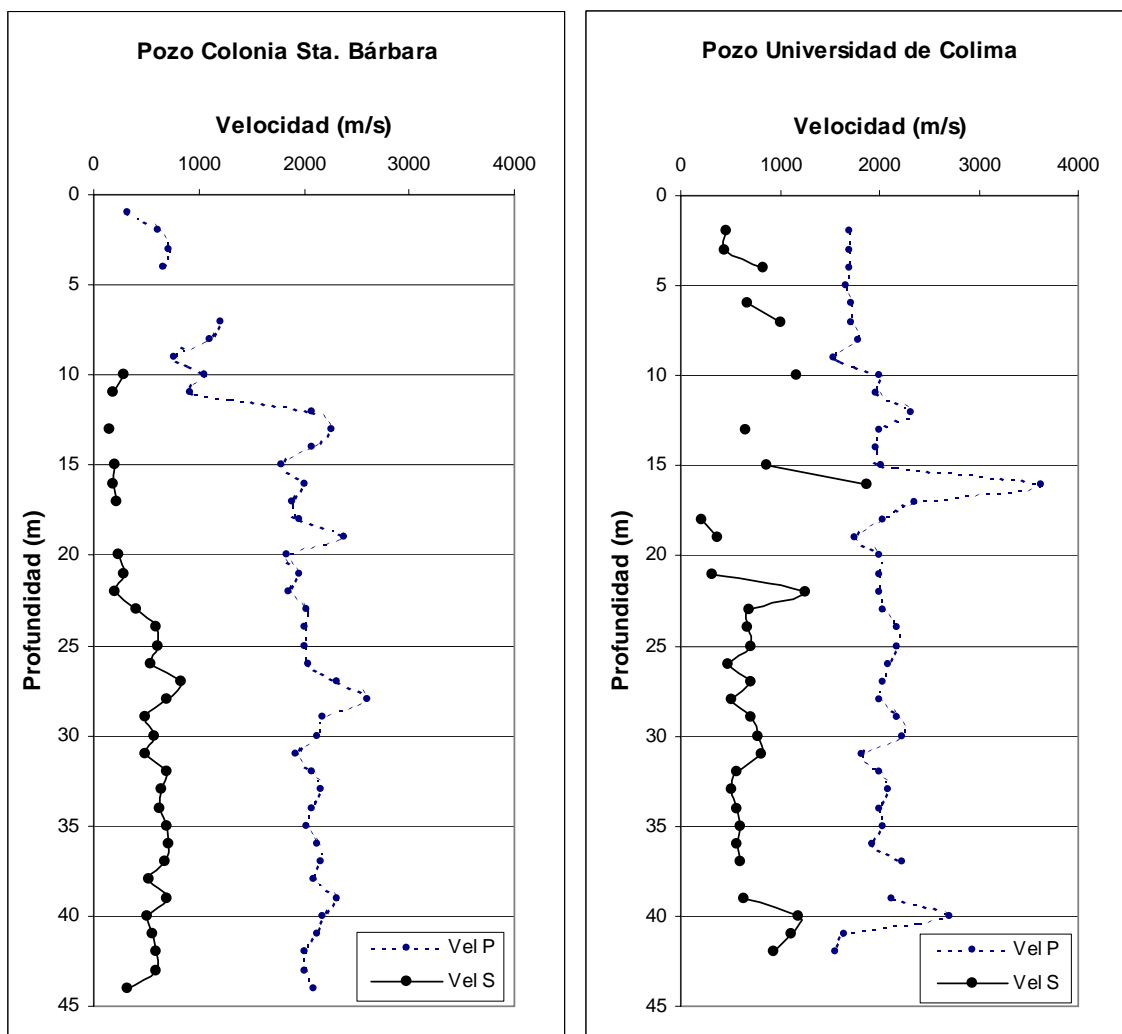


Figura 3.7 Perfiles de velocidades de ondas P y S en pozos en la ciudad de Colima

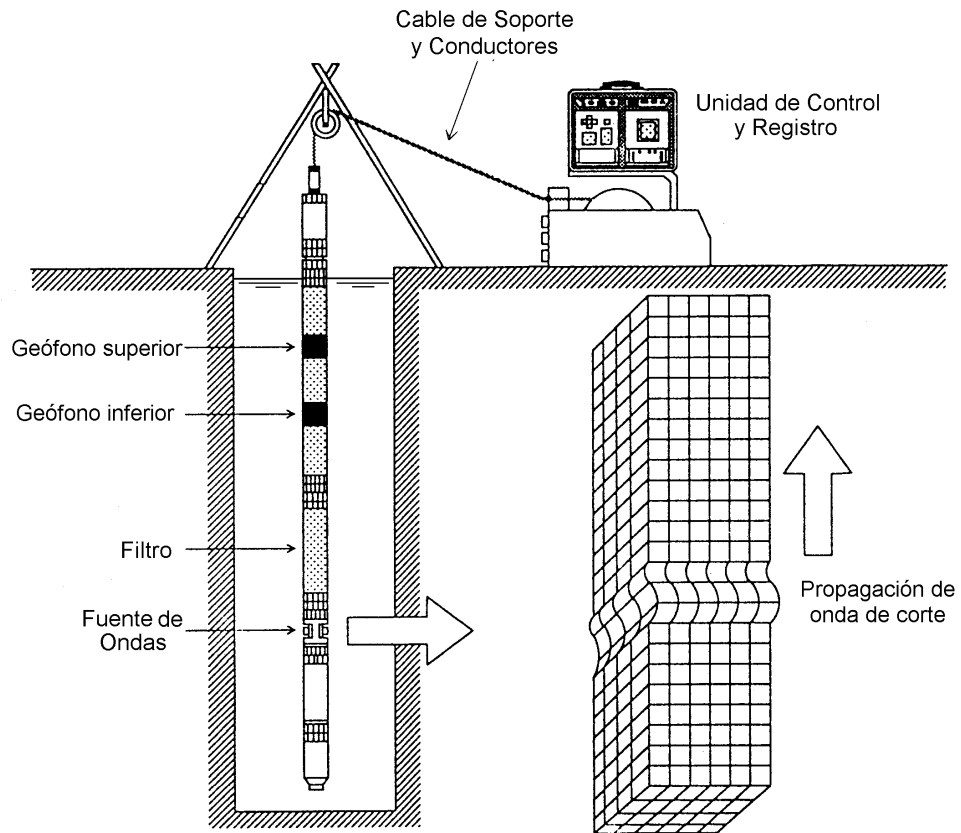


Figura 3.8 Sistema de sonda suspendida empleado para la determinar perfiles de velocidades P y S en pozos

3.2.9 Frecuencia dominante del terreno y amplificación de las ondas

A partir de los perfiles mencionados y de la información geológica a profundidad, se planteó un modelo de capas planas y horizontales (Tabla 3.4), que se utilizó para calcular una función de trasferencia ante incidencia de ondas SH (Santoyo, 1991), que representa las amplificaciones a que se someten las ondas al propagarse por un medio elástico (Fig.3.9).

Tabla 3.4 Modelo de capas planas y horizontales propuesto para la zona urbana de Colima

| Espesor (m) | Velocidad (m/s) |
|-------------|-----------------|
| 20 | 220 |
| 780 | 600 |
| Semiespacio | 1700 |

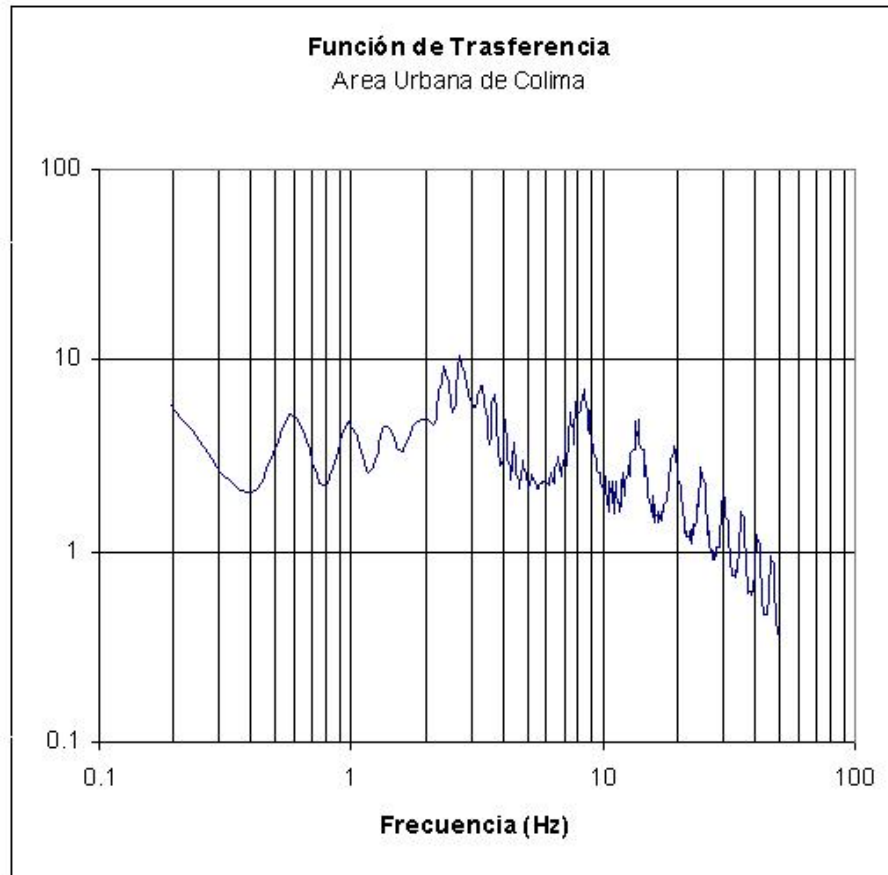


Figura 3.9 *Función de transferencia propuesta para la ciudad de Colima*

De la función de transferencia teórica se desprende que la frecuencia dominante se ubica alrededor de 2.5 Hz, mientras que el grado de amplificación es cercano a 10 veces.

Por otra parte, mediante el cálculo de funciones de transferencia empíricas, empleando sismos de magnitud moderada (M_c 3.2 a 4.5) registrados en la zona urbana de Colima, se determinó que las frecuencias dominantes en la zona centro de la ciudad y en el campus de la Universidad de Colima se encuentran alrededor de 2.25 y 2.5 Hz, mientras que la amplificación observada, para ondas S, fue hasta de 5 veces (Gutiérrez et al., 1996).

Si bien la función de transferencia no predice un grado de amplificación como el observado, la frecuencia dominante $f = 2.5$ Hz ($T = 0.4$ s) se muestra consistente en el caso teórico así como en las observaciones de campo.

BIBLIOGRAFÍA

Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES), “Colección de Acelerogramas Obtenidos con Estaciones de la Red Acelerográfica de la Ciudad de México Durante el Sismo de Colima Ocurrido el 21 de Enero de 2003”.

Gutiérrez, C. , K. Masaki, J. Lermo y J. Cuenca (1996), “Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Colima”, Serie Cuadernos de Investigación CENAPRED No. 33.

Harvard University. Central Moment Tensor Catalog. <http://www.seismology.harvard.edu/>

Kostoglodov, V. and W. Bandy (1995), Seismotectonics constraints on the convergence rate between the Rivera and North American plates, *J. Geophys. Res.* 100, 17977-17989.

López, H. y C. Gutiérrez (1977), “Pseudosecciones Eléctricas e Implicaciones Geohidrológicas en el Valle de Colima”, *geofísica Internacional*, Vol. 17, No. 2.

Santoyo, M. (1991), “Programas para el Cálculo de Funciones de Tránsito y Sismogramas Sintéticos para un Modelo Unidimensional de Subsuelo, ante la Incidencia de Ondas Tipo SH”, Informe del CENAPRED, RG/03/91.

Singh, S.K., L. Ponce and P. Nishenko (1985), The great Jalisco, Mexico, earthquakes of 1932: Subduction of the Rivera plate. *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 75, No. 5, pp 1301-1313.

Singh, S.K. and G. Suárez (1988), “Regional variation in the number of aftershocks ($m_b \geq 5$) of large subduction zone earthquake ($M_w \geq 7$)”, *Bull. seism. Soc. Am.* 78, 230-244.

Singh S.K, J. F. Pacheco, L. Alcántara , G. Reyes, M. Ordaz, A. Iglesias, S. Alcocer, C. Gutierrez, C. Valdés, V. Kostoglodov, Carlos Reyes, R. Quaas, J.G. Anderson, T. Mikumo. A Preliminary Report on the Tecomán, Mexico Earthquake of 22 January 2003 ($M_w 7.4$) Enviado para su publicación a *Seismological Research Letters*.

S.K. Singh, M. Ordaz, J.F. Pacheco, R. Quaas, L. Alcántara, S. Alcocer, C. Gutiérrez, R. Meli and E. Ovando. A Preliminary Report on the Tehuacán, México Earthquake Report of June 15, 1999 ($M_w 7.0$). *Seismological Research Letters* Vol. 70, No. 5

Tena, A. (1997), “El Macrosismo de Manzanillo del 9 de Octubre de 1995”, Universidad de Colima, Gobierno del Estado de Colima y Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.

CAPÍTULO 4

EDIFICIOS INSTRUMENTADOS

Roberto Durán

4.1 INTRODUCCIÓN

En este Capítulo, se hace una breve descripción y análisis de los registros sísmicos de dos edificios instrumentados a cargo del CENAPRED.

4.2 INFORMACIÓN OBTENIDA DE EDIFICIOS INSTRUMENTADOS POR EL CENAPRED EN LA CIUDAD DE MÉXICO

4.2.1 Tipología de los edificios instrumentados

4.2.1.1 Edificio B y L

El edificio fue diseñado y construido en la década de los años sesenta bajo las disposiciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1966 (RDF-66) que era el que encontraba en vigor. De acuerdo con éste, la demanda de resistencia elástica (coeficiente sísmico) que correspondía al tipo de estructura y suelo era $c = 0.06$.

La estructura fue desplantada en lo que se conoce como zona de lago (terreno Tipo III) de acuerdo con la microzonificación sísmica del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1993 (RDF-93). La estructura es regular tanto en planta como en elevación. Cuenta con tres crujías en ambas direcciones. En la dirección E-O, las dos crujías extremas tienen una longitud de 4.45 m y la central de 5.60 m. En la dirección N-S, las crujías extremas son de 5.10 m, mientras que la intermedia es de 5.30 m.

En elevación, el edificio tiene 11 niveles por arriba del nivel de suelo con alturas de 3.0 m en el primer entresuelo y 2.60 m en los restantes (Fig. 4.1 y 4.2) El sistema de piso es una losa de 40 cm de espesor en el primer nivel y las restantes de 30 cm, aligerada con bloques de cemento-arena. El sistema utilizado para resistir cargas laterales está compuesto por losa plana y columnas rectangulares, una práctica comúnmente usada en la ciudad de México hasta antes del sismo de 1985. La cimentación es mediante un cajón de 2.50 m de profundidad además de 52 pilotes de fricción hincados hasta una profundidad de 27 m.

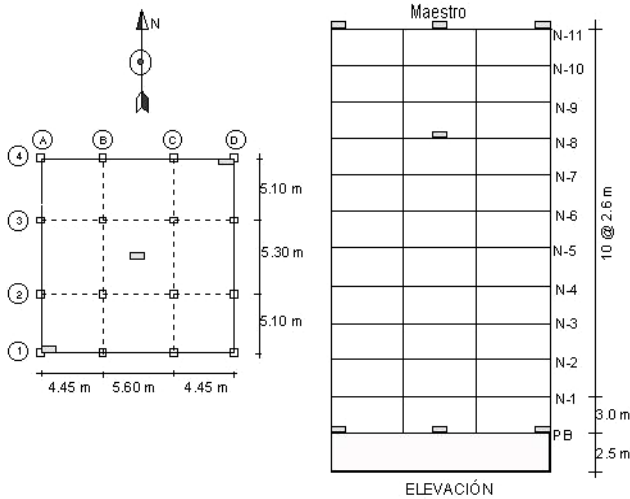


Figura 4.1 Planta y elevación del edificio B y L



Figura 4.2 Arreglo del sistema de contraventeo y su instrumentación

La instrumentación sísmica del edificio está compuesta por siete acelerógrafos triaxiales interconectados en un arreglo de maestro-esclavo, distribuidos en forma tal que permitiera identificar las principales características dinámicas de las estructuras como: periodo fundamental (T_0), porcentaje de amortiguamiento crítico (ξ), formas modales, cortantes de entrepiso, oscilaciones de torsión, amplificaciones y/o de amplificaciones.

Los siete instrumentos se encuentran en operación pero desafortunadamente los instrumentos colocados en base centro y azotea norte no dispararon en este evento. Como se puede observar en la Fig. 4.1 tanto a nivel de terreno como en la azotea, se encuentran instalados tres instrumentos, uno en la parte central y dos en esquinas opuestas. El séptimo instrumento se encuentra colocado en el octavo nivel. El instrumento de azotea centro opera como el maestro y es el que dispara los demás acelerógrafos. Se debe señalar que por motivos de espacio no fue posible instalar un instrumento que permitiera registrar las aceleraciones del terreno dentro del predio y así conocer la señal de entrada a la base del edificio, por lo que se recurrió a una estación que se encuentra cercana a éste. La estación es conocida como Li58 la cual se encuentra localizada a escasa distancia del edificio, en la calle de Liverpool de la colonia Juárez y está a cargo del *Centro de Instrumentación y Registro Sísmico* (CIRES). En este proyecto esta estación se tomó como la correspondiente a campo libre.

Desde el año de 1999 que fue cuando se puso en operación a la fecha, se han registrado varios movimientos sísmicos, de los cuales se han seleccionado los de mayores intensidades. En la Tabla 4.1 se muestran las principales características de los eventos. En esta tabla también se presentan las aceleraciones resultado de la medición de ruido ambiental, monitoreado al momento de la instalación de los equipos. Como se puede observar, las máximas aceleraciones corresponden al evento del 15 de junio de 1999 a pesar de no ser el de mayor magnitud pero si el de menor distancia epicentral. También se debe notar que la dirección E-O es la que presenta las aceleraciones máximas excepto en el evento del 30 de septiembre y se puede atribuir a que este evento es el mayor distancia epicentral. De evaluaciones visuales realizadas tras estos eventos, se ha observado que la estructura ha permanecido sin daño.

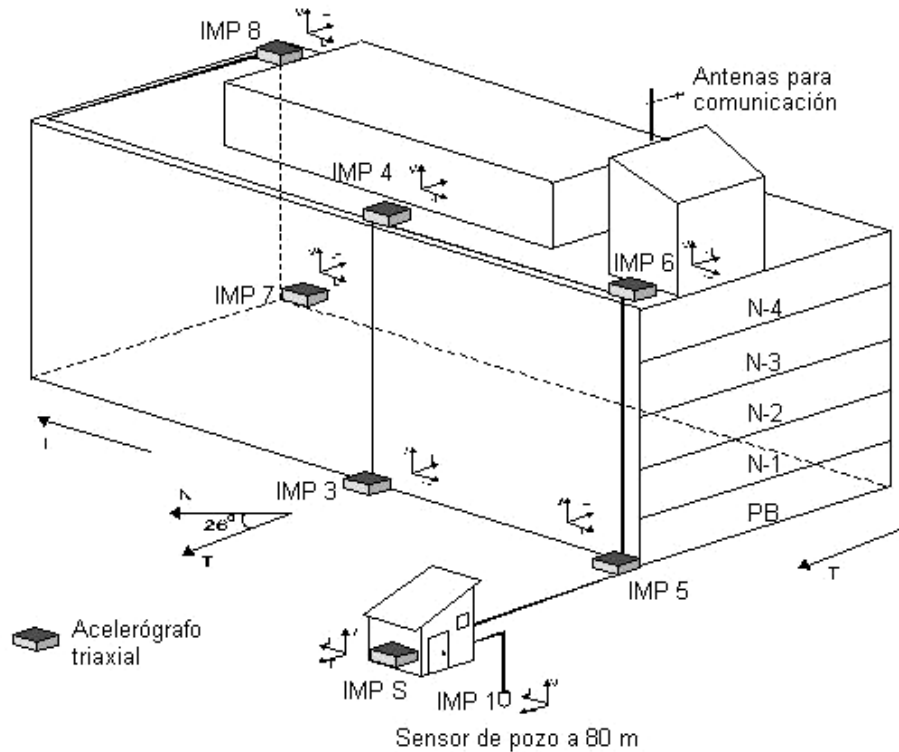
Tabla 4.1 Aceleraciones máximas registradas en el edificio B y L

| Evento | Magnitud | Distancia Epicentral (km) | Aceleración Máxima (cm/s ²) Azotea centro/ Sótano centro | | | Aceleración Máxima (cm/s ²) Azotea sur/ Sótano sur | | |
|------------------|----------|---------------------------|--|-------------|-----------|--|-----------|-----------|
| | | | E-O | N-S | V | E-O | N-S | V |
| | | | | | | | | |
| Ruido Ambiental | --- | --- | -0.81/-- | -0.87/-- | 0.91/-- | --- | --- | --- |
| Junio 15, 1999 | Mw 7.0 | 224 | -122/-26.7 | 107/25.1 | 12.3/10.3 | --- | --- | --- |
| Junio 21, 1999 | Ms 5.8 | 313 | -20.8/-7.4 | 17.6/-4.7 | 2.63/-2.0 | --- | --- | --- |
| Julio 5, 1999 | Ms 5.0 | 306 | 2.36/-0.77 | -1.65/-0.5 | 0.46/-1.2 | 2.53/-0.7 | 1.67/-0.5 | 0.49/0.42 |
| Julio 12, 1999 | Ms 4.7 | 395 | -2.71/0.55 | 2.31/0.6 | 0.43/-0.5 | -2.7/0.5 | 2.38/0.6 | 0.44/0.36 |
| Sep 30, 1999 | Mw 7.5 | 439 | -64.3/25.6 | -82.5/37 | 7.3/-5.1 | -62.7/25.6 | -84.5/-37 | 14.5/13.0 |
| Octubre 29, 2001 | Mc 6.1 | 296 | -20.45/5.48 | -21.2/-6.95 | 3.4/2.5 | --- | --- | --- |
| Enero 21, 2003 | Mw 7.4 | 584 | -24.1/-- | -43.9/-- | -5.0/-- | -24.0/10.7 | -43.5/-20 | -8.1/-7.4 |

4.2.1.2 Descripción del Edificio IMP

El edificio se encuentra desplantado en la parte norte de la ciudad de México en terreno clasificado como Tipo III (zona de transición) de acuerdo con la microzonificación sísmica del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1993 (RDF-93).

La estructuración que presenta el edificio es a base de columnas y vigas de concreto presforzado y tiene cinco niveles. En la dirección longitudinal cuenta con 20 crujiás de 3.3 m cada una sin existir juntas constructivas. En la dirección transversal sólo tiene una crujiá de 14.7 m, por lo que su relación largo a ancho es de 4.5 m. La altura de entrepiso es de 4.05 m en el primero y de 3.85 m en los entrepisos restantes (Fig. 4.3).

**Figura 4.3 Vista general del edificio IMP y su instrumentación**

Las columnas de la estructura son de una sola pieza, es decir, son continuas desde el primer nivel hasta el quinto y su forma es la conocida como “árbol de navidad” con elementos de soporte horizontales, paralelos a la dirección larga del edificio, con una longitud igual a la mitad del claro en esta dirección. Las vigas en la dirección transversal son de sección “T” y peralte de 70 cm y descansan sobre ménsulas que son parte de las columnas.

La cimentación está resuelta mediante un cajón de 2.5 m de profundidad y contratrabes en ambas direcciones.

La instrumentación de el edificio IMP en la actualidad consta de 8 acelerógrafos triaxiales colocados de la siguiente forma (Fig. 4.3): tres en la azotea en forma diagonal, tres en la base coincidentes con los de azotea, uno más fuera del edificio el cual se considera la estación de campo libre y el último que es un sensor de pozo a 80 m de profundidad con los cuales ha sido posible registrar las aceleraciones producto de movimientos de terreno. En la Tabla 4.2 se presentan las principales características de los eventos y las máximas aceleraciones registradas. Al igual que la estructura anterior, el edificio ha permanecido sin daño. También en este edificio hubo dos instrumentos que tuvieron problemas, azotea poniente y sótano poniente, y no registraron las aceleraciones.

Tabla 4.2 Aceleraciones máximas registradas en el edificio IMP

| Evento | Magnitud | Distancia Epicentral (km) | Aceleración Máxima (cm/s ²) Azotea centro/ Sótano centro | | | Aceleración Máxima (cm/s ²) Azotea sur/ Sótano sur | | |
|------------------|----------|---------------------------|--|-------------|-----------|--|-------------|-----------|
| | | | E-O | N-S | V | E-O | N-S | V |
| Mayo 31, 1990 | Ms 5.8 | 305 | 22.58/-7.6 | 17.0/-6.8 | 1.9/-1.5 | --- | --- | --- |
| Mayo 15, 1993 | Ms 5.9 | 340 | 27.8/6.8 | 10.2/4.5 | -1.9/-1.6 | --- | --- | --- |
| Octubre 24, 1993 | Ms 6.6 | 329 | -44.7/-7.4 | 19.3/-9.4 | 2.5/1.9 | --- | --- | --- |
| Mayo 23, 1994 | Ms 6.2 | 216 | -19.9/-7.4 | -18.9/-7.8 | -5.9/-4.4 | --- | --- | --- |
| Dic 10, 1994 | Ms 6.4 | 294 | -44.2/8.4 | -14.0/7.2 | -2.8/-2.5 | --- | --- | --- |
| Sep 14, 1995 | Ms 7.2 | 309 | -75.4/19.3 | -50.7/-22.9 | 6.4/5.5 | --- | --- | --- |
| Octubre 9, 1995 | Ms 7.6 | 517 | 12.8/-3.7 | -8.5/-6.2 | -1.8/-1.4 | --- | --- | --- |
| Julio 15, 1996 | Ms 6.5 | 310 | 28.0/6.2 | -14.9/-5.9 | 4.4/2.9 | 0.2/6.2 | 16.7/-6.1 | 4.1/3.5 |
| Enero 11, 1997 | Ms 5.9 | 446 | -32.7/13.3 | -22.3/11.6 | 4.7/2.6 | -33.7/13.5 | -21.4/10.7 | 3.3/-2.9 |
| Mayo 22, 1997 | Ms 6.0 | 303 | -15.9/3.5 | -16.9/7.1 | 1.6/-1.3 | -15.8/-3.6 | -12.5/-6.6 | 1.7/1.5 |
| Junio 15, 1999 | Mw 7.0 | 227 | -121.7/-22.4 | -53.6/22.9 | 12.9/9.7 | -134.6/-22.6 | 57.1/-22.7 | 13.6/9.8 |
| Junio 21, 1999 | Ms 5.8 | 317 | 17.9/-3.6 | 14.8/-4.7 | 1.8/-1.6 | 18.6/-3.7 | -14.1/-5.4 | 2.6/2.2 |
| Sep 30, 1999 | Mw 7.5 | 456 | 54.3/16.7 | -46.5/16.2 | 7.5/5.6 | 54.6/16.4 | -47.7/-17.5 | 7.3/5.8 |
| Enero 21, 2003 | Mw 7.4 | 590 | 23.6/-8.0 | -12.9/8.7 | 2.1/2.0 | 23.5/-8.1 | 16.1/-7 | -2.2/-2.2 |

4.2.2 Registros sísmicos

Los movimientos sísmicos producidos por el evento de Tecmán, Col., fueron percibidos en gran parte de la ciudad de México, accionando los instrumentos de registro de aceleraciones ya que los umbrales de disparo fueron rebasados en los sitios donde se encuentran localizados los edificios.

En la Figs. 4.4 y 4.5 se presentan los acelerogramas registrados en los dos edificios instrumentados para la azotea y base.

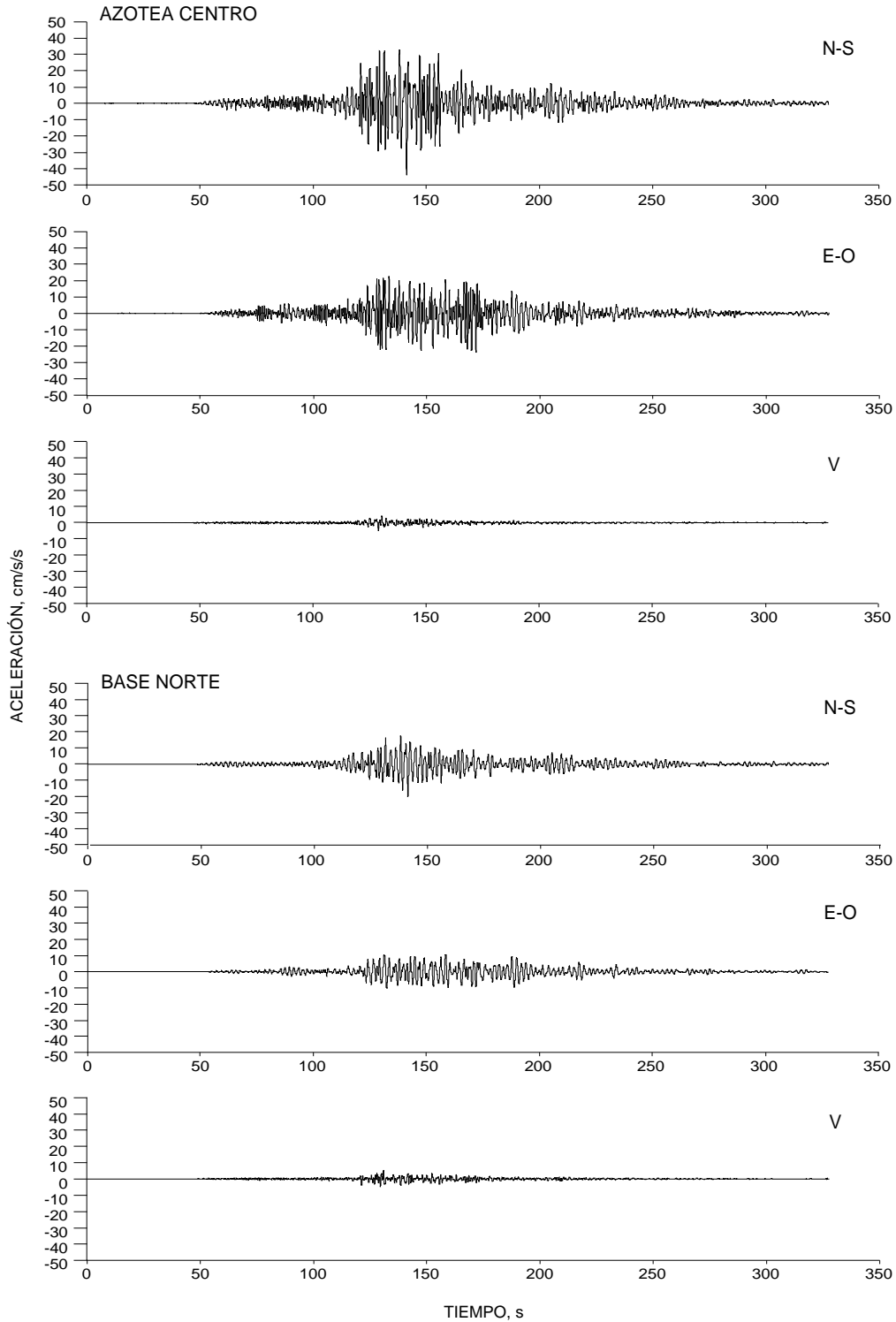


Figura 4.4 Historia de aceleraciones registradas en el edificio B y L

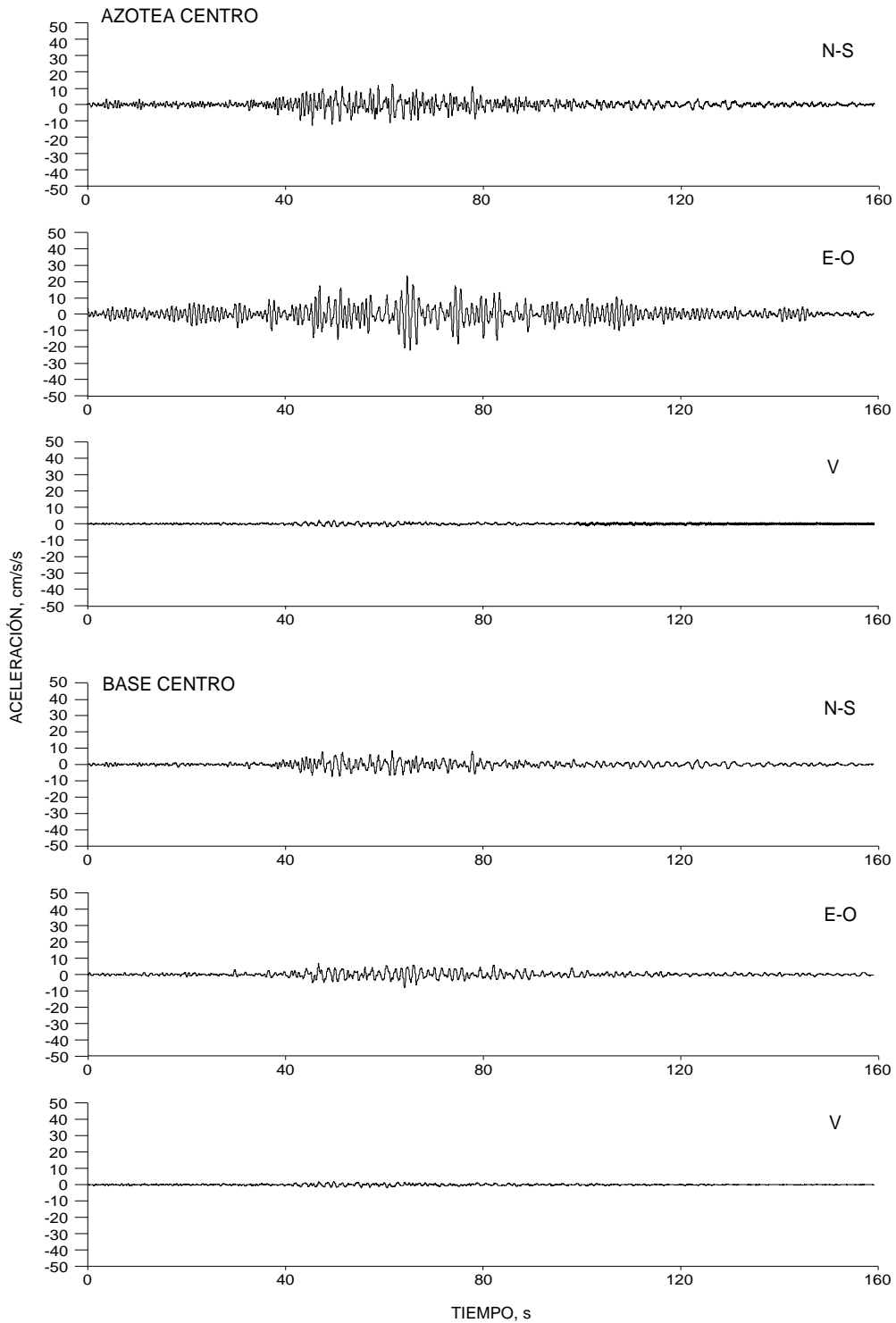


Figura 4.5 Historia de aceleraciones registradas en el edificio IMP

Con la ayuda de los espectros de amplitudes de Fourier, los cuales no se presentan en este informe, se calcularon los cocientes espectrales (funciones de transferencia) de los instrumentos de azotea centro y base sur en el edificio B y L (Fig. 4.6) y azotea centro a base centro del edificio IMP

(Fig. 4.7), para las direcciones N-S y E-O. Como se puede observar, en la Figura 4.7 se aprecia que las máximas amplificaciones ocurren a una frecuencia alrededor de 1.2 Hz ($T=0.83$ s) en ambas direcciones. Para el edificio IMP, estas amplificaciones ocurren a frecuencias de 2 y 1 Hz para la dirección N-S y E-O, respectivamente. Estos valores comparados con el análisis de otros eventos sísmicos resultan muy similares, con lo que se confirma la ausencia de daño observado después cada evento sísmico.

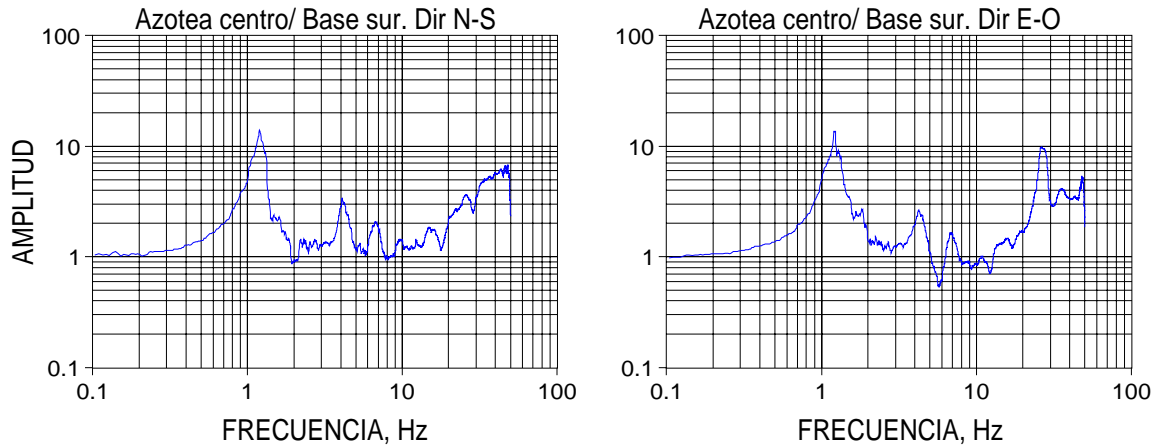


Figura 4.6 Cocientes espectrales, edificio B y L

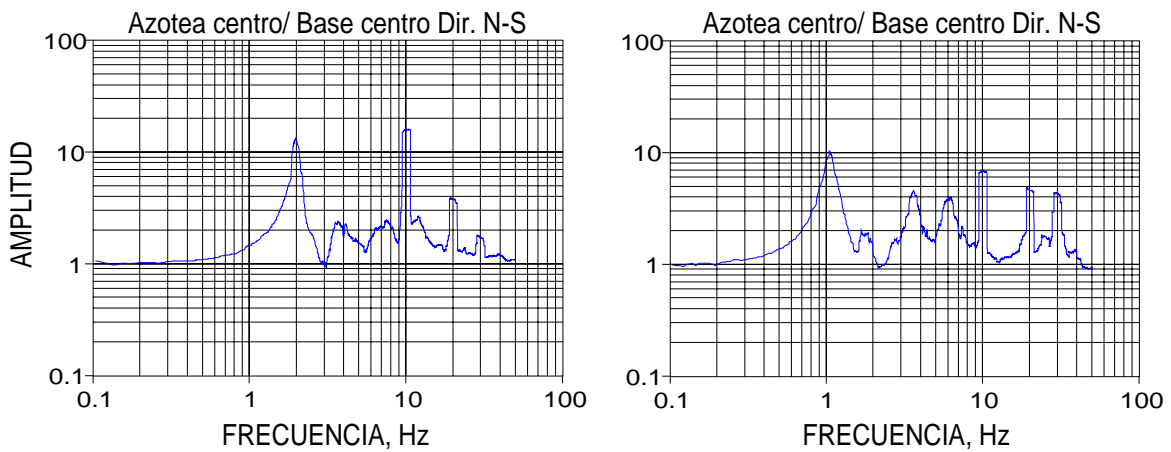


Figura 4.7 Cocientes espectrales, edificio IMP

CAPÍTULO 5

ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Leobardo Domínguez y Manuel J. Mendoza

5.1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo con información publicada por el Servicio Sismológico Nacional, el sismo se localizó muy cerca de las costas del estado de Colima, en las coordenadas 18.22° Lat. N y 104.6° Long. W, con magnitud 7.6 en la escala de Richter, a una profundidad aproximada de 10 km. Aun cuando el evento sísmico fue de una magnitud importante y la fuente se localizó a relativa poca profundidad, los daños y pérdidas por cuestiones geotécnicas fueron comparativamente menores en comparación con los ocurridos en obras de infraestructura y vivienda, pero sin dejar de ser importantes. Ello se debió a que muchos de los fenómenos geotécnicos ocurrieron en zonas poco pobladas, como fueron varios casos de deslizamientos de laderas y licuación de suelos. Sin embargo, es probable que el mayor daño por cuestiones geotécnicas se haya presentado en el municipio de Villa de Álvarez, Colima, debido a las condiciones particulares del terreno.

Si bien el evento sísmico del 21 de enero provocó daños importantes en viviendas, escuelas, iglesias, edificios públicos y obras de infraestructura en los estados de Colima, Jalisco y Michoacán, donde se tiene una gran variedad de suelos y formaciones geológicas, los principales daños y problemas de índole geotécnica se concentraron en el estado de Colima, y en menor grado, en algunos municipios circunvecinos de los estados de Jalisco y Michoacán.

Los principales problemas geotécnicos que afectaron a la población y a las obras de ingeniería fueron los fenómenos de licuación de suelos, los problemas de inestabilidad de laderas y los casos de hundimientos o agrietamientos del terreno; estos últimos sucedieron principalmente en la zona urbana del municipio de Villa de Álvarez, debido a las condiciones particulares del terreno y a la posible existencia de cavernas creadas por la explotación a cielo abierto de antiguas minas de arena, rellenas con materiales no compactados, en combinación con el fenómeno de licuación de suelos.

5.2 MARCO GEOLÓGICO

En términos generales se puede decir que Colima se encuentra ubicada en los límites del Eje Neovolcánico Transmexicano y de la Sierra Madre del Sur, caracterizados por los afloramientos de rocas volcánicas del Cretácico y del Pleistoceno que se extienden por el poniente, centro y norte del estado; rocas metamórficas al centro y sur, y depósitos marinos del Cretácico en las zonas costeras. Estos depósitos marinos se encuentran superficialmente intemperizados por las condiciones climáticas de la zona, y están constituidos principalmente por conglomerados de gravas andesíticas con partículas sub-redondeadas, englobadas en una matriz de suelos areno-limosos y con estratificaciones de arena. Se observa sobre la carretera a Tecomán la presencia de yesos en contacto discordante, ya sea con calizas o con margas (Silva y Esquivel, 1976).

Existen también depósitos aluviales a lo largo de los arroyos y ríos que convergen en el estado y desembocan en el océano Pacífico, dando origen a estratos de suelos arenosos y limo-arenosos poco consolidados. Estos suelos se distribuyen en el estado de Colima a lo largo de los

deltas y abanicos aluviales de los ríos que se extienden hasta los límites de las costas y lagunas del Pacífico.

La generación de suelos por su parte, atiende al régimen geoclimático imperante en la región, mayormente influenciado por los huracanes, que determinan los regímenes geohidrológicos y los de intemperización, alteración, erosión, arrastre y depositación. En las franjas costeras se dan condiciones para que existan suelos de estructuras potencialmente inestables que, bajo sollicitaciones sísmicas, pueden sufrir colapso, densificación, licuación o grandes desplazamientos y deformaciones. Se trata de suelos arenosos de granulometrías uniformes, transportados y depositados por vía eólica, aluvial o marina. En los valles interiores también pueden estar presentes suelos de estructuras potencialmente inestables bajo sismo. En las laderas de cerros, montañas y barrancas se pueden encontrar suelos residuales de estructuras potencialmente inestables, dado el clima y la acción del agua y del viento que favorecen una alteración intensa y acelerada (Ovando et al., 1997).

Morfológicamente, la ciudad de Colima se sitúa en una meseta que presenta una ligera inclinación hacia el Suroeste. La zona está drenada por arroyos y ríos, de los cuales el más importante es el río Colima. La intensa actividad volcánica y movimientos tectónicos del Terciario y Cuaternario que han afectado al estado de Colima, así como la erosión de ríos y arroyos, han dado lugar a la formación de barrancas cada vez más profundas y laderas con pendientes muy inclinadas, que ante condiciones sísmicas pueden convertirse en zonas potencialmente inestables.

5.3 LICUACIÓN DE SUELOS

Se dice que un suelo arenoso totalmente saturado se licúa cuando la resistencia al esfuerzo cortante entre sus partículas disminuye a tal grado que la mezcla agua-suelo se comporta como un semilíquido o líquido. Tal fenómeno está condicionado por la generación de presión en el agua, también reconocida como presión de poro, dentro de la masa del suelo, lo que determina la reducción de los esfuerzos efectivos; y con ello, la disminución y pérdida temporal de su resistencia al esfuerzo cortante. Los aumentos de presión en el agua, que inducen el fenómeno de licuación, son provocados por la acción de los movimientos sísmicos.

Históricamente, el estado de Colima ha estado expuesto a la ocurrencia de sismos fuertes que han ocasionado el fenómeno de licuación en varias poblaciones del estado, principalmente en sismos cuyos epicentros han sido ubicados cerca de las costas de Colima. Los casos más importantes de licuación que hasta la fecha han sido documentados se refieren al gran sismo de magnitud 8.0, ocurrido en la cercanía de Manzanillo el 9 de octubre de 1995. En este sismo, los efectos de licuación se presentaron también en algunos poblados del sur de Jalisco, circunvecinos al estado de Colima.

Entre los casos de licuación reportados durante el sismo de Manzanillo de 1995 se tienen aquellos ocurridos en el Puerto Interior de San Pedrito (Ovando et al., 1997), donde una amplia extensión de los rellenos granulares en estado suelto, sobre los que se asentaban los patios de almacenamiento y otras instalaciones del puerto, experimentaron licuación y desplazamiento lateral de taludes no confinados.

Otro caso se presentó en las instalaciones de las Centrales Termoeléctricas Manzanillo I y II ubicadas en la ribera sur de la laguna de Cuyutlán, construidas a finales de la década de los setentas, la primera, y a mediados de los ochentas la segunda. En esa ocasión el sismo produjo aceleraciones

horizontales en campo libre de aproximadamente 387 gals y verticales de aproximadamente 303 gals (Ovando et al., 1997).

Otros casos de licuación ocurridos en Manzanillo, que afectaron diversas obras de ingeniería y vivienda, sucedieron en las colonias Libertad y Burócratas, en los predios donde se ubican el Centro de Seguridad Social y el Hospital General de Manzanillo, así como en la zona turística de Santiago, donde se tuvieron daños muy importantes en vivienda; inclusive se reportó el colapso total de al menos tres casas de playa (Ovando et al., 1997).

Adicionalmente se reportaron casos de licuación fuera de Manzanillo, en algunas poblaciones del sur del estado de Jalisco, específicamente en las poblaciones de Jaluco donde se observaron asentamientos de hasta 50 cm, que provocaron asentamientos diferenciales, grietas y el colapso de algunas casas habitación. En Barra de Navidad, Jalisco, se observaron daños similares por el fenómeno de licuación ocurrido en depósitos naturales de suelos arenosos y en rellenos artificiales. Finalmente, en la Bahía de Tenacatita, Jalisco, se reportó el colapso parcial de una estructura, cerca de la playa Boca de Iguanas (Ovando et al., 1997).

Sismos de magnitud igual al ocurrido en Tecomán el 21 de enero pasado usualmente causan daños y fallas en suelos y estructuras térreas, debido a la gran energía liberada y las consecuentes e importantes aceleraciones que sufre el terreno durante el movimiento sísmico. Tal es el caso del problema que se presentó en el malecón y muelle fiscal de Manzanillo, donde se registró un asentamiento y desplazamiento del piso hacia el mar de varios centímetros (Fig. 5.1); el cual pudo producirse por el efecto de licuación de arenas debido a las aceleraciones del terreno durante el sismo. No se conocen las aceleraciones del terreno en el sitio; sin embargo, fueron lo suficientemente grandes para provocar daños en las estructuras del muelle fiscal de Manzanillo, (Fig. 5.2).



Figura 5.1 Desplazamiento del piso en el muelle fiscal de Manzanillo por efecto de licuación de suelos



Figura 5.2 Daños ocurridos en las instalaciones del muelle fiscal de Manzanillo

Cabe comentar que en este evento sísmico los casos de licuación en Manzanillo no fueron tan extensos y severos como los ocurridos en octubre de 1995, lo que se debió seguramente a que después del sismo de ese año se realizaron trabajos de mejoramiento de suelos en las zonas que sufrieron licuación. Casos concretos fueron los trabajos que se realizaron en el muelle de Manzanillo, en las terminales especializadas de contenedores y en las Termoeléctricas I y II. No obstante, durante este sismo se tuvieron evidencias de licuación (Wartman et al., 2003) en los patios de contenedores del puerto de Manzanillo (Fig. 5.3), aunque de menor extensión que en 1995. No se conocen con exactitud las dimensiones de la zona afectada ni la magnitud de los daños en la zona portuaria, sólo se sabe que estos daños no afectaron las operaciones del puerto. Aquí cabe comentar lo valioso que sería realizar un amplio estudio geotécnico para conocer el comportamiento que presentaron los suelos del puerto de Manzanillo, durante el presente sismo, mejorados después del sismo de 1995; ello daría información valiosa acerca de las ventajas y desventajas de los métodos de mejoramiento de suelos aplicados.

Por lo que se refiere al mal comportamiento que experimentaron algunas cimentaciones y edificaciones de la ciudad de Colima, es muy probable que el daño halla estado asociado al mal comportamiento de los suelos (fenómeno de licuación), especialmente en las zonas aledañas al “Río Colima” y al “Arroyo El Manrique”, que atraviesan la ciudad de norte a sur. De hecho, se tiene referencia (Wartman et al., 2003) de que un algunos sitios de la ciudad de Colima se presentaron evidencias de licuación, de acuerdo con los reportes de algunos vecinos que inmediatamente

después del sismo observaron un flujo de agua y suelo, a través de las grietas en los pavimentos de las calles y en los patios de algunas viviendas.



Figura 5.3 Daños por el fenómeno de licuación en las instalaciones del puerto de Manzanillo, Wartman et al., 2003; <http://geoinfo.usc.edu/gees>

Otros casos de licuación ocurridos durante el presente sismo, fueron los que se reportaron en dos sitios localizados muy cerca de la playa, no lejos de las poblaciones Cerro de Ortega en el estado de Colima y Coahuayana en el estado de Michoacán (Fig. 5.4). Según versiones de los pobladores se escucharon ruidos que parecían como si el suelo “bufara”, para después experimentar un flujo repentino de agua y suelo a través de pequeños volcancitos y grietas formadas en el terreno (Fig. 5.5); esta descripción a todas luces hace referencia a un fenómeno de licuación.

Entre las condiciones necesarias que se deben reunir para que los suelos arenosos experimenten el fenómeno de licuación se encuentran: la distribución granulométrica de las partículas del suelo, la baja compacidad de los materiales, su ubicación bajo el nivel freático (suelos saturados) y, principalmente, estar sometidos a la acción de fuerzas dinámicas como las que generan los sismos. Es bien conocido que las fuerzas dinámicas están en función de las aceleraciones del

terreno; por lo tanto, resulta muy importante medir o estimar dichas aceleraciones para determinar el potencial de licuación de los suelos.

Estudios recientes (Robertson, 1996, Ovando et al, 1997 y Mendoza y Domínguez, 2002), han mostrado que una forma sencilla de conocer el potencial de licuación de los suelos, es a través de la comparación de las aceleraciones que sufre el terreno durante un sismo, con los resultados de pruebas de campo que indiquen la compacidad relativa de los depósitos arenosos. Otro criterio se basa en la comparación del esfuerzo cortante inducido en el suelo durante un temblor (función de la aceleración del terreno) con los resultados de las pruebas de campo mencionadas.

Aún cuando no se conocen las características granulométricas de los suelos, ni su compacidad relativa, ni las aceleraciones del terreno, sí se sabe que los materiales presentaron el fenómeno de licuación durante el sismo del 21 de enero. Por otra parte, con base en las características y la distribución geográfica de los daños, así como con experiencias obtenidas de otros temblores mexicanos, se puede estimar una aceleración máxima del terreno en la región epicentral de por lo menos 150 gals, la cual es suficiente para producir el fenómeno de licuación en suelos arenosos o limo-arenosos de baja compacidad. De acuerdo con un estudio sobre suelos aluviales que sufrieron licuación durante el sismo de magnitud 7.0, ocurrido en la ciudad de Tehuacán, Puebla, en 1999 (Mendoza y Domínguez, 2002), son suficientes 80 gals para que suelos arenosos y limo-arenosos de baja compacidad experimenten el fenómeno de licuación. Cabe resaltar que las condiciones: distancia epicentral y distribución de suelos no son exactamente iguales en ambos casos; sin embargo, el fenómeno de licuación sí estuvo presente. Por ejemplo, durante el sismo de Manzanillo 1995 ($M = 8.0$) la distancia entre el puerto de Manzanillo, que sufrió licuación, y el epicentro fue de aproximadamente 60 km, mientras que en el sismo de 1999 (Tehuacan, Pue.) la distancia entre el sitio que presentó licuación y el epicentro fue de 120 km. Por lo que se refiere al sismo del 13 de enero que aquí se describe, la distancia entre Manzanillo y el epicentro fue del orden de 98 km, mientras que la distancia entre Colima (donde hubo casos de licuación) y el epicentro fue de 146 km, aproximadamente.



Figura 5.4 Grietas ocasionadas por el fenómeno de licuación en suelos arenosos ubicados en los límites de Colima (Cerro de Ortega) y Michoacán (Coahuayana), Fotos cortesía del Ing. Germán Espítia



Figura 5.5 Suelo expulsado a la superficie del terreno a través de las grietas formadas por el fenómeno de licuación, Foto cortesía del Ing. Germán Espitia

Otros problemas derivados del fenómeno de licuación fueron los desplazamientos laterales del terreno, ocurridos principalmente en las zonas aledañas a las líneas de playa del puerto de Manzanillo. Este fenómeno se presentó principalmente en los bordos libres y muros de contención con cara al mar o con cara a las lagunas costeras de Manzanillo. La magnitud de los desplazamientos laterales fue diferente en cada uno de los sitios donde ocurrió este fenómeno; sin embargo, osciló entre 1 y 3 m (Wartman et al., 2003). En la Fig. 5.6 se muestra el daño ocasionado por el desplazamiento lateral en las instalaciones del malecón, cuya posición después del sismo conserva las deformaciones ocasionadas por el desplazamiento lateral. En este sitio la pendiente del terreno era de aproximadamente 3%, y el máximo desplazamiento lateral fue del orden de 2 m (Wartman et al., 2003).



Figura 5.6 Desplazamiento lateral del terreno debido al fenómeno de licuación en Manzanillo, Wartman et al., 2003; <http://geoinfo.usc.edu/gees/>

5.4 DAÑOS LOCALES POR LAS CONDICIONES DEL TERRENO

Uno de los fenómenos que ha llamado la atención de la comunidad ingenieril y de las autoridades locales, así como de Protección Civil de Colima, respecto a los daños geotécnicos y estructurales ocurridos durante el sismo del 21 de enero en la población de Villa de Álvarez, se refiere a la concentración de daños en una pequeña área de dicho municipio (Fig. 5.7), cuya cabecera municipal se encuentra localizada a escasos 4 km al noroeste de la ciudad de Colima. En esta ciudad, y en particular la zona comprendida entre las calles: Vicente Guerrero, Guillermo Prieto, Plutarco Elías Calles y la Av. Manuel Álvarez, se identificaron algunos casos donde las condiciones particulares del suelo, en zonas de extensión reducida, provocaron gran daño en las edificaciones del lugar.

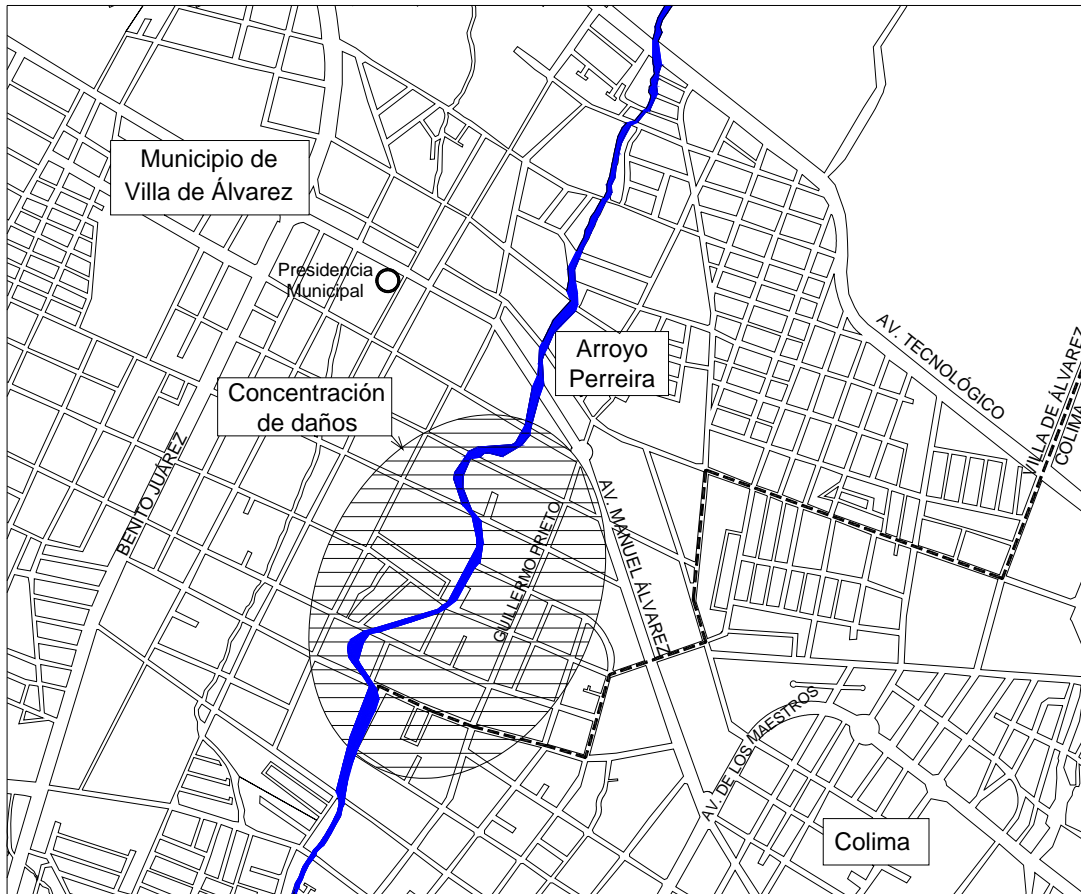


Figura 5.7 Concentración de daños en el municipio de Villa de Álvarez debido a las malas condiciones del terreno

Según información de los pobladores de Villa de Álvarez, los daños de consideración ocurrieron en zonas donde antiguamente se hallaban viejas minas de arena que quedaron ubicadas bajo la zona habitada. Es probable entonces que la zona estuviera rellena con materiales mal compactados, con alto potencial de inestabilidad ante sismos; y que en algunos sitios hubieran existido pequeñas cavernas o huecos no rellenos. Este tipo de rellenos, así como otros constituidos por arenas de préstamo, rezaga o cascajo mal confinados y mal compactados, pueden dar lugar a asentamientos totales y diferenciales del propio relleno y de las estructuras que en él se apoyan; por lo que es muy probable que dicha situación haya determinado el mal comportamiento

de las construcciones durante las solicitaciones sísmicas, aunadas a la falla repentina de los huecos o cavernas por la acción de las cargas dinámicas. Estos aspectos se evidenciaron en algunos sitios de Villa de Álvarez, donde ocurrieron asentamientos súbitos y hundimientos en los patios de algunas casas habitación (Fig. 5.8).



Figura 5.8 Asentamiento brusco del terreno en los patios de algunas casas ubicadas en el municipio de Villa de Álvarez

Es importante mencionar que los daños ocurrieron cerca de las riberas de un río intermitente conocido localmente como Arroyo de Perreira. Al igual que la calle Guillermo Prieto, el río corre de Norte a Sur en forma casi paralela a dicha calle, aunque con ligeras ondulaciones vistas en planta, de acuerdo con las características topográficas del terreno, Fig. 5.7. Estas condiciones fisiográficas e hidrológicas del sitio contribuyen a la formación de suelos aluviales en las márgenes del río. Con frecuencia estos materiales son depositados en estado muy suelto y por consiguiente resultan propensos a sufrir el fenómeno de licuación discutido anteriormente. De hecho, se tienen referencias (Wartman et al., 2003) de que en algunos sitios donde hubo una alta concentración de daños se observaron evidencias de licuación en los patios de algunas casas.

Debido a los daños graves que se tuvieron en muchas viviendas del municipio de Villa de Álvarez, resulta conveniente recomendar la planeación y elaboración, en un lapso breve, de una investigación geotécnica que ponga en claro los motivos del desempeño pobre de esas edificaciones y el grado de influencia del subsuelo. Ello daría los elementos para establecer las medidas correctivas o atenuantes, base para las líneas de acción futuras al respecto.

5.5 DESLIZAMIENTOS

Entre los fenómenos geotécnicos que más daños causan a la población, debido a la ocurrencia de eventos sísmicos, se encuentran los deslizamientos y los flujos de tierras y rocas en laderas cercanas a centros urbanos o a obras de infraestructura. Estos acontecimientos cobran vidas humanas y cuantiosas pérdidas económicas, por lo que sus efectos son devastadores y han sido motivo de casos documentados en la literatura mundial. Afortunadamente, durante la ocurrencia de este sismo, los deslizamientos y flujos de suelos y rocas que ocurrieron en los estados de Colima, Jalisco y Michoacán no provocaron daños graves, ni pérdidas económicas importantes, así como tampoco cobraron vidas humanas. A continuación se mencionan los casos de deslizamientos ocurridos en los tres estados cercanos al epicentro del evento sísmico.

Aun cuando los deslizamientos disparados por este sismo se cuentan en miles (Wartman et al., 2003), los daños que provocaron a la población y a las obras de infraestructura fueron relativamente pocos. Una gran concentración de deslizamientos ocurrieron a lo largo de los cañones y barrancas del Río Armería y su tributario, Río Remate, en el norte de Colima; donde se tienen laderas muy escarpadas con pendientes del orden de 70° , constituidas por materiales de origen volcánico, intercalados con depósitos fluviales con poca o nula cementación. De acuerdo con el reporte preliminar de la National Science Foundation (<http://geoinfo.usc.edu/gees/>), de Estados Unidos, hasta el 31 de enero continuaron presentándose caídos y derrumbes en las barrancas del Río Armería, contándose del orden de 2000 acontecimientos por día, aunque de volúmenes reducidos. La continua inestabilidad de estos materiales representan un riesgo continuo para las comunidades y obras de infraestructura localizadas en las cercanías de estas barrancas.

Otros deslizamientos ocurrieron en las barrancas de Atenquique, en los cañones profundos del flanco oriente del Nevado de Colima. Donde se presentaron flujos de suelos y rocas, caídos y desprendimientos de materiales de origen volcánico expuestos en las laderas de los cañones. Los volúmenes de tales deslizamientos oscilaron entre decenas y cientos de metros cúbicos, presentándose una concentración de hasta 40 deslizamientos por kilómetro lineal en las paredes del cañón (Wartman et al., 2003). Los daños por deslizamientos en esa zona se concentraron en los sistemas de irrigación de la región.

Más deslizamientos, ocasionados por el sismo, en el estado de Colima se concentraron en cortes efectuados para dar paso a los caminos y carreteras del estado. El Centro SCT de Colima reportó, con fecha de enero 22, zonas de deslizamiento de tierras y rocas (Fig. 5.9) en cortes de las carreteras Colima-Guadalajara, Jiquilpan-Colima, Colima-Tecomán, Ramal-La Salada, Playa Azul-Manzanillo, Libramiento Manzanillo, Manzanillo-Barra de Navidad y Manzanillo-Minatitlán, sumando un volumen de material caído de 102,100 m³, con el mayor derrumbe de 100,000 m³ entre los km 16+000 al 26+000 de la carretera Colima-Tecomán, en donde se cerró el cuerpo A y se canalizaron ambos sentidos por el cuerpo B de la carretera.



Figura 5.9 Deslizamiento ocurrido en un corte de la carretera Colima-Tecomán

De acuerdo con datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, y a partir de las observaciones realizadas por personal del CENAPRED en el estado de Colima, en las redes de infraestructura de comunicaciones y transportes, sólo se reportaron daños en las carreteras por el deslizamiento de algunos cortes practicados en materiales arenosos y conglomerados de gravas andesíticas, englobados en una matriz de suelos areno-limosos susceptibles de inestabilidad.

Por su parte, en el estado de Michoacán se reportaron deslizamientos y caídos de suelos y rocas en laderas contiguas a vías de comunicación carretera. La Dirección Estatal de Protección Civil de Michoacán (DEPC-Michoacán) informó sobre los deslizamientos en carreteras, y no reportó pérdidas de vidas humanas. Los deslizamientos y desprendimientos ocurrieron principalmente en la carretera que une a los municipios de Aquila y Chinicuila; presentándose caídos y desprendimientos de rocas de gran tamaño, como se muestra en la figura 5.10.



Figura 5.10 Caídos de rocas en un corte de la carretera Aquila-Chinicuila del estado de Michoacán
(Foto cortesía de la Dirección Estatal de Protección Civil de Michoacán)

En el estado de Jalisco, sólo se reportaron pequeños desprendimientos que no provocaron daños importantes en las obras de infraestructura, ni pérdidas de vidas humanas. Aun cuando no se tienen reportes fotográficos de los daños ocurridos, sí se tiene información de pequeños caídos y desprendimientos de materiales térreos en la autopista Guadalajara-Colima (Km. 119+800). Por otra parte, en el talud de apoyo del puente “Beltrán” (lado Colima), ocurrió un desprendimiento de materiales de entre 5 y 10 m³ que no pone en peligro la estabilidad de la estructura, según información proporcionada por el centro SCT del estado de Jalisco. En la carretera Ciudad Guzmán-El Grullo se tuvieron algunos desprendimientos que impidieron el acceso a las poblaciones de ambos municipios hasta el 27 de enero.

Finalmente, el mismo centro SCT-Jalisco informó que ocurrieron pequeños desprendimientos y caídos, que de ninguna manera causaron daños ni problemas a los usuarios, en las carreteras Zapotlanejo-Lagos de Moreno, ramal Zapotlán de Vadillo y en general en la red de carretera federal libre de cuota.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Mendoza, M. J. y Domínguez, L. (2002), “*Primer caso documentado de licuación en el Altiplano Central de México*”, *Memorias XXI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos*, SMMS, Oaxaca, Vol. 1: 161-170.

Ovando, E., Vieitez, L., Alemán, J. D., Contreras, R., Castellanos, G., Navarro, C., Sámano, A., Sánchez, F. y Sánchez M. (1997), “*El macrosismo de Manzanillo del 9 de octubre de 1995*” Cap. 4 Geotecnia, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Gobierno del Estado de Colima, Universidad de Colima; Compilador Arturo Tena Colunga, Septiembre 1997, pp. 82-133.

Robertson, P. K. (1996), “*Soil liquefaction and its evaluation based on SPT and CPT*” *Proceedings, Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance*, Salt Lake City, Utah, January 4-6, NCEER Technical Publication.

Silva, C. y Esquivel, R. (1976), “El subsuelo de la ciudad de Colima, Col.” *Memorias de la VIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos*, SMMS, Guadalajara, Vol. II, pp. 57-61.

Wartman, J., Rodriguez-Marek, A., Keefer, D., Deaton, S., Repetto, P., Macari, E. J., Navarro, C., Tejada J., C., Silva C. y Armando, J. (2003), “*Preliminary Reconnaissance Report on the Geotechnical Engineering Aspects of the January 21, 2003 Colima, Mexico Earthquake*”, Report of the National Science Foundation, Geotechnical Earthquake Engineering Server, <http://geoinfo.usc.edu/gees/>

CAPÍTULO 6

SISTEMAS EXTENDIDOS

Sergio M. Alcocer, Leonardo Flores y Carlos Reyes

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan las observaciones sobre el comportamiento de sistemas extendidos a consecuencia del sismo de Tecomán. Se incluyen datos provenientes de informes de las Unidades de Protección Civil Estatales y de dependencias federales como la Comisión Federal de Electricidad.

6.2 ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DRENAJE Y SISTEMAS DE RIEGO

6.2.1 Colima

El sistema de agua potable del estado, también resultó afectado por el sismo de Tecomán. La Comisión Estatal del Agua, y los Ayuntamientos municipales, informaron de diversos daños, en el municipio de Tecomán, por ejemplo, hubo daños en el sistema de abastecimiento, así como en la subestación eléctrica que surte de energía a los pozos profundos. En Manzanillo, se informó de daños en los equipos de bombeo.

En lo que se refiere a sistemas de riego, la Comisión Nacional del Agua informó de daños en canales de distribución de agua para riego de cultivos agrícolas, así como en las estructuras de operación de los mismos.

6.3 SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

6.3.1 Colima

La Comisión Federal de Electricidad informó que la termoeléctrica ubicada en el puerto de manzanillo, sufrió daño en varias subestaciones de transmisión. Las afectaciones en la termoeléctrica provocaron bajas en el suministro de energía en la región. También, hubo reportes de daños en postes urbanos y transformadores de distribución.

6.3.2 Jalisco

La Comisión Federal de Electricidad informó que en el estado de Jalisco, las poblaciones que resultaron afectadas por la falta de energía eléctrica fueron Melaque y Ciudad Guzmán. Sin embargo, el servicio se restableció a las pocas horas de ocurrido el sismo.

6.3.3 Michoacán de Ocampo

En el estado de Michoacán, la Comisión Federal de electricidad informó de la interrupción por algunos minutos de la energía eléctrica y baja frecuencia. Las zonas afectadas fueron: Morelia, Uruapan, Apatzingan y Lázaro Cárdenas, y resultaron afectados 62,474 usuarios. El servicio se normalizó en días posteriores al sismo. En lo que se refiere a la infraestructura eléctrica, no hubo reportes de daño.

6.4 COMUNICACIONES

En lo que se refiere a comunicaciones no se tuvieron informes de daños que hubiesen afectado el servicio.

6.5 VÍAS DE TRANSPORTE

6.5.1 Colima

6.5.1.1 Estructura sobre el Muelle Fiscal de Manzanillo, Colima

En el muelle fiscal existía una estructura de un nivel de gran altura de marcos y losas de concreto reforzado, que se encontraba desocupada. Dicha estructura se usaba antiguamente como talleres de operación del muelle.

La estructura manifestaba severos problemas de corrosión del acero de refuerzo y algunos daños que fueron anteriores a este evento sísmico. El principal daño observado fue la falla de varias columnas de la parte oeste del muelle, concentrado en los extremos de las columnas, quedando una parte de la losa de techo materialmente colgando de los otros marcos cercanos (Fig. 6.1).



Figura 6.1 Estructura sobre el muelle fiscal

En el diseño original, una de cada dos crujías estaba cerrada por un muro de mampostería. En dichas crujías se tiene una trabe que liga cada par de columnas un poco abajo del sistema de losa dejando un espacio libre. Este marco era rellenado por un muro de mampostería como muro diafragma. Todavía existían algunos de estos muros (Fig. 6.2) pero la mayoría ya habían sido demolidos. El problema es que estos marcos, con o sin muro, inducen al fenómeno de columna corta en el tramo de columna superior sobresaliente del marco.



Figura 6.2 Marco con muro generando la falla de columna corta y detalle

En las figuras 6.3 y 6.4 se muestran detalles del daño sufrido principalmente en las columnas y en la conexión viga-columna. Debido a la pérdida de un par de columnas las trabes del sistema de techo trabajaron hasta formarse articulaciones plásticas y fallas por cortante, asimismo la losa trabajó generando fuerzas de membrana en su plano evitando su colapso.



Figura 6.3 Vista desde el extremo del muelle, falla de la conexión viga-columna

Fue notorio el deterioro por corrosión del acero de refuerzo, así como el escaso uso de estribos en la parte dañada de las columnas.



Figura 6.4 Detalles de daño en la estructura

6.5.1.2 Puente “Manzanillo Colima”

El puente “Manzanillo”, se localiza en la autopista Colima-Manzanillo, la figura 6.5 presenta una vista general del mismo. Su estructura consta de vigas prefabricadas que se apoyan en columnas coladas en sitio. Los daños que sufrió, se concentraron esencialmente en los topes, en la figura 6.6 se muestra un ejemplo.



Figura 6.5 Vista general del puente “Manzanillo”



Figura 6.6 Daño en tope del puente “Manzanillo”

También, se observó que debido al movimiento lateral de las vigas prefabricadas y al daño en los topes, éstas quedaron desfasadas de su posición original (Fig. 6.7). Asimismo, fue evidente el movimiento de los apoyos, en la figura 6.8 se muestra un ejemplo.



Figura 6.7 Desfase de su posición original de las vigas precoladas del puente “Manzanillo”



Figura 6.8 Evidencia del movimiento de los apoyos del puente “Manzanillo”

6.5.2 Jalisco

Al momento de la visita no se tuvo noticia de daños en sistemas extendidos.

6.5.3 Michoacán de Ocampo

De acuerdo con datos de la Dirección Estatal de Protección Civil de Michoacán (DEPC-Michoacán) hubo daños en algunos puentes carreteros. Un ejemplo notable es el daño en el puente Coahuayana, sobre el río del mismo nombre. En la figura 6.9 se muestra el daño en uno de los topes

del puente, también se observa que hubo un desplazamiento lateral permanente. Conviene recordar que este puente sufrió daños en los topes en el sismo de Manzanillo de 1995, y que fue rehabilitado posteriormente.



Figura 6.9 Daño severo en tope del puente Coahuayana (foto: Dirección Estatal de Protección Civil del estado de Michoacán)

CAPÍTULO 7

VIVIENDA

Sergio M. Alcocer, Roberto Durán, Alonso Echavarría, Leonardo Flores, Óscar A López,
Miguel Angel Pacheco y Carlos Reyes

7.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los sectores más afectados por el sismo de Tecomán fue la vivienda, sin embargo, los daños se manifestaron en estructuras vulnerables o deficientemente construidas. Los daños, en orden de importancia correspondieron con una jerarquía clara de tipo de material y sistema estructural de la siguiente forma:

- 1) Vivienda de adobe, en especial construcciones en esquina,
- 2) Vivienda de mampostería simple,
- 3) Mampostería confinada pero con una inadecuada ubicación y detallado de los elementos confinantes,
- 4) Vivienda de dos niveles con evidente escasez de muros en una de las direcciones en planta baja.

El adobe es una pieza que se elabora con arcilla, arena, y en ocasiones se le adiciona otros materiales como paja o estiércol. Estas piezas se moldean y se dejan secar al sol. Con ellas se construyen los muros para bardas y viviendas uniéndolas con un mortero elaborado con los mismos materiales de las piezas y agua, es decir un mortero de lodo.

El siguiente tipo de estructura, de mayor uso en las poblaciones urbanas de la región, la constituye el uso de muros de carga de mampostería de tabique macizo de barro cocido unido con mortero de cemento, cal y arena. Este es el tipo de pieza más usado, sin embargo, también se observó en los estados de Colima, Jalisco y Michoacán de Ocampo, en un menor porcentaje, el uso de tabicones macizos de concreto pobre. No se observó el uso de piezas huecas de barro (tabique extruido) ni piezas huecas de concreto (bloques huecos).

En el uso de los muros de carga de mampostería destacan dos categorías: la mampostería simple, sin elementos de confinamiento (castillos y dalas), y la mampostería confinada. La mampostería confinada se caracteriza porque sus muros se encuentran rodeados por elementos de concreto reforzado (castillos en la dirección vertical y dalas en la horizontal), de dimensiones pequeñas, los cuales tienen por objeto conectar entre sí los muros, y a éstos con el sistema de piso o techo, así como dar un confinamiento al muro y mejorar la su capacidad de deformación.

7.2 ESTADO DE COLIMA

Por su cercanía al epicentro y las altas aceleraciones registradas (0.3 g), en el estado de Colima se tuvieron los mayores daños en la vivienda. En general los daños se concentraron en

vivienda de adobe, registrándose en ésta casi la totalidad de los colapsos observados. También se observó daño ligero a mediano en la vivienda de mampostería simple así como en mampostería confinada que no contaba con elementos de confinamiento en cantidad y distribución adecuada.

Los tipos básicos de vivienda se pueden agrupar en dos categorías: vivienda de adobe, que es un tipo que va en desuso en las zonas urbanizadas y sólo es representado por las viviendas antiguas, generalmente ubicadas cerca del centro de las poblaciones, señal de que conformaban originalmente el poblado antes del crecimiento de la localidad con construcciones más modernas. El sistema de techo se resuelve generalmente con vigas de madera y teja de arcilla.

El otro tipo lo forman viviendas de mampostería, generalmente de tabique macizo de arcilla, con elementos de confinamiento y losas de concreto reforzado. En las zonas urbanas es común que las viviendas ocupen un predio rectangular dentro de las cuadras, y se estructuren mediante dos muros largos en las colindancias perpendiculares a la calle, y con una menor cantidad de muros en la dirección corta, paralela a la calle, mismos que poseen aberturas para puertas y ventanas, o son muros cortos para permitir la circulación. Es común también encontrar viviendas de dos niveles, y que el sistema de piso y techo se resuelva con losas macizas de concreto reforzado.

Un caso intermedio entre los dos tipos anteriores son las viviendas con muros de mampostería simple, con techo de teja. Son geoméricamente similares a las viviendas de adobe y la diferencia radica en el tipo de material de adobe a tabiques de arcilla.

En las siguientes secciones se describe el tipo y distribución de los daños más comunes observados en los distintos tipos de vivienda.

7.2.1 Armería

En Armería el tipo predominante de construcción es el de mampostería de tabique macizo de arcilla, y el uso del adobe es apenas del 0.2 % de la vivienda existente en el municipio (INEGI 2000). La geometría de las viviendas en la cabecera municipal es muy similar a la observada en el municipio de Tecomán, lo cual resulta lógico ya que ambas poblaciones se encuentran muy cercanas entre sí. Además del uso de castillos y dalas como refuerzo, está muy extendido el uso de postes u horcones de madera colocados en las esquinas e intermedios en los muros de las viviendas. Esta estructura de madera se conecta con iguales elementos horizontales en el extremo superior de los muros. La descripción detallada y algunas figuras se presentan más adelante, en el acápite 7.2.4.

El daño observado en vivienda en Armería fue moderado a ligero, probablemente por el tipo de material usado ya que no existe mucha construcción con adobe.

7.2.2 Colima

En la figura 7.1 se muestra el mapa de la parte central del municipio de Colima en donde se presenta la localización de los daños observados durante el recorrido realizado. Se debe señalar que no es única zona donde hubo problemas debido al sismo, pero probablemente sí es la zona con mayor densidad de daños.

Del recorrido realizado en esta parte de la ciudad, se encontró que los daños más importantes se presentaron en las construcciones de adobe, donde el daño característico consistió en el agrietamiento diagonal de los muros así como la separación de éstos por la falta de elementos confinantes e incluso el colapso parcial y total de los muros y sistema de techo.

Por lo que corresponde a las viviendas de mampostería confinada, en general su comportamiento fue bueno. Se tuvieron agrietamientos en muros los cuales fueron originados por la escasa densidad de estos elementos en las direcciones principales de la construcción.

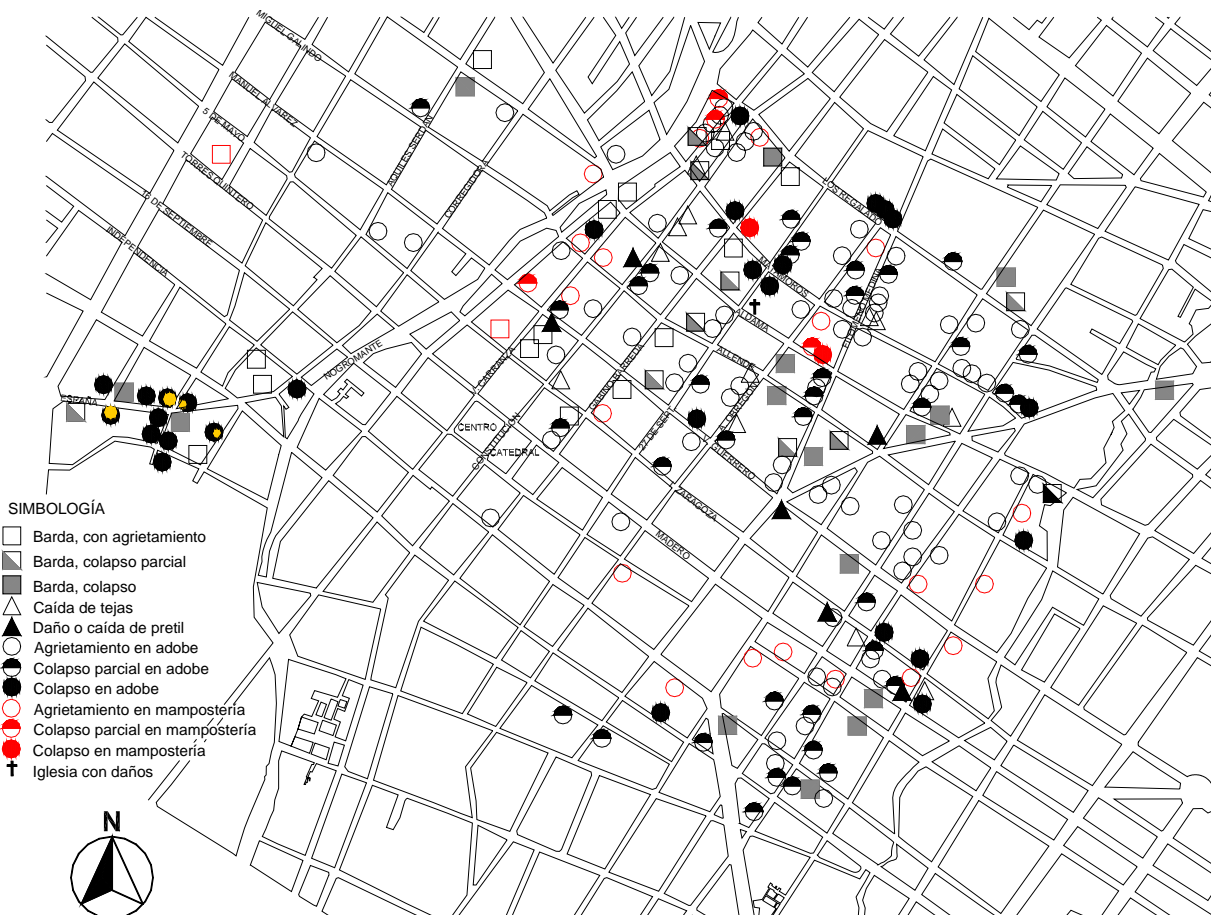


Figura 7.1 Mapa del anillo central de Colima y localización de daños

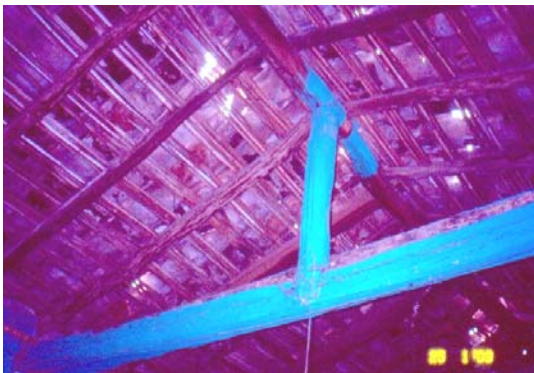
7.2.2.1 Vivienda de adobe

La geometría típica de la vivienda de adobe en esta región se puede representar por dos esquemas típicos; en el primero se tendría una sola habitación, con muros entre 2.2 y 3 m de altura. Normalmente este tipo de viviendas son de forma rectangular y están construidas mediante cuatro muros de gran espesor (40 a 50 cm). Los muros cabeceros, colindantes con las viviendas vecinas, son de forma pentagonal y terminan en forma triangular en su parte superior con el propósito de que la techumbre sea a dos aguas. En estos muros cabeceros se coloca una viga de madera de muro a muro como soporte de las vigas transversales; éstas últimas se apoyan en dicha viga y en los muros perpendiculares a los muros cabeceros. Finalmente se coloca la teja de barro, misma que representa un peso considerable. En la zona centro de la ciudad de Colima hay zonas con estas viviendas alineadas, compartiendo en muchos casos los mismos muros cabeceros (Fig. 7.2)).



Figura 7.2 Geometría de vivienda de adobe: varias casas alineadas con techo a dos aguas con teja

Para el sistema de techo se apoya una viga principal longitudinal que constituye la cumbrera del techo a dos aguas. Esta viga se apoya en la punta de los triángulos de los muros cabeceros ya descritos, y en puntos intermedios sobre vigas horizontales normales a ellas a través de un puntal vertical (Fig. 7.3a). También se usa techo a un agua en habitaciones más reducidas. Por lo general se observó el uso de troncos y ramas para las vigas (sección redonda), y el uso de largueros, tanto de rollizos de madera como de medias cañas.



(a)



(b)

Figura 7.3 Sistema de techo típico de vivienda de adobe

El segundo tipo característico de construcción de adobe se usa tanto para vivienda como para algunos comercios hacia la calle. Se constituye por muros de adobe altos en la fachada, con diversas aberturas para puertas y ventanas, y con diversos muros en el interior que dividen en varias habitaciones. Es común que estos inmuebles tengan techo a dos aguas de teja y el muro de fachada que se extiende por arriba del nivel del techo como pretil (Fig. 7.4).

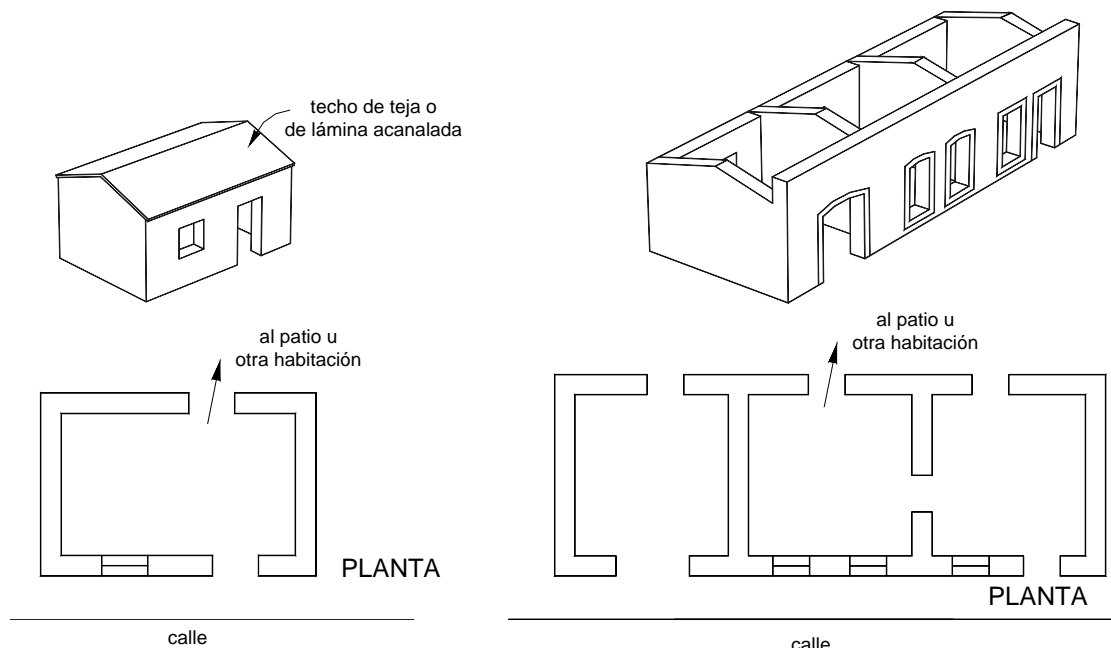


Figura 7.4 Geometría típica de la vivienda de adobe en el municipio de Colima

La vivienda de adobe se observó especialmente en la zona centro de la ciudad, pero representa solamente el 4.7 % de la vivienda en el municipio de Colima (INEGI, 2000). El tipo de vivienda más abundante es a base de muros de carga de tabique macizo de arcilla hecho a mano, generalmente confinados con castillos y dalas y con sistema de entrepiso y techo mediante losa maciza de concreto reforzado.

Los principales tipos de daño en estructuras de adobe, que se ilustran en la figura 7.5, fueron:

- a) Agrietamientos inclinados por tensión diagonal en segmentos de muros entre aberturas, en muros cabeceros y en muros laterales largos;
- b) Grietas verticales en las esquinas, provocado por la tendencia al volteo fuera de su plano de los muros;
- c) Colapso de esquinas;
- d) Colapso de uno o más muros;
- e) Colapso total de la vivienda;
- f) Caída de tejas, en especial en los bordes inferiores del techo;
- g) Daño local en el muro por el apoyo de las vigas del sistema de techo;
- h) Otro tipo de agrietamientos en muros, como por ejemplo las grietas horizontales en la base de los triángulos en los muros cabeceros, grietas sobre cerramientos, grietas verticales en la parte central de muros, grietas verticales y horizontales en segmentos de muro entre aberturas y grietas horizontales en la base de muros;
- i) Caída de recubrimientos; y
- j) Colapso del sistema de techo.

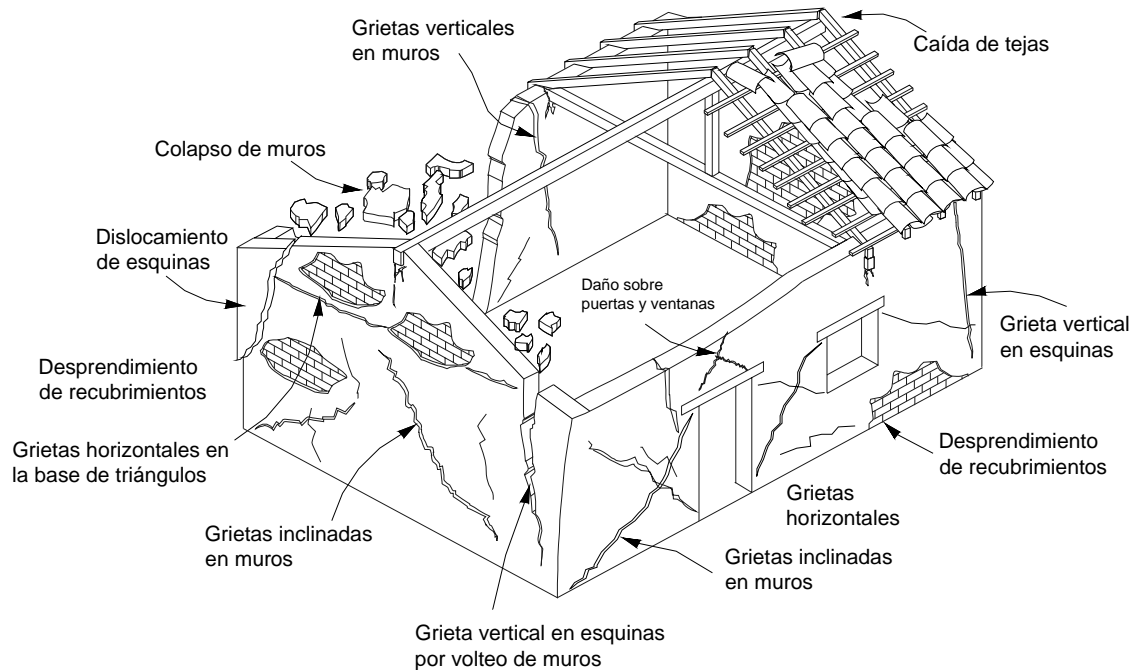


Figura 7.5 Daño típico observado en la vivienda de adobe

Los tipos de daño más comunes fueron el agrietamiento inclinado en muros o segmentos de muro, agrietamiento vertical en las esquinas en la unión de muros longitudinales con transversales, el colapso parcial o total de viviendas y la caída o desacomodo de tejas.

El agrietamiento inclinado representa la forma típica de falla de un elemento por tensión diagonal, presentándose cuando se excede el esfuerzo resistente a tensión del material debido a la distribución de esfuerzos a lo largo de las diagonales de muros rectangulares (ver figuras 7.6 y 7.7) Esta distribución se produce en muros asociada a fuerzas horizontales de cortante, como las que producen los sismos.



Figura 7.6 Agrietamiento inclinado



Figura 7.7 Agrietamiento inclinado

La falla generalmente se inicia en la separación de los muros en las esquinas donde concurren. Al igual que en otros eventos sísmicos, el agrietamiento vertical en las esquinas fue un tipo de daño muy repetitivo (Fig. 7.8).



Figura 7.8 Grietas verticales y colapso de esquinas

La falta de liga entre los muros (como la que proporcionan castillos y dalas o una losa de concreto) provoca, que ante movimientos de terreno, los muros no trabajen en conjunto y tengan un comportamiento individual lo que genera el problema de desplomo de los muros e incluso la caída parcial o total de estos elementos con el consecuente colapso en el sistema de techo (ver figuras 7.9 a 7.11).

Se presentaron numerosos casos de colapsos parciales de viviendas así como de colapsos totales. Fue común observar que los muros que principalmente colapsaron fueron los de las fachadas, tanto en viviendas de una sola fachada como en inmuebles de esquina. Se explica esta situación por dos razones, primero porque estos muros contaban con numerosas aberturas para puertas y ventanas reduciendo el área de los mismos, y por otro lado, debido a la libertad de oscilar fuera de su plano a diferencia de los muros de colindancia con otras construcciones los cuales, en cierta forma, estaban restringidos al apoyarse unos contra otros.



Figura 7.9 *Caída parcial y total de muros de adobe*



Figura 7.10 *Caída parcial de muros y apuntalamiento de los muros*



Figura 7.11 Colapso de viviendas de adobe

No se observó daño de techos por sí mismo, sino más bien algunos colapsos parciales y totales debido a pérdida de apoyo por muros dañados o colapsados. Por lo mismo no se observó corrimiento de vigas de madera, ya que éstas en general quedan contenidas en la última hilada de adobes. En la figura 7.12 se tiene el colapso del sistema de techo por la falta de soporte.



Figura 7.12 Colapso de techos por la caída de muros de soporte

La caída de las tejas fue otro tipo de daño muy repetitivo. Se explica este daño ya que las piezas se encuentran sueltas y por lo tanto no son capaces de soportar las aceleraciones horizontales y verticales que se dan en regiones cerca de los epicentros. Este daño, que podría considerarse no estructural, sin lugar a dudas pone en riesgo la vida de los habitantes de las viviendas durante el evento sísmico, y después de éste representa un problema de habitabilidad además de entorpecer la libre circulación en las calles.

La parte de la techumbre en donde se observó principalmente la pérdida de tejas es en los bordes inferiores. A diferencia de otros lugares del país, se pudo observar que es común colocar las primeras tejas con un tramo libre que sobresale del último larguero o del muro en más de la tercera parte de la longitud de las mismas, incluso hasta el 50% de la teja.

Otro detalle que se observó durante el recorrido es el hecho de que, al parecer, por requerimientos de conservación de la imagen arquitectónica, las fachadas de las casas de la zona

centro deben guardar su apariencia tradicional. Sin embargo, a pesar de que el requisito se cumple, en muchas ocasiones se tiene una vivienda nueva detrás de la fachada principal construida con otro tipo de material como tabique rojo recocido. En la figura 7.13 se observa como la construcción de adobe colapsó mientras que la de mampostería confinada construida más adentro mostró buen comportamiento.



Figura 7.13 Ejemplo de la nueva construcción mediante mampostería confinada en el interior del predio en contraste con el colapso de otra casa o barda de adobe al frente

Se observaron también daños locales como fue el aplastamiento del adobe de apoyo de las vigas de los sistemas de techo (Fig. 7.14). El sistema de la techumbre, como se ha mencionado, consta de vigas de madera en las que se apoya la cubierta de teja o lámina acanalada. La viga en la cumbre corre a lo largo de la vivienda y se apoya en la punta del triángulo en los muros cabeceros, así como en puntos intermedios mediante un poste vertical que transmite la carga a las vigas y éstas a los muros laterales.



Figura 7.14 Daño local en el apoyo de las vigas del sistema de techo

Finalmente se menciona el daño no estructural por la caída del recubrimiento de los muros, generalmente asociado al agrietamiento de los mismos. El material usado para el recubrimiento es, por lo general, una mezcla de arena y cal, con poco o nada de cemento (Fig. 7.15).



Figura 7.15 Caída de acabado y agrietamiento de los muros

7.2.2.2 Vivienda de mampostería simple y confinada

La mampostería de piezas modernas está representada por el uso de tabique macizo de arcilla unido por mortero a base de arena, cal y cemento. La tendencia general de la mayoría de las edificaciones para vivienda es la construcción mediante mampostería confinada por castillos y dalas. Sin embargo, se detectó en varios casos que, si bien se cuenta con muros debidamente confinados, se dejan otros muros sin este refuerzo, en especial en la periferia de las aberturas.

En general la construcción con mampostería confinada tuvo un excelente desempeño, pero sí se observaron casos de vivienda de dos niveles con agrietamientos en "X" en segmentos de muro en la dirección débil.

En la figura 7.16 se muestra un ejemplo del daño típico en muros de mampostería confinada originado en la dirección con menor densidad de muros y en la figura 7.17 se puede observar el daño provocado en detalles constructivos indeseables como: falta de confinamiento en aberturas, la abertura del muro para el aire acondicionado o la ranura para instalaciones.



Figura 7.16 Daño típico en muros de mampostería confinada



Figura 7.17 Daño en muros de mampostería

7.2.2.3 Edificio de departamentos de tres niveles

El edificio se ubica en la calle Corregidora número 400 colonia Jardines de la Corregidora. En la figura 7.18 se muestra un croquis de localización. Se trata de una edificación construida con muros de mampostería confinada, en planta tiene la forma de la figura 7.19, también se observó que en la dirección paralela a la calle Corregidora (dirección longitudinal) tiene una menor cantidad de muros que en la dirección perpendicular a esta calle (dirección transversal); en la figura 7.20 se muestra la fachada frontal del edificio. Se desconoce el tipo de cimentación y el año de su construcción, sin embargo, de acuerdo con información de los vecinos, el edificio sufrió daños ocasionados por el sismo de 1985, por lo que probablemente fue construida en la década de los años ochenta.

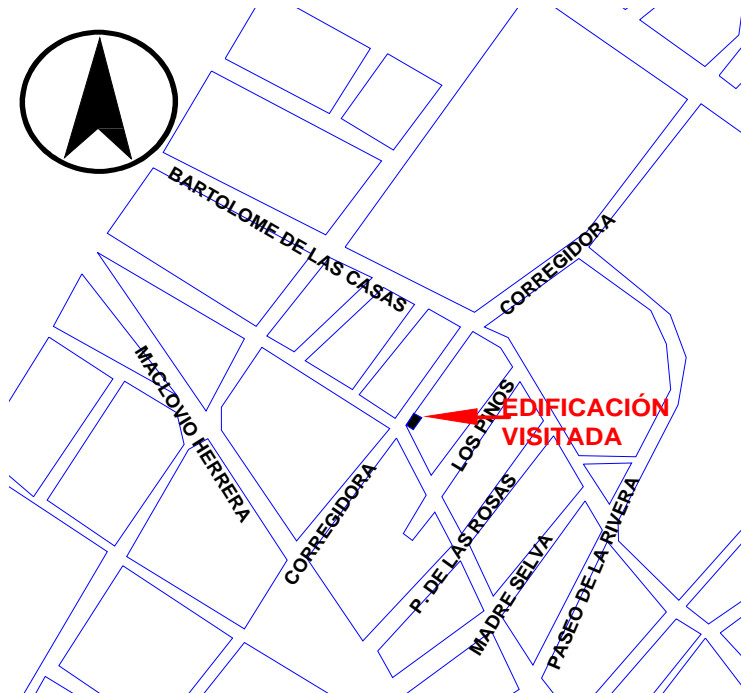


Figura 7.18 Croquis de localización del edificio de tres niveles



Figura 7.19 Forma de la planta del edificio de tres niveles



Figura 7.20 Fachada frontal del inmueble

Los daños ocasionados por el sismo se presentaron con mayor severidad en la dirección longitudinal y en la planta baja, en la figura 7.21 se aprecia el daño en uno de los muros de este nivel. En los niveles superiores, de esa misma dirección, se observó una disminución considerable de daño. En la dirección transversal se apreció un nivel de daño muy ligero. Una de las razones que explica este fenómeno es la menor densidad de muros en la dirección longitudinal respecto a la dirección transversal.



Figura 7.21 Daño severo en un muro de la dirección longitudinal de la planta baja del edificio

Otra causa que contribuyó al severo daño que sufrió esta construcción, está relacionada con el deficiente confinamiento de los muros. Las figs. 7.22 y 7.23 muestran este aspecto para dos muros de la dirección longitudinal.



Figura 7.22 Falta de confinamiento en un muro interior de planta baja



Figura 7.23 Falta de confinamiento en un muro un muro de fachada

Aun cuando el nivel de daño que se observó en este edificio fue severo, existe la posibilidad de rehabilitarlo; un procedimiento puede ser, agregar los castillos que sean necesarios, reponer los muros colapsados y reparando los agrietados, en ese sentido es probable que al menos los muros de los dos primeros niveles de la dirección transversal tengan que ser rehabilitados empleando malla de alambre soldado. Es posible que, además sea necesario sustituir algunos muros de mampostería por muros de concreto reforzado, que ayuden a solucionar el problema de la escasez de muros de carga en la dirección longitudinal.

7.2.2.4 Edificio de departamentos de cuatro niveles

El edificio se ubicada en la calle Los Pinos No. 365, colonia Jardines de la Corregidora; la figura 7.24 muestra un croquis de localización. De acuerdo a un plano estructural proporcionado por el propietario, el edificio se construyó en el año de 1984.

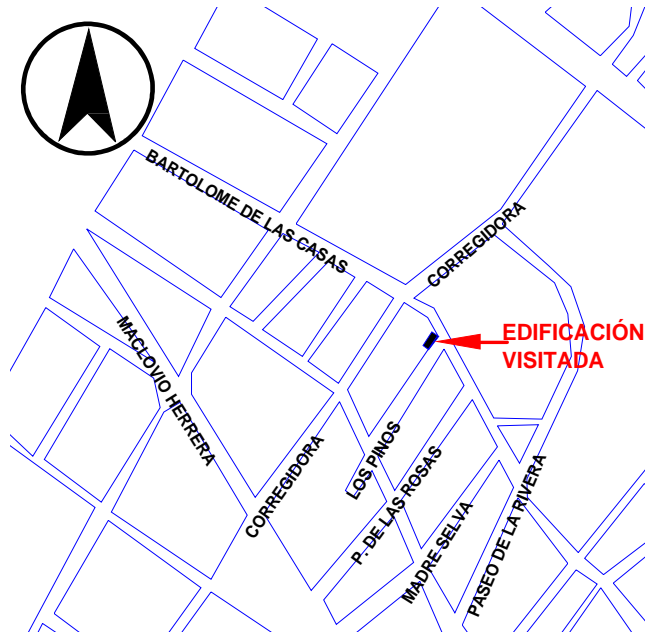


Figura 7.24 Croquis de localización

Su estructura es una combinación de marcos de concreto reforzado y muros de mampostería, en las figs. 7.25 y 7.26 se muestran la planta baja y la planta tipo de los niveles superiores. Su cimentación es de mampostería de piedra natural y zapatas aisladas para las columnas.

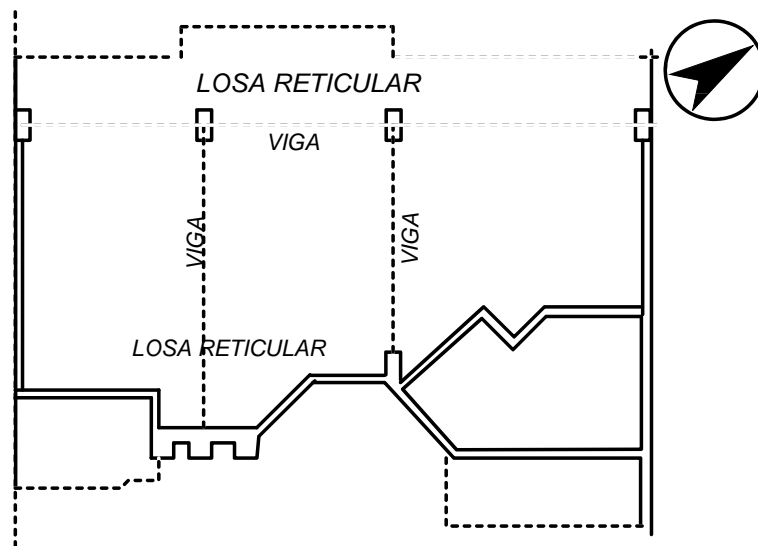


Figura 7.25 Planta baja del edificio de cuatro niveles

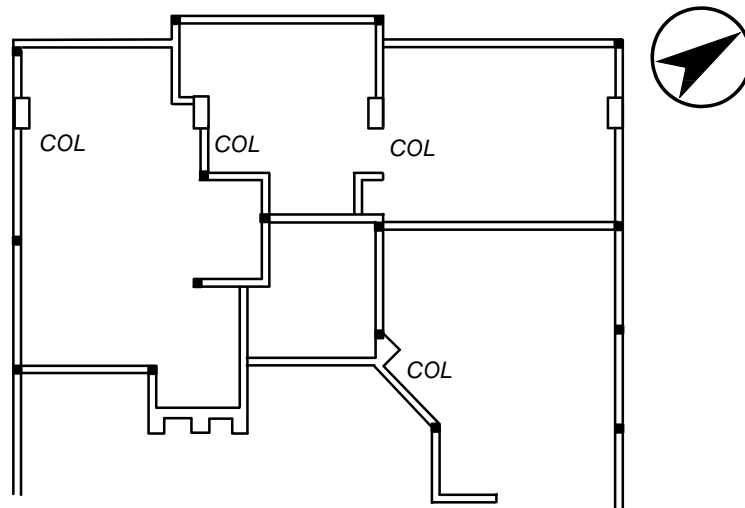


Figura 7.26 Planta tipo en niveles tres a cuatro

En la figura 7.27 se muestra la fachada posterior del edificio, en ella se aprecia que los mayores daños ocurrieron en el primer nivel del edificio; la figura 7.28 presenta las fachadas lateral y frontal. En el interior se pudo corroborar que efectivamente en el primer nivel los daños se observaron con mayor severidad, siendo la dirección paralela a la calle Los Pinos (dirección longitudinal) la que presentó los mayores daños, sin embargo, también es la más débil.



Figura 7.27 Fachada posterior del edificio



Figura 7.28 Fachadas lateral y frontal

La figura 7.29 presenta una vista general de los daños de la planta baja, se puede apreciar que los daños fueron de ligeros a moderados; se pudo constatar que los elementos de concreto presentaron daño sumamente ligero.



Figura 7.29 Daño observado en la planta baja

El daño en el primer nivel se aprecia en la figura 7.30 que presenta una vista interior de los muros dañados de la fachada posterior; la figura 7.31 presenta el caso de otro muro en la dirección longitudinal dañado; en ambos casos, es evidente la falta de elementos confinantes. La concentración de daño en el primer nivel se relaciona a que se observó un cambio de sección considerable en las columnas, lo que ocasiona un cambio brusco en la rigidez lateral de la estructura.



Figura 7.30 Vista interior del daño observado en un muro de fachada en el primer nivel

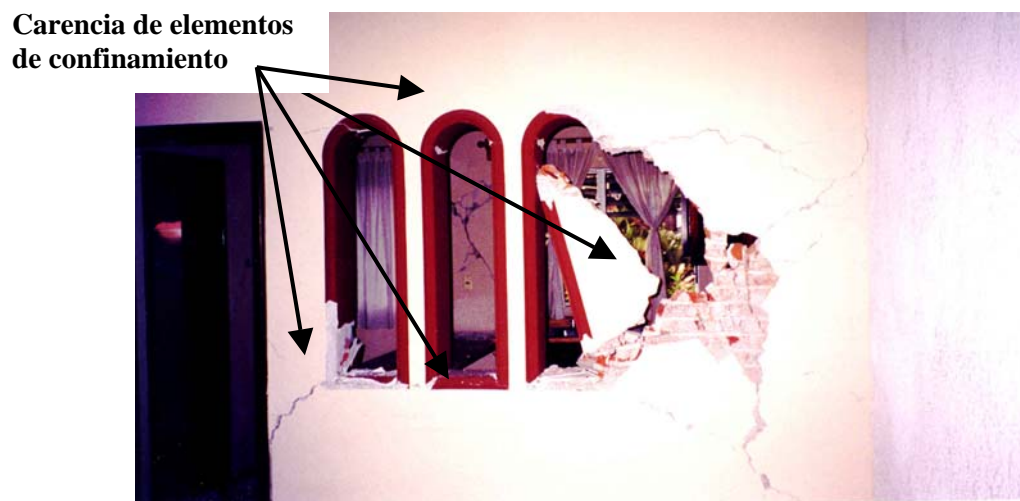


Figura 7.31 Vista del daño de un muro interior de la dirección longitudinal

El daño que se observó en el edificio aunque es severo sobre todo en el primer nivel del edificio, se puede reparar rehaciendo los muros parcialmente colapsados, asimismo se deben agregar elementos confinantes donde sea necesario y finalmente, los muros agrietados se pueden rehabilitar colocándoles malla de alambre soldado.

7.2.3 Coquimatlán

El municipio de Coquimatlán se encuentra localizado geográficamente al Suroeste de la ciudad de Colima. De acuerdo con información proporcionada en el ayuntamiento de Coquimatlán, la población total del municipio es del orden de 18750 habitantes, de los cuales, cerca de 10,000 viven en al cabecera del municipio (INEGI 2000).

El municipio tiene un poco más de 4000 viviendas, siendo la mayoría de un solo nivel. De lo observado, las edificaciones de esta población son en un alto porcentaje para casa habitación (80% aproximadamente) y el restante son construcciones de pequeños comercios y las construcciones propias del gobierno municipal. Dentro de los materiales de construcción de las edificaciones, existe aún un buen porcentaje de estructuras de mampostería de adobe (del orden de 8% del total en el municipio (INEGI 2000)) aunque la tendencia actual de construcción, según información proporcionada, es mediante el uso de bloques de cemento-arena (tabicón) o tabique rojo recocido. Los sistemas de techo de las construcciones de adobe está resuelto mediante el uso de una estructura de madera que tiene la finalidad de sostener la teja que usualmente se usa como cubierta.

En la figura 7.32 se presenta un esquema del municipio de Coquimatlán correspondiente únicamente a la zona de la cabecera del municipio. En la misma figura, se muestran los daños observados en el recorrido que se realizó por dicha localidad. De acuerdo con información proporcionada en el ayuntamiento, se contabilizaron 609 viviendas como pérdida total y 1127 viviendas con daño parcial.

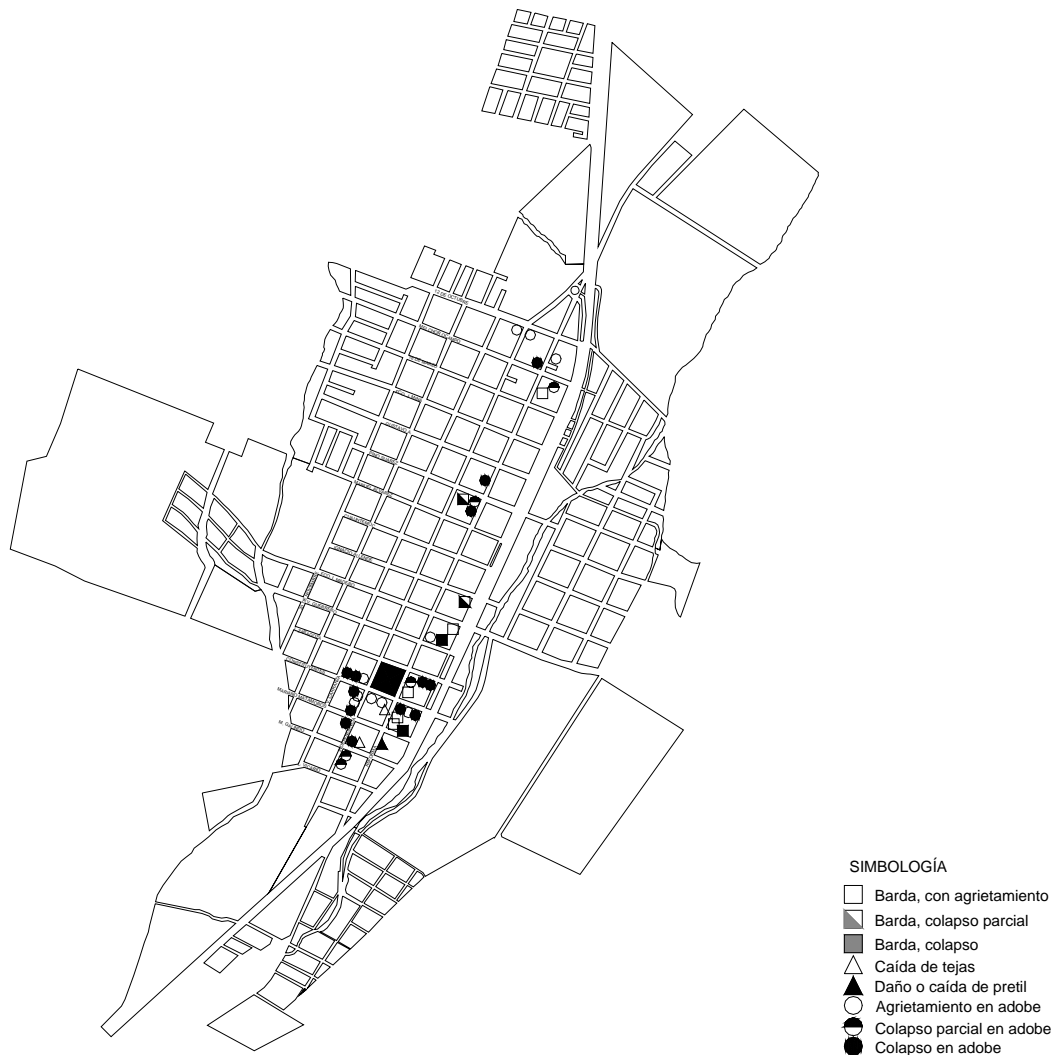


Figura 7.32 Localización de daños

7.2.3.1 Características y tipos de daño

Los daños, sus características y el nivel del mismo para esta población se puede clasificar en tres grandes rubros: para estructuras de mampostería de adobe, mampostería de tabique simple y confinada y mampostería de material mixto (adobe y tabique). A continuación se hace una breve descripción de las características y nivel de daño para cada uno de los diferentes tipos de sistemas estructurales.

7.2.3.2 Estructuras de mampostería de adobe

Las características del daño en este tipo de estructuras es consistente con lo reportado para este tipo de edificaciones en diferentes eventos sísmicos en el continente americano; la falta de elementos confinantes y de liga en las esquinas de muros ortogonales que provoca un movimiento independiente del conjunto de muros además de contar con una rigidez y resistencia baja ante fuerza ejercidas perpendiculares a su plano. Esta falta de liga entre los muros provoca agrietamiento y separación del adobe en las zonas de esquina de las estructuras (Fig. 7.33). El movimiento

independiente de los muros fuera de su plano ocasiona que el sistema de techumbre pierda el apoyo vertical, y la escasa liga que esta techumbre pudiera proporcionar al conjunto de muros, finalmente se traduce en la caída de éstas y el desplome o colapso de los muros (Fig. 7.34).



Figura 7.33 Daño en edificaciones de adobe sin liga entre muros ortogonales



Figura 7.34 Daño total en edificaciones de adobe por ausencia de liga entre los muros

Debe señalarse que al momento de la visita, efectivos del Ejército Mexicano ya habían demolido algunas construcciones y estaban en proceso de demolición en otras, que a juicio del ayuntamiento ya no tenían forma de repararse, por lo que en cierto lugares sólo se observaron escombros y en otros la superficie donde había estado la vivienda estaba completamente limpia (Fig. 7.35).



Figura 7.35 Escombros generados por la demolición de las viviendas

Otro tipo de daño observado en las construcciones, fue la caída parcial de los muros debido a la falta de liga entre el sistema de techo y los muros que lo soportan, así como la caída de los pretilas que normalmente adornan la fachada de las viviendas que al no contar con un anclaje adecuado y de masivos (pesado), al verse sometidos a movimientos de terreno se agrietan y caen (Fig. 7.36).



Figura 7.36 Ejemplo de la caída parcial de muros y pretilas

En muchas otras construcciones de este tipo de material, el daño observado consistió en la caída del recubrimiento de los muros de fachada, como se puede observar en la figura 7.37 y que no pone en peligro la estabilidad de las estructuras.



Figura 7.37 Desprendimiento del acabado en fachadas

7.2.3.3 Estructuras de mampostería de tabique simple y confinada

Por lo que respecta a las estructuras de mampostería simple, se observaron muy pocas, aunque es probable que el número de construcciones sea mayor y no se hayan detectado por la ausencia de daño. El daño detectado en este tipo de construcciones es principalmente la caída parcial de los muros y por lo tanto el colapso del sistema de techo debido a la pérdida de sustentación (Fig. 7.38).



Figura 7.38 Daño en construcción de mampostería sin confinar

Por otro lado, las construcciones de mampostería confinada no presentaron daño (Fig. 7.39) tan sólo en algunos casos se presentaron ligeros desprendimientos de acabados. En la figura 7.39 y 7.40 se puede apreciar el contraste entre la ausencia de daño en las construcciones de mampostería confinada y las construcciones de adobe.



Figura 7.39 Ausencia de daño en construcciones de mampostería confinada



Figura 7.40 Fraccionamiento habitacional con detalle ingenieril

7.2.3.4 Estructuras de mampostería mixta

En algunos puntos de la localidad, se detectaron viviendas construidas con materiales mixtos, adobe y tabique rojo o adobe con piedra (conocida la mezcla limosna). En estas construcciones el daño observado fue similar al ocurrido en las viviendas de adobe, ya que existía una falta de liga entre los muros perimetrales por lo que el movimiento relativo entre ellos era totalmente independiente provocando también la caída de la techumbre (Fig. 7.41).



Figura 7.41 Construcciones con materiales combinados y falla de los muros

7.2.4 Tecomán

En el municipio de Tecomán es muy poco el uso del adobe como material para las viviendas. De hecho, los datos del Censo de 2000 indican que sólo 0.15% de la vivienda tiene muros de adobe. En cambio, en décadas pasadas ha sido muy utilizado un sistema particular de construcción que consiste en levantar un "armazón" con postes y vigas de madera y después llenar las crujías con mampostería de tabique (Fig. 7.42).

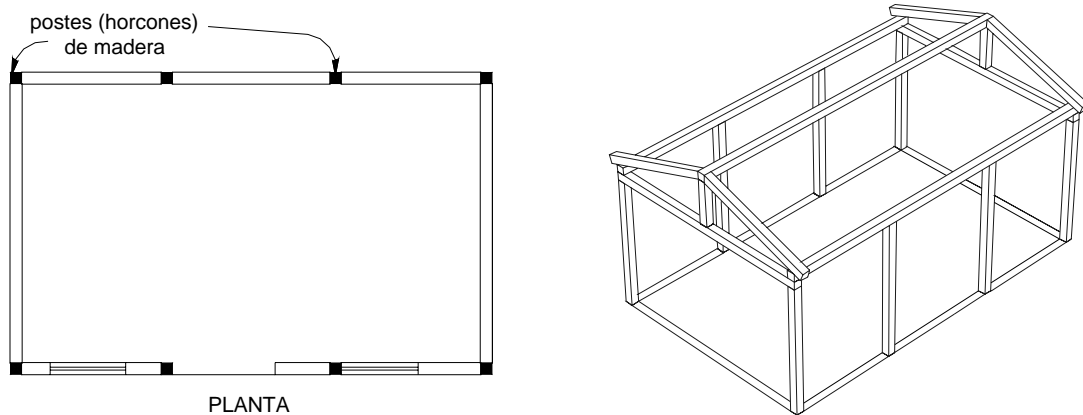


Figura 7.42 Planta y estructura de madera de un tipo de vivienda usado en Tecomán, Col.

Similarmente a la geometría ya descrita en otras localidades, este tipo de construcción tiene techo a dos aguas, y la viga de la cumbrera la reciben los muros cabeceros que terminan en forma triangular en su parte superior; se vio en varios casos que la carga de la viga se transmite por un puntal vertical a una viga horizontal en el muro cabecero (Fig 7. 43).



Figura 7.43 Vivienda con postes y vigas de madera y paneles de mampostería de tabique

Según información proporcionada por personal del municipio, la costumbre del uso de madera está decayendo, y ahora empiezan a usar elementos de concreto reforzado (castillos y dalas). Incluso, para mejorar viviendas, ha sido práctica común quitar los elementos de madera y en el hueco construir los castillos.

El daño observado en la vivienda de Tecomán fue similar al descrito en otras localidades. En la figura 7.44 se muestra un daño moderado en una vivienda de adobe en esquina, así como la caída de una barda donde también usaron postes (u "horcones") de madera como refuerzo.



Figura 7.44 Daño en vivienda y bardas reforzadas con madera

En la figura 7.45a se muestra la caída de un muro de mampostería y en la figura 7.46b se muestra el daño en una vivienda con escasa cuantía de muros en su primer nivel.



(a)



(b)

Figura 7.45 Colapso de muro de mampostería y daño en otra edificación, Tecomán, Colima

7.2.5 Ixtlahuacán

En el municipio de Ixtlahuacán se visitó solamente la cabecera municipal, donde se apreciaron daños en vivienda, aulas escolares, la iglesia del lugar y el kiosco de la plaza central. En seguida, se hace una descripción del nivel de seguridad estructural de las construcciones visitadas.

La vivienda fue el sector más dañado en Ixtlahuacán, al momento de la visita se estaban iniciando los trabajos de levantamiento de daño. Para tal efecto, la zona urbana se dividió en cuatro zonas, la figura 7.46 muestra cada una de ellas.

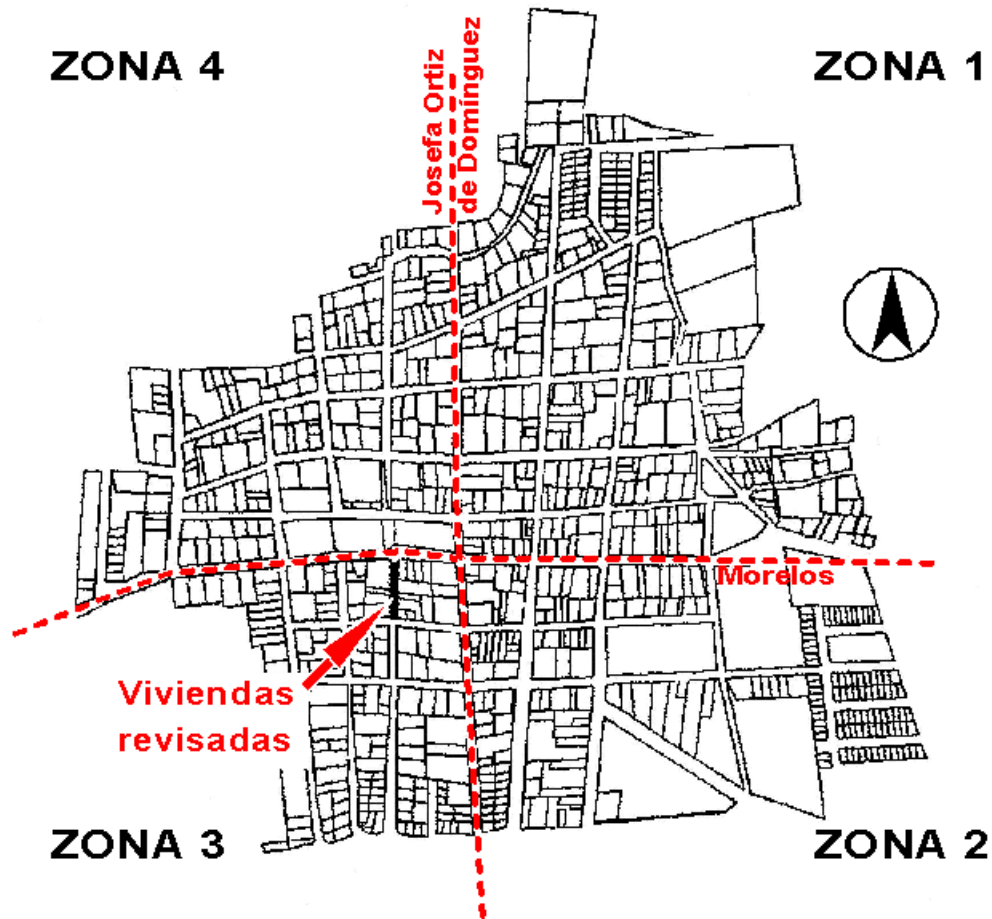


Figura 7.46 División de la zona urbana de la cabecera municipal del Ixtlahuacán

Con ayuda de funcionarios municipales, se seleccionó una calle representativa del daño que se presentó en la zona urbana. En la figura 7.47 se muestra con detalle un croquis de localización de las viviendas visitadas. En la misma figura, también se indica el nivel de daño que, a juicio de los autores, presentaban. El daño se clasificó en tres tipos:

- Daño tipo I: aquel en el que existe agrietamiento ligero de los muros de carga;

- Daño tipo II: aquel en el que existe agrietamiento severo de un número considerable de muros de carga;
- Daño tipo III: aquel en el que existe un número considerable de muros agrietados y además el colapso total o parcial de uno o varios de ellos. También puede existir el colapso total o parcial del sistema de techo.

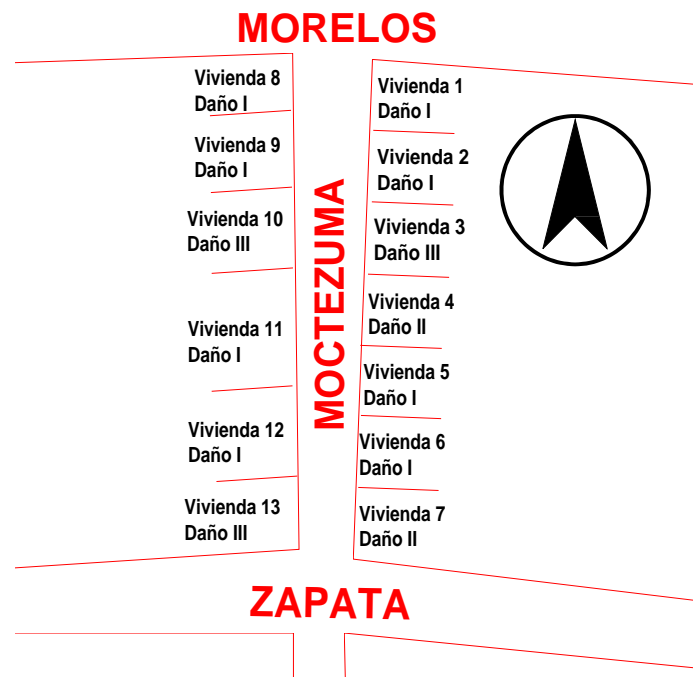


Figura 7.47 Ubicación y nivel de daño de las viviendas visitadas en Ixtlahuacan

Con el fin de ejemplificar el daño en las viviendas visitadas, en la figura 7.48 se muestra la vivienda 11 con daño tipo II, la figura 7.49 muestra el interior de la misma.



Figura 7.48 Vivienda número 11 con nivel de daño tipo II



Figura 7.49 Muros dañados en el interior de la vivienda no. 11

Una muestra de daño tipo III son las viviendas número 3, 10 y 13. Las figuras 7.50 y 7.51 muestran una vista exterior de la vivienda número 10 y el daño en los muros interiores de la misma; se trata de una construcción de muros de carga de mampostería deficientemente confinados. Se observa, en la figura 7.51 que gran parte del daño se debió, precisamente, a la falta de elementos confinantes.



Figura 7.50 Vista exterior de la vivienda 10



Figura 7.51 Daño en muros interiores de la vivienda 10

Las viviendas número 3 y 13, son viviendas de mampostería simple en las que se sustituyeron los elementos confinantes de concreto (daldas y castillos) por barrotes de madera. Las figuras 7.52 y 7.53 muestran ambas viviendas, es evidente, en los dos casos, el deficiente desempeño sísmico de la mampostería y es claro que los barrotes de madera no son suficientes como para sustituir a los elementos confinantes de concreto. En la vivienda número 3, se observa además, que la mala sujeción de las tejas provocó su movimiento y la caída de gran parte del techo.



Figura 7.52 Vivienda número 3 con daño tipo III



Figura 7.53 Vivienda número 13 con daño tipo III

7.2.6 Villa de Álvarez

La zona inspeccionada de Villa de Álvarez fue la cabecera municipal, que se encuentra integrada a la zona urbana de la ciudad de Colima, al Noreste de la misma. Originalmente Colima y Villa de Álvarez eran dos poblaciones, separadas a 4 km, pero el crecimiento urbano las ha conectado como una sola mancha urbana. El daño en la vivienda se observó concentrado en la zona marcada en la figura 7.54 a lo largo de la calle Guillermo Prieto y calles circundantes. En esta zona hubo evidencia que se tuvieron efectos locales debidos a las condiciones del terreno, fenómeno que se ha descrito en el Capítulo 5.

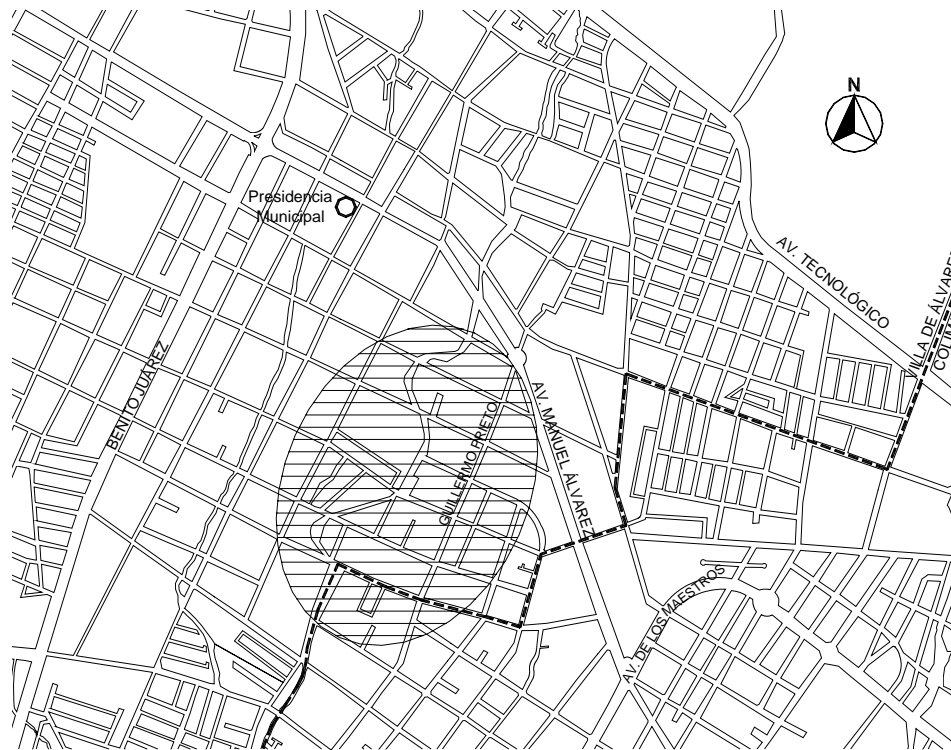


Figura 7.54 Ubicación de la zona de mayor afectación en vivienda en Villa de Álvarez, Col.

De las poblaciones visitadas en el estado de Colima esta es la zona en donde el daño tuvo mayor concentración e intensidad en vivienda, razón por la cual, para el día 25 de enero (4 días después del sismo) la maquinaria del ejército y de constructoras civiles ya habían demolido y retirado los escombros de amplias zonas donde se tuvo colapso o daños severos generalizados (Fig.7.55).



Figura 7.55 Demolición de vivienda severamente dañada o colapsada y retiro de escombros

En la figura 7.56 se muestra un ejemplo de los amplios lotes que fueron dejados tras el retiro de escombros de decenas de viviendas dañadas. Presumiblemente se trataban de colapsos totales en vivienda de adobe, pero, en el probable caso de estructuras no colapsadas, no se pudo corroborar el nivel de daño para el cual pudieron haberlas considerado irreparables y procedido a su demolición.



Figura 7.56 Retiro de escombros de viviendas dejando predios vacíos, Villa de Álvarez, Col.

7.2.6.1 Adobe

La vivienda de adobe se ubica principalmente en la zona cercana al centro político de la localidad y su geometría es similar a la descrita para la ciudad de Colima. El daño observado en la vivienda es el característico de este tipo de material, mismo que se ha explicado en la descripción de daños en Colima.

En la figura 7.57 se muestra la geometría típica de la vivienda de adobe en la zona urbana, con techo a dos aguas, principalmente de teja de arcilla, y de menor uso de lámina acanalada. Es común que compartan muros cabeceros entre viviendas consecutivas a lo largo de la cuadra. En dicha figura se ejemplifica el tipo de daño ligero con desprendimiento de recubrimiento y algunos agrietamientos verticales e inclinados.



Figura 7.57 Daño ligero en vivienda de adobe

En la figura 7.58 se muestra el tipo de daño con colapso parcial en zonas vulnerables como dinteles de puertas y ventanas o el colapso de la esquina. El espesor de los muros de adobe observado oscila entre 40 y 50 cm. Nótese también la presencia de agrietamientos inclinados en segmentos de muro entre aberturas o entre el extremo de la vivienda y las aberturas. El agrietamiento inclinado en muros de adobe, así como las grietas verticales en las esquinas representaron los tipos principales de daños observados en estructuras de este material.



Figura 7.58 a) Daño severo con colapso parcial, b) Colapso de esquina en vivienda de adobe

7.2.6.2 Mampostería simple

La mayor parte de la construcción de vivienda en la cabecera municipal la constituye el uso de tabique macizo de arcilla hecho a mano, con espesores de muro de 13 a 14 cm, y unido, por lo general, con mortero pobre a base de cal y cemento.

Las dos categorías en que se puede considerar agrupada la geometría de las viviendas son, por un lado, una geometría sencilla de vivienda rectangular con techo a dos aguas, similar a las viviendas tradicionales de adobe, sólo que usando tabique en vez de adobes; y la otra es mediante el uso de losas de concreto, donde se tienen viviendas de uno o dos niveles. Estas últimas, ubicadas en

predios rectangulares dentro de las manzanas, cuentan con largos muros de colindancia normales a la calle y muros cortos con aberturas de puertas y ventanas paralelos a la calle.

Se pueden clasificar como estructuras de mampostería simple a un amplio número de viviendas a pesar de contar con elementos de concreto reforzado, como las mismas losas para techos y entrepisos, así como cerramientos de concreto sobre aberturas para puertas y ventanas, o cadenas de concreto que rodean toda la casa y sirven de cerramiento a las aberturas. A éstas las consideramos de mampostería simple pues los elementos estructurales que son los muros de carga no cuentan con castillos de confinamiento ni otro tipo de refuerzo.

Las estructuras de las figuras 7.61 y 7.62 fueron casos severos de daños observados en la zona marcada en el mapa de la figura 7.54 anterior, en donde se identificaron problemas muy particulares en el terreno de cimentación (ver Cap. 5). Fuera de esta zona, los daños a mampostería simple fueron moderados, caracterizados por grietas inclinadas de pequeño grosor en muros.

El daño característico observado en estas estructuras fue el agrietamiento inclinado de los muros o segmentos de muro entre aberturas, en donde el espesor de las grietas dependió de la posibilidad de desplazamiento lateral de la parte superior de la estructura o de la posibilidad de que los grandes bloques en que quedó dividido el muro se desplazaran, por ejemplo, hacia el mismo hueco de la abertura. Cabe mencionar que un adecuado confinamiento con castillos y dalas controlaría el tamaño de las grietas, permitiendo el trabajo del muro por fricción entre las grietas, además de proporcionar capacidad de deformación y una reserva de resistencia una vez que el muro se ha agrietado.

En la 7.59a se muestra el modo de falla de un muro de mampostería simple, iniciado por grietas inclinadas donde debido a la falta de elementos de refuerzo puede derivar en el colapso súbito simplemente por la caída o el volteo fuera del plano de los grandes fragmentos en que se divide el muro. En una falla como ésta, además de perder la resistencia a carga lateral se pierde el elemento resistente vertical por lo que el colapso total de la estructura sería inminente.



Figura 7.59 a) Daño en muro de mampostería simple; b) Agrietamiento en "X" en un segmento de muro entre ventanas, Villa de Álvarez, Col.

En la 7.59b se muestra el daño representativo de segmentos de muro entre aberturas. La acción del sismo en una dirección genera el agrietamiento inclinado hacia un lado, y al cambiar a la dirección contraria, se produce la grieta en la otra dirección conformando el patrón de grietas en

"X". Debido a la distribución interna de los esfuerzos en el elemento, las grietas inclinadas siguen aproximadamente las diagonales del muro buscando las esquinas de la abertura, lugar en donde se concentra el daño.

En la figura 7.60 se muestran más ejemplos del daño en mampostería simple. Las fachadas típicas observadas poseen aberturas para puertas, ventanas, y en algunos casos unas pequeñas aberturas para el medidor del suministro eléctrico. Se observó que incluso pequeñas aberturas para el medidor o ventilas debilitó el segmento de muro en la que se ubica, generando una trayectoria débil por donde se extendió el agrietamiento (Fig. 7.61).

En múltiples casos observados los muros con aberturas, como los de fachada, sí poseen castillos pero no en los lugares adecuados. En la figura 7.62 se presenta un ejemplo de una vivienda con castillos y dadas de confinamiento; aunque la separación entre castillos cumpliera con las especificaciones reglamentarias, no se colocaron estos elementos en el perímetro de las aberturas en el muro de fachada. El castillo colocado en el centro del segmento de muro no proporcionó confinamiento a éste, resultando el comportamiento de esta fachada como el de un muro de mampostería simple. Nótese además la presencia del hueco para el medidor eléctrico.

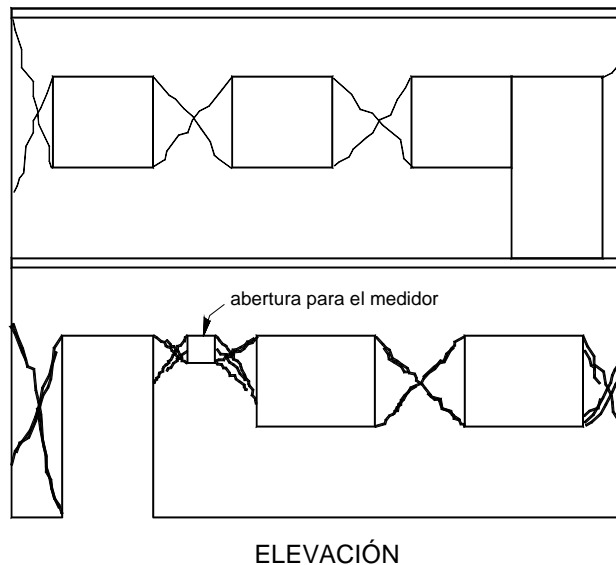


Figura 7.60 Geometría y patrón típico del agrietamiento en muros de fachada con aberturas



Figura 7.61 Viviendas de mampostería no reforzada, Villa de Álvarez, Col.

Este caso es representativo del daño en este tipo de vivienda, aunque el daño severo mostrado en las fotos se registró en la zona marcada en el mapa de la figura 7.54, fuera de ella se detectaron algunos casos con agrietamientos con la misma distribución, pero con mucho menor espesor de grietas.



Figura 7.62 Daño severo representativo de vivienda de mampostería de tabique (el castillo está al centro del muro y no en sus bordes), Villa de Álvarez, Col.

7.2.6.3 Mampostería confinada

En general la mampostería confinada correctamente tuvo un excelente desempeño. Si bien se observaron en la zona de mayor daño (con efectos locales muy demandantes) muros de mampostería confinada con agrietamientos inclinados formando el patrón en "X", estos

agrietamientos fueron controlados por los elementos de confinamiento, permitiendo que sus estructuras resultaran en condiciones de ser rehabilitadas con técnicas que minimizarán los costos de reparación y refuerzo.

En la figura 7.63 se presenta, a modo de ejemplo, el contraste entre una construcción que sufrió colapsos parciales y una vivienda de mampostería confinada intacta, como fue la mayoría de las viviendas del municipio.



Figura 7.63 Junto a una construcción con daño, una vivienda intacta

7.3 ESTADO DE JALISCO

Después del estado de Colima, Jalisco fue la entidad federativa que presentó graves daños en viviendas principalmente en los municipios colindantes a este. Según los datos del Instituto Promotor de la Vivienda del Estado de Jalisco (IPROVIPE), más de 5200 viviendas fueron afectadas por el sismo del 21 de enero (ver tabla 7.1).

Tabla 7.1 - Viviendas dañadas por el sismo de Tecomán, en el estado de Jalisco

| Municipio: | Total (dañadas) | Daño leve | Daño moderado | Daño Grave (pérdida total) |
|--------------------------------------|-----------------|--------------|---------------|----------------------------|
| Cuautitlán de García Barragan | 1,311 | 721 | 472 | 118 |
| Zapotitlán de Vadillo | 1,017 | 220 | 522 | 275 |
| Autlán de Navarro | 647 | 118 | 527 | 2 |
| Tuxpan | 575 | 162 | 383 | 30 |
| Pihuamo | 265 | 36 | 227 | 2 |
| Tolimán | 222 | 112 | 59 | 51 |
| Villa Purificación | 221 | 83 | 131 | 7 |
| Tuxcacuesco | 149 | 90 | 44 | 15 |
| San Gabriel | 148 | 63 | 79 | 6 |
| Tepalpa | 144 | 19 | 120 | 5 |
| Tecalitlán | 105 | 8 | 96 | 1 |
| Tonila | 103 | 29 | 60 | 14 |
| Limón, El | 82 | 49 | 24 | 9 |
| Sayula | 57 | - | 52 | 5 |
| Zapotlán El Grande | 37 | 19 | 14 | 4 |
| Grullo, El | 24 | 1 | 23 | - |
| La Huerta | 17 | 12 | 4 | 1 |
| Unión de Tula | 17 | 12 | 4 | 1 |
| Ameca | 15 | 7 | 7 | 1 |
| Cuautla | 15 | 10 | 5 | - |
| San Martín Hidalgo | 14 | 8 | 2 | 4 |
| Atenguillo | 13 | 6 | 7 | - |
| Chiquilistlán | 13 | 5 | 8 | - |
| Mascota | 12 | 9 | 2 | 1 |
| Zacoalco de Torres | 12 | 8 | 4 | - |
| Ejutla | 10 | 8 | 2 | - |
| Chapala | 6 | 1 | 5 | - |
| Casimiro Castillo | 5 | 1 | 3 | 1 |
| Gómez Farías | 5 | 3 | 2 | - |
| Tequila | 4 | - | 3 | 1 |
| Salto, El | 3 | 2 | 1 | - |
| San Sebastián del Oeste | 3 | - | 3 | - |
| Total en municipios afectados | 5,271 | 1,822 | 2,895 | 554 |

- no se tuvo reporte de daño

La distribución observada de las viviendas dañadas se concentró en mayor porcentaje en las comunidades rurales. En la figura 7.64 se muestra la distribución del nivel de daño en las viviendas afectadas.

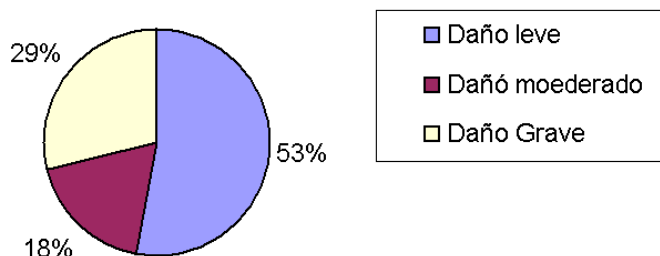


Figura 7.64 Distribución de daños en viviendas del Estado de Jalisco

Daño leve: Desprendimientos de recubrimiento, caída de algunas tejas, fisuras inclinadas en muros de mampostería con anchuras menores a 2 mm, y daños menores en elementos no estructurales.

Daño moderado: Agrietamiento diagonal en muros y fisuramiento incipiente en elementos de confinamiento sin poner en riesgo la seguridad estructural de la vivienda. Desplome de muros menor a 5%, Grieta verticales en esquinas.

Daño grave: Colapso parcial o total de la vivienda, agrietamiento y desconchamiento del concreto de elementos confinantes (castillos) y plegamiento o fractura del acero de refuerzo. Desplome de muros mayores a 5%, Grietas inclinadas y anchas en más de la mitad de los muros.

En general, los principales daños se concentraron en las viviendas de adobe seguidos con un daño relativamente menor en las viviendas de mampostería simple (aquella que no está reforzada ni confinada con elementos de concreto reforzado o acero). También se observó daño en vivienda de mampostería reforzada con castillos y dadas de concreto reforzado, aunque éste fue en menor cantidad, y estuvo asociado a defectos constructivos o a una escasa cuantía de muros en la dirección más solicitada por el sismo.

Las viviendas de adobe dañadas o colapsadas se pueden catalogar como relativamente antiguas. Se observó un mantenimiento deficiente que originó la erosión y desgaste del adobe; incluso en algunos de los casos de colapso total se trataron de construcciones (casas y bardas) en predios abandonados.

En la región predomina el sistema de techo de teja de barro, lamina de cartón o metálica. Sin embargo, también se observó el uso de bóveda catalana.

En lo que se refiere a muros de carga, predomina el uso de piezas de arcilla recocida para la construcción de viviendas, tabique macizo y listón, este último es de mayores dimensiones: 20 cm de ancho, 7 cm de alto y 40 cm de largo. En contraste con el tabique común cuyas dimensiones son: 14 cm de ancho, 4 cm de alto y 28 cm de largo, y aunque éste tiende a desaparecer aun existen un número importante de construcciones que fueron edificadas con ese tipo de piezas. La mayoría de las construcciones fueron edificadas a principios y mediados del siglo pasado, entre 1930 y 1970, y son de mampostería simple o adobe.

También se pudo apreciar un nivel de daño considerable en construcciones de dos niveles. El daño se concentró en la planta baja. Al parecer es una práctica común de los pobladores construir los segundos pisos de sus viviendas sobre muros de adobe o de mampostería simple sin reforzar previamente con elementos de concreto o de acero.

La tendencia actual observada en la construcción de vivienda unifamiliar es el uso de piezas de mampostería (tabique macizo de arcilla recocida) con castillos y dalas de concreto reforzado y sistemas de techos a base de bóveda catalana o losa maciza de concreto armado.

Se visitaron los municipios que presentaron mayores daños. En las siguientes secciones se describe el tipo y distribución de los daños más comunes observados en los distintos tipos de vivienda por municipio visitado.

7.3.1 Autlán de Navarro

El municipio se localiza a 36 km al Suroeste del municipio de Unión de Tula y a 17 km al oeste del municipio de El Grullo.

7.3.1.1 Tipología de vivienda

En la región predominan las viviendas con muros de mampostería simple de arcilla recocida y de adobe. Asimismo, es común el uso de sistemas de techo a base de teja de barro sobre una cuadrícula construida de rollizos de madera apoyados sobre los muros y de techumbres resueltas con bóveda catalana.

Como en la mayoría de los municipios colindantes con Autlán de Navarro se tiene la práctica de construir bardas de adobe y de mampostería de barro recocido sin refuerzo a momento fuera de su plano, es decir, mampostería simple. Sin embargo, ya comienza a utilizarse la mampostería confinada con elementos de concreto reforzado (castillos y dalas). Desafortunadamente, no se refuerzan las aberturas en puertas y ventanas.

7.3.1.2 Daños observados

Durante la visita no se observó daño severo, tal como agrietamiento o separación de muros en las esquinas de las viviendas, construidas a base de muros de adobe y de mampostería simple de barro recocida (Fig. 7.65). La mayoría de las viviendas con daño severo, presentaron colapso parcial o total de muros y techos, también se apreció agrietamiento previo al sismo de Tecomán, así como un gran deterioro por falta de mantenimiento, a tal grado que en algunos muros habían crecido algunas hierbas (Fig. 7.66).

Se pudo observar que el movimiento del sismo provocó el corrimiento de los rollizos de madera que soportaban el sistema de techo a base de tejas de barro o de bóveda catalana. Incluso, en varios casos, provocó, el colapso total de la techumbre y el desprendimiento de las esquinas y elementos de apoyo de los rollizos (Fig. 7.67).



Figura 7.65 *Caída de teja en la periferia del sistema de techo, agrietamiento de muros y pérdida de recubrimiento en construcciones relativamente antiguas sin mantenimiento*



Figura 7.66 *Corrimiento de los rollizos de madera que soportaban el sistema de techo y colapso total de la techumbre*



Figura 7.67 *Agrietamiento vertical en esquinas de muros de mampostería por ausencia de elementos que los ligan a muros transversales*

En una de las viviendas visitadas el sistema de techo estaba resuelto a base tejas de barro sobre de viguetas prefabricadas de concreto reforzado, algunas de las cuales presentaban grietas por flexión al centro del claro. Sin embargo, no se pudo precisar si se deben a la carga que transmite el sistema de techo o bien a un daño sufrido durante su colocación (Fig. 7.68).



Figura 7.68 *Agrietamiento por flexión en viguetas de concreto reforzado que soportan la tejas de barro*

7.3.2 Cocula

La ciudad de Cocula se encuentra a 64 km de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, en dirección Suroeste, y a 21 km del municipio de Villa Corona. Es una de las más importantes del estado por su relevancia en musical, el mariachi, que forma parte del folclor jalisciense. El nombre de Cocula se deriva de la lengua coca que a su vez deriva del Náhuatl: De Cocolli o Dios del Fuego y de la Tierra, y de la terminación "Tlan" que quiere decir lugar.

7.3.2.1 Tipología de la vivienda

Predominan las construcciones antiguas, construidas hace más de tres décadas, cuyas características son:

- Muros: adobe con recubrimiento de mortero (en la zona se conoce con el nombre de enjarre) y mampostería simple de arcilla recocida.
- Techos: predomina las cubiertas de teja sobre un bastidor de madera y las cubiertas a base de bóveda catalana.
- Número de niveles: predomina las viviendas unifamiliares de un sólo nivel, con alturas de entrepiso del orden de 3 m.

Existe la tendencia en las nuevas construcciones del uso de la mampostería confinada.

7.3.2.2 Daños observados

Daños menores: Agrietamiento en algunos muros de adobe y mampostería simple de viviendas relativamente antiguas y en algunas bardas.

El agrietamiento en los muros de mampostería simple y adobe se presenta como consecuencia de su escasa resistencia ante fuerzas laterales. El tipo de agrietamiento predominante fue por asentamientos diferenciales en las edificaciones (Figs. 7.69 y 7.70).



Figura 7.69 Agrietamiento de muros por asentamientos del terreno (asentamiento diferencial)



Figura 7.70 Desprendimiento del recubrimiento o enjarre en muros de adobe

7.3.3 El Grullo

Se ubica a 29 km al sur del municipio de Unión de Tula.

De la visita realizada a este municipio se observó que predominan las estructuras para vivienda unifamiliar, resueltas con muros adobe y de mampostería simple con recubrimiento de mortero.

Durante la visita se revisaron varias viviendas que presentaron daño de moderado a severo.

7.3.3.1 Tipología de la vivienda

Predominan construcciones relativamente antiguas con las siguientes características:

- Muros: de adobe y de mampostería de piezas de arcilla recocida sin refuerzo alguno (mampostería simple);
- Techos: teja, lamina (de cartón y metálica) y bóveda catalana, esta última principalmente en viviendas de dos ó más niveles;
- Bardas: de mampostería simple (no reforzada ni confinada);
- Número de niveles: predomina la vivienda unifamiliar de un nivel.

En la zona existe la tendencia al uso de mampostería de piezas de arcilla recocida confinada y sistemas de piso-techo a base de bóvedas catalanas. También, como en otros municipios cercanos a éste se tiene la mala practica constructiva de construir pisos superiores sobre muros de adobe o mampostería simple (sin refuerzo o confinamiento alguno) (Figs. 7.71 y 7.72).



Figura 7.71 Muros de adobe, piezas de arcilla recocida, piedras o una combinación de estas



Figura 7.72 Tendencia a construir sobre muros de carga de adobe o mampostería simple (no confinada ni reforzada)

7.3.3.2 Daños observados

Durante la visita se apreciaron daños en varias viviendas de mampostería simple de arcilla recocida simple y adobe. Se observaron agrietamientos verticales en las esquinas y caída de tejas (Fig. 7.73)

En algunas construcciones se tuvo la caída parcial y total de los muros y por consecuencia de su sistema de techo.

También, resultaron dañadas seriamente las construcciones de dos pisos de mampostería simple y aquellas donde se construyó con mampostería confinada con elementos de concreto reforzado pero sobre un primer nivel con muros de adobe sin refuerzo (Fig. 7.74).



Figura 7.73 Agrietamiento de vertical en muros de esquina



Figura 7.74 *Agrietamiento en mampostería confinada con elementos de concreto reforzado de segundos niveles sobre un primer nivel con muros de adobe sin refuerzo*

7.3.4 Juchitlán

Esta población se localiza a 119 km de la ciudad de Guadalajara y a 15 km del municipio de Tecolotlán en dirección Suroeste.

En el recorrido que se hizo por el lugar, no se detectaron construcciones con daño.

7.3.4.1 Tipología de la vivienda (Predominante)

- Muros: adobe y mampostería simple de arcilla recocida (Figs 7.75 y 7.76) ;
- Techos: predominan los techos de teja;
- Número de niveles de las edificaciones: predomina la vivienda unifamiliar de un nivel.



Figura 7.75 *Las viviendas están resueltas principalmente con adobe y mampostería simple (no reforzada) con recubrimiento de mortero (enjarre)*



Figura 7.76 *Tendencia a construir bardas de gran longitud de mampostería simple (sin refuerzo de elementos para resistir momento fuera del plano)*

7.3.4.2 Daños observados

Daños menores: agrietamiento vertical en algunos muros de adobe y caída de recubrimiento o enjarre.

7.3.5 Pihuamo

Para la inspección de este lugar se contó con el apoyo un grupo de investigadores del Instituto de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Guadalajara.

7.3.5.1 Tipología de la vivienda (Predominante)

En forma similar a los municipios mencionados anteriormente el tipo de vivienda que predomina es unifamiliar de un sólo nivel resuelto a base de mampostería simple.

- Muros: mampostería simple de adobe, tabique recocido y piedras;
- Techos: teja de barro sobre rollizos y vigas de madera apoyados sobre los muros;
- Bardas: de mampostería simple de adobe, tabique recocido y piedras;
- Número de niveles de las edificaciones: un sólo nivel.

Tendencias: persiste la práctica de construir vivienda de mampostería de barro recocido (tabique y listón) sin refuerzo o confinamiento con elementos de concreto reforzado.

7.3.5.2 Daños observados

A causa de la falta de confinamiento se presentó agrietamiento diagonal en muros y en las esquinas de las aberturas (puertas y ventanas) (Fig. 7.77).



Figura 7.77 Agrietamiento diagonal de muros

También, hubo colapsos parciales de sistemas de techo por pérdida de apoyo de los elementos de soporte (Fig. 7.78). Así como, agrietamiento vertical en muros cabeceros (Fig. 7.79). Ambos tipos de daños están relacionados con el trabajo independiente de los muros y su nula resistencia a momento fuera de su plano.



Figura 7.78 Colapso de sistema de techo por pérdida de apoyo



Figura 7.79 Agrietamiento vertical en muros cabeceros

7.3.6 Tecolotlán

Tecolotlán se localiza a 104 km de la ciudad de Guadalajara en dirección Suroeste y a 39 km del municipio de Cocula.

7.3.6.1 Tipología de la vivienda (Predominante)

- Muros: adobe con recubrimiento (enjarre) y mampostería simple;
- Techos: teja sobre un bastidor de madera;
- Número de niveles de las edificaciones: predomina la vivienda unifamiliar de un piso.

Tendencias: uso de la mampostería confinada con elementos de concreto reforzado (castillos y dalas).

7.3.6.2 Daños observados

Hubo daños menores como el desprendimiento de recubrimiento en algunos muros de adobe, en particular en construcciones relativamente antiguas. Asimismo, se observó desprendimiento del recubrimiento de muros por no haber una buena adherencia entre el mortero empleado y el adobe.

7.3.7 Tolimán

7.3.7.1 Tipología de la vivienda (Predominante)

- Muros: adobe y mampostería de arcilla recocida sin refuerzo con recubrimiento de mortero (enjarre);

- Techos: teja y bóveda catalana;
- Bardas: de mampostería simple de arcilla recocida y adobe;
- Número de niveles las edificaciones: predomina la vivienda unifamiliar de un sólo nivel.

Tendencias: uso de mampostería reforzada con elementos de concreto reforzado (castillos y dalas).

7.3.7.2 Daños observados

Agrietamiento diagonal severo en algunos muros de adobe y mampostería simple y caída de bardas de adobe y/o con mampostería de piedra (Fig. 7.80).

Durante al visita se observo daño en dos viviendas de dos niveles construidas recientemente, ambas presentaron agrietamiento severo en muros, castillos y dalas. La causa principal del daño fue la escasa cantidad de muros en la planta baja lo que derivó en un sistema de piso débil (Figs. 7.81 a 7.85).



Figura 7.80 Agrietamiento vertical en muros de esquina y su consecuente separación de muros en vivienda con muros de adobe y piedra



Figura 7.81 Vivienda de mampostería confinada con escasa cuantía de muros en planta baja (piso blando), en reparación con elementos de concreto (castillos y dalas)



Figura 7.82 Agrietamiento en muros de segundo nivel construidos con mampostería simple de arcilla recocida



Figura 7.83 Agrietamiento diagonal de muros de mampostería no reforzada ni confinada



Figura 7.84 Agrietamiento severo de muros de mampostería simple



Figura 7.85 Caída de muros de contención (de piedra) sin refuerzo para resistir empuje del suelo

7.3.8 Tonaya

Se localiza al 35 km en dirección Sureste del municipio de El Limón.

7.3.8.1 Tipología de la vivienda (Predominante)

- Muros: de adobe, mampostería simple (sin refuerzo) de arcilla recocida y/o piedras;
- Techos: teja y bóveda catalana;
- Bardas: de mampostería simple de arcilla (recocida y/o pedrería);
- Número de niveles de las edificaciones: predomina la vivienda unifamiliar de un sólo nivel.

Tendencias: uso de mampostería de arcillar recocida reforzada con elementos confinantes de concreto reforzado en los muros de carga.

7.3.8.2 Daños observados

En general se apreciaron daños menores, tales como agrietamientos de esquina en algunos muros de adobe de construcciones relativamente antiguas o abandonadas (Fig. 7.86).



Figura 7.86 Agrietamiento en construcciones relativamente antiguas con muros de abobe, tabique de barro y piedra sin refuerzo

7.3.9 Tonila

7.3.9.1 Tipología de la vivienda

- Muros: de adobe y mampostería de tabique recocado simple recubiertos con mortero;
- Techos: bóveda catalana;
- Número de niveles de las edificaciones: en un alto porcentaje existen construcciones de un sólo nivel.

Tendencias: mampostería simple y mampostería confinada con elementos de concreto reforzado (dalas y castillos).

7.3.9.2 Daños observados

El tipo de daño que predominó fue el agrietamiento diagonal de los muros y en las esquinas de las aberturas (Figs. 7.87 a 7.90). Este tipo de daño está asociado a una falta de confinamiento y liga de los muros.



Figura 7.87 Movimiento relativo entre dos construcciones y falla de la parte superior de la construcción de mayor altura



Figura 7.88 Agrietamiento en aberturas de muros de mampostería simple



Figura 7.89 Agrietamiento en la intersección de muros



Figura 7.90 Agrietamiento vertical que nace en el apoyo de la viga principal del sistema de techo en muros cabeceros

7.3.10 Unión de Tula

Esta población se localiza a aproximadamente 158 km al Suroeste de ciudad de Guadalajara y a 30 km del municipio de Juchitlán. La mayoría de las construcciones están destinadas a vivienda y construidas mediante muros de mampostería, de adobe y tabique de barro recocido.

Predomina la vivienda unifamiliar de un nivel con muros de mampostería de arcilla recocida. De la visita se observó que la mayoría de las construcciones relativamente antiguas (de más de una década) están resueltas con muros adobe y de mampostería simple (sin refuerzo alguno) e incluso se combinaron estos materiales con piedra braza para construir muros. Las viviendas recientes se construyen en su mayoría con mampostería de arcilla recocida confinada con elementos de concreto reforzado (dadas y castillos). Se tiende a sustituir el adobe por piezas de tabique recocido (arcilla recocida).

Se pudo observar que en la construcción de bardas se siguen empleando la mampostería simple (sin refuerzo alguno) por lo que no tienen resistencia a momento fuera del plano (Figs. 7.91 y 7.92).

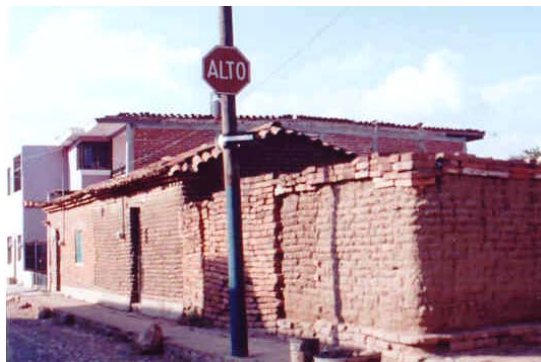


Figura 7.91 Vivienda con muros de mampostería simple



Figura 7.92 Bardas de gran longitud sin elementos de refuerzo (castillos y dalas)

7.3.10.1 Tipología de la vivienda

En su mayoría predominan las viviendas relativamente antiguas con:

- Muros: adobe y mampostería de arcilla recocida no reforzada ni confinada (esta última predomina);
- Techos: teja y bóveda catalana;
- Bardas: mampostería simple (no reforzada ni confinada);
- Número de niveles de las edificaciones: predomina la vivienda unifamiliar de un nivel.

Tendencias: las construcciones recientes están resueltas a base de mampostería confinada con elementos de concreto reforzado (dalas y castillos) y sistemas de techo a base de bóveda catalana y losa maciza de concreto armado.

También se tiende a ampliar las viviendas en planta y en altura utilizando mampostería confinada, pero sin adicionar refuerzo alguno a los muros existentes (de adobe o mampostería simple) que no sea un simple recubrimiento de mortero del orden de 1.5 cm de espesor.

7.3.10.2 Daños observados

Agrietamiento en muros de adobe de construcciones relativamente antiguas, agrietamientos en muros de adobe o mampostería simple (no reforzada ni confinada) de primer nivel de algunas viviendas (Fig. 7.93).

El agrietamiento algunas viviendas con muro de adobe y mampostería simple con recubrimiento de mortero.



Figura 7.93 *Caída del recubrimiento en algunos muros de mampostería simple (de adobe y arcilla recocida sin refuerzo)*

La pérdida de recubrimiento y el agrietamiento de los muros reafirma la poca rigidez lateral de la mampostería simple.

7.3.11 Villa Corona

Se localiza a 44 km en dirección Suroeste de la ciudad de Guadalajara, Jalisco.

7.3.11.1 *Tipología de la vivienda*

Predomina el adobe cubierto con aplanado de mortero y la mampostería simple de arcilla recocida. Los sistemas de techo resueltos con cubiertas de teja sobre un bastidor de madera o bien con bóveda catalana. Existe la tendencia al uso de mampostería de arcilla recocida confinada con elementos de concreto reforzado.

7.3.11.2 *Daños observados*

Durante la visita se observó agrietamiento en algunos muros de adobe de viviendas y de bardas relativamente antiguas.

El agrietamiento en los muros de mampostería simple y adobe se presenta como consecuencia de la escasa resistencia que tiene este tipo de mampostería para resistir fuerzas laterales (de cortante) y momento fuera del plano de los muros.

7.3.12 El Limón

El municipio de El Limón tiene su cabecera a 26 km al Sur del municipio de Autlán de Navarro.

7.3.12.1 *Tipología de la vivienda (Predominante)*

- Muros: son de adobe cubiertos con aplanado de mortero y de mampostería simple de arcilla recocida (Fig. 7.94), con aberturas con dimensiones mayores a 60cm sin confinamiento de elementos de concreto reforzado. Se encontró evidencia de que en algunas de las de viviendas de mampostería simple, los muros interiores se suelen construir sin ninguna liga con muros transversales (7.95);

- Bardas: son de mampostería simple muchos de ellas formadas por combinación de piezas de arcilla recocida, adobe y piedra (Fig. 7.96);
- Techos: teja y bóveda catalana (Fig. 7.97);
- Número de niveles de las edificaciones: predomina la vivienda unifamiliar de un sólo nivel con altura de piso a techo del orden de los 3 m.

Se observó una tendencia al uso de mampostería de barro recocido de diferentes dimensiones sin refuerzo o confinamiento adecuados. No se suele colocar elementos confinantes en aberturas sobre los muros (puertas y ventanas).



Figura 7.94 Aberturas en muros de mampostería sin confinamiento de elementos de concreto reforzado (castillos y dalas)



Figura 7.95 Construcción de muros sin liga con muros transversales



Figura 7.96 Bardas de gran longitud de mampostería sin refuerzo



Figura 7.97 Sistema de techo resuelto con bóveda catalana

En algunas viviendas se observaron muros construidos con piezas de mampostería de diferente tamaño y geometría. Lo cual origina zonas de diferente resistencia y rigidez dentro un muro, favoreciendo puntos débiles ante la acción de sismos (Fig. 7.98).



Figura 7.98 Mampostería simple de piezas diferentes

7.3.12.2 Daños observados

Agrietamiento en muros de adobe, desprendimiento del recubrimiento y caída de tejas.

Caída de bardas de mampostería simple, debido a que no contaban con elementos resistentes fuera de su plano (Fig. 7.99).

Caída parcial y total de sistemas de techo resueltos a base de teja sobre rollizos de madera principalmente por la pérdida de apoyo de estos últimos (Fig. 7.100).

Agrietamiento de esquinas y pérdida de recubrimiento en algunos muros de mampostería simple (Fig. 7.101).



Figura 7.99 Caída de bardas de mampostería simple



Figura 7.100 Pérdida de apoyo de las vigas de madera que soportan el sistema de techo a base de teja



Figura 7.101 Agrietamiento de muros de mampostería simple y caída de recubrimiento

7.3.13 Zapotitlán de Badillo

La cabecera municipal se localiza a 40 km al sureste del municipio de Tonaya y a 18 del municipio de Tolimán. En este municipio se visitó la cabecera municipal y la localidad de Tetapán.

7.3.13.1 Tipología de la vivienda en la cabecera municipal (Predominante)

- Muros: en la cabecera municipal predomina la mampostería de adobe y tabique recocado con recubrimiento de mortero en ambas caras. En la vivienda relativamente nueva predomina la vivienda de mampostería con muros de tabique recocado confinados por elementos de concreto reforzado;
- Techos: predomina la teja sobre rollizos de madera y bóveda catalana;
- Bardas: mampostería simple de adobe y tabique recocado o una combinación de ellos;
- Número de niveles de las edificaciones: predomina la vivienda unifamiliar de un solo nivel.

Tendencias: construcción de vivienda de mampostería reforzada con elementos de concreto reforzado (castillos y dalas).

7.3.13.2 Daños observados en la cabecera municipal

Agrietamiento diagonal en el primer nivel de viviendas de dos niveles (Fig. 7.102). Este tipo de daño estuvo asociado al deficiente confinamiento de la mampostería y a la escasa cuantía de muros para resistir fuerzas laterales (piso débil).



Figura 7.102 Agrietamiento diagonal en muros de primer nivel (piso débil)

7.3.13.3 Tetapán

Tetapán se localiza a 6 km de la cabecera municipal de Zapotitlán de Badillo.

A solicitud de la Coordinación Municipal de Protección Civil del municipio de Zapotitlán de Badillo se visitó las edificaciones de la localidad de Tetapán.

En la figura 7.103 se muestra un plano general de Tetapán. En ella se ubican esquemáticamente las viviendas que presentaron daño y que fueron revisadas.

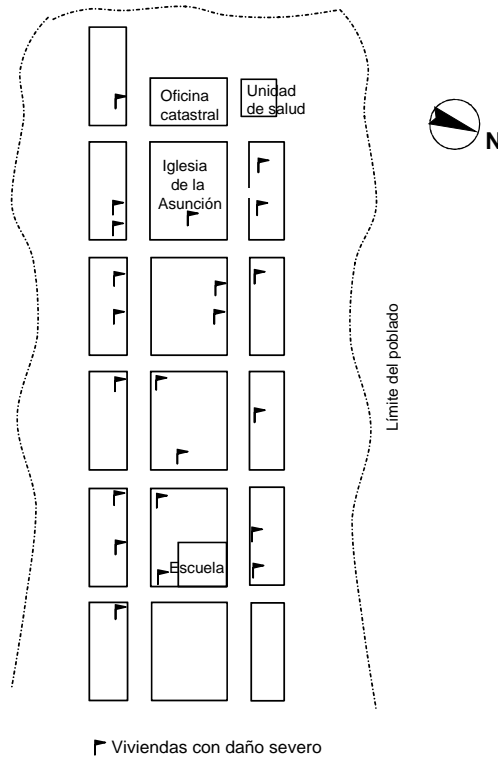


Figura 7.103 Localización de las viviendas visitadas en la comunidad de Tetapán

En general, se trata de una comunidad rural del orden de 230 familias, cuyas viviendas están resueltas en un 90% a base de muros de adobe y techo de teja de barro sobre rollizos de madera. La traza rural esta constituida por dos calles principales orientadas de oriente a poniente y cuatro calles transversales. La comunidad tiene acceso al Oriente. Cabe destacar que no se ha asignado nombre a las calles ni numeración oficial a las viviendas de esta comunidad.

En varios casos se pudo apreciar que las viviendas eran conformadas por un sólo cuarto de dimensiones en planta del orden de 5×10 m, con muros de adobe de 60 cm de espesor y sistema de techo a dos y un agua de teja de barro sobre una cuadrícula de rollizos de madera apoyados simplemente sobre los muros de adobe. En la figura 7.104 se muestran las dimensiones de una vivienda típica de Tetapán.

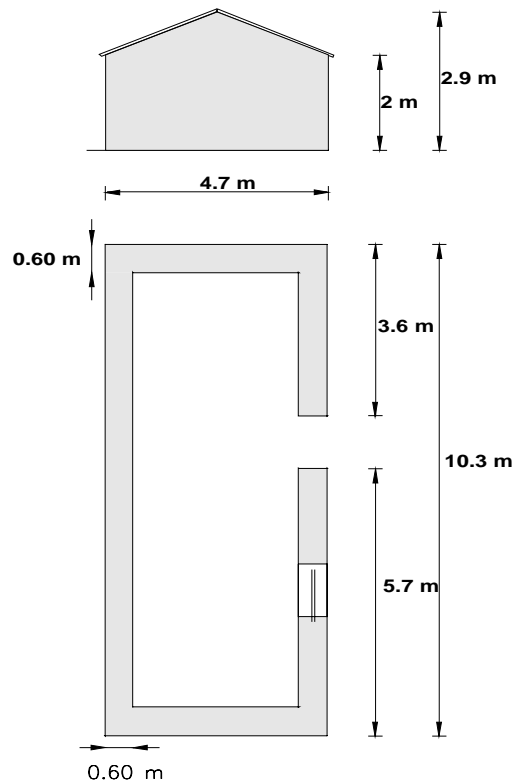


Figura 7.104 Distribución de una vivienda tipo

7.3.13.4 Daños observados

Colapso total y parcial de muros de vivienda de adobe y consecuentemente el colapso parcial y total de los sistemas de techos (Figs. 7.105 y 7.107).



Figura 7.105 Colapso de muros y techos



Figura 7.106 Agrietamiento vertical en la intersección muros e inclinación de estos respecto a su eje vertical



Figura 7.107 Colapso total y parcial de viviendas de adobe y teja de barro

En contraste, durante el recorrido se observó que una de vivienda reforzada con elementos verticales de concreto reforzado (castillos) sufrió agrietamiento pero no se volcaron los muros (Fig. 7.108).



Figura 7.108 Vivienda de muros de adobe reforzados con elementos de concreto reforzado (castillos) sin daño

Finalmente, cabe destacar que a los 9 días de haber ocurrido el sismo que afecto la localidad de Tetapán, los trabajos de reparación y reconstrucción por parte de los moradores estaban en la etapa de elaboración de las piezas de barro (listones y tabiques) (Fig. 7.109). Se pudo constatar que los moradores no cuentan con apoyo técnico para la reconstrucción o reparación de sus viviendas.



Figura 7.109 Elaboración de piezas de arcilla de 14 cm x 5 cm x 27 cm (ancho, alto, largo)

7.4 ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO

Los daños en vivienda fueron significativos, aunque, en número, considerablemente menores que los ocurridos en el vecino estado de Colima. Hasta el día 29 de enero, DEPC-Michoacán informó que el número de viviendas dañadas en los municipios de Caohuayana, Coalcomán y Chinicuila, ascendía a 547.

En general, los municipios afectados en el estado de Michoacán, presentan niveles de marginalidad altos, por lo que la gran mayoría de las viviendas afectadas son de adobe o bien de mampostería simple, es decir, aquellas que carecen de elementos confinantes de concreto.

7.4.1 Viviendas de adobe y de mampostería simple

En los tres municipios citados, se presentó daño en la vivienda de adobe, especialmente en zonas de alta concentración de viviendas de este material, como el poblado de Huizontla, municipio de Chinicuila; en la figura 7.110 se presenta un vista general de la zona. Las viviendas de adobe son sumamente vulnerables, puesto que la resistencia en el material es baja y la estructuración no es la adecuada para resistir las acciones sísmicas y transmitir las eficientemente al terreno.

Los tipos de daño más comunes fueron el agrietamiento inclinado en muros, así como el volteo fuera del plano de los muros acompañado del colapso del sistema de techo, comúnmente compuesto por teja de barro sobre vigas de madera (Fig. 7.111). Todos los colapsos totales en vivienda que se observaron se tuvieron en este tipo de construcción.



Figura 7.110 Vista general del poblado de Huizontla, municipio de Chinicuila



Figura 7.111 Colapso parcial de una vivienda de adobe en el estado de Michoacán (foto: Dirección Estatal de Protección Civil del estado de Michoacán)

El poblado de Huizontla, también fue afectado por el gran sismo de Michoacán de 1985. Al respecto, hubo evidencia de la aplicación de un sistema para rehabilitar vivienda de adobe, que fue el adicionar dalas y castillos que confinaran los muros de adobe, con el fin de que todos ellos resistieran las fuerzas sísmicas de manera conjunta. En la figura 7.112 se muestra un muro rehabilitado con este sistema y en la figura 7.113 una vivienda, rehabilitada con el sistema en cuestión, que se comportó adecuadamente. Sin embargo, también se encontraron viviendas rehabilitadas con dalas y castillos que tuvieron mal desempeño, la causa, un una mala aplicación del sistema. Por ejemplo, no se colocó la dala de cerramiento en la parte superior de los muros, o bien hubo una liga deficiente entre la dala de cerramiento y los castillo; en ambos casos hubo daño severo en las viviendas (Figs. 7.114 y 7.115).



Figura 7.112 Muro de adobe rehabilitado con dalas y castillo

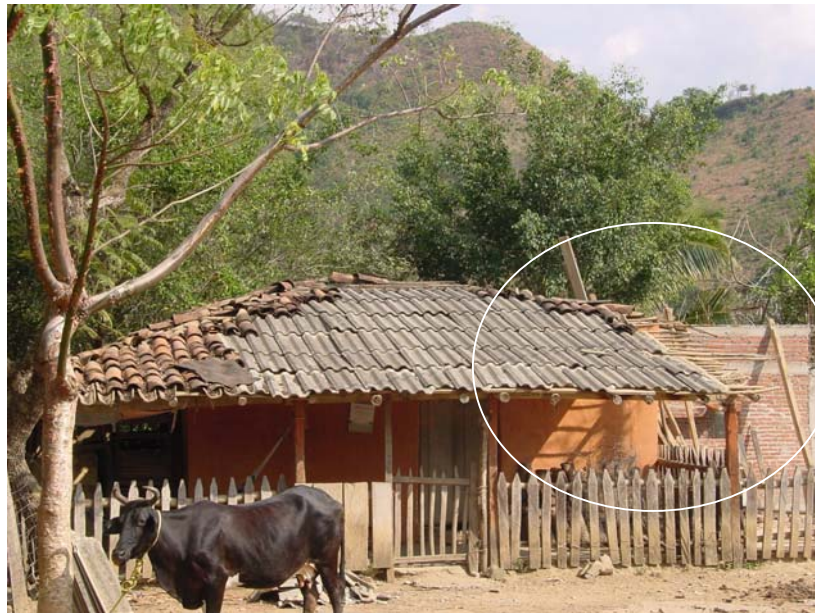


Figura 7.113 Vivienda de adobe rehabilitada con dalas y castillos



Figura 7.114 Daño severo en una vivienda de adobe debido a la falta de una dala de cerramiento



Figura 7.115 Daño en un muro de adobe a causa de una mala liga del castillo y la dala de cerramiento

En la región, también se observó la caída de bardas de mampostería; si bien contaban con elementos de concreto (castillos), el anclaje del refuerzo longitudinal en el cimiento no era adecuado o simplemente la cuantía de refuerzo era muy baja (Fig. 7.116).



Figura 7.116 Bardas de mampostería con defectos en el refuerzo

Otro tipo de construcción que resultó sumamente dañada fue la vivienda de mampostería simple. Un ejemplo son las viviendas construidas con mampostería de piezas de barro sin elementos confinantes (dadas y castillos de concreto) y sin cimentación (Fig. 7.117).



Figura 7.117 Daños en viviendas de mampostería simple

7.4.2 Viviendas de mampostería confinada

La mampostería confinada se caracteriza porque sus muros se encuentran rodeados por elementos de concreto reforzado (castillos en la dirección vertical y dalas en la horizontal), normalmente de dimensiones pequeñas, los cuales tienen por objeto conectar los muros, y los sistemas de piso y techo entre sí. El adecuado comportamiento de la mampostería confinada depende fuertemente de la cantidad y distribución de dichos elementos.

En los municipios afectados, las estructuras de mampostería de piezas modernas se caracterizan por el uso de tabique macizo de barro y, en mucho menor medida, de tabicones macizos de concreto pobre.

En la zona se observó que las construcciones con una adecuada distribución de elementos confinantes tuvieron un excelente desempeño. Sin embargo, este tipo de construcciones sólo existen en las cabeceras municipales, en donde el nivel socioeconómico es alto. En contraste, aquellas construcciones con un número insuficiente de castillos o dalas experimentaron daños, dependiendo del nivel de confinamiento en los muros. El daño se manifestó principalmente por agrietamiento inclinado en muros donde el refuerzo de concreto (castillos) no existía, o bien, no se ubicó en los lugares necesarios, como es en los extremos de muros adyacentes a aberturas (puertas y ventanas) (Fig. 7.118). Este tipo de construcciones, con carencia de refuerzo en los lugares adecuados, se deben clasificar como mampostería simple.



Figura 7.118 Daño severo en viviendas de mampostería no confinada (el aparente castillo de la foto está simulado con pasta de cemento)

Dos aspectos más que contribuyeron al daño en estructuras de mampostería confinada fueron la mala calidad de los materiales de construcción y la falta de recubrimiento en el acero de refuerzo. Ambos aspectos ocasionaron daños, como los mostrados en la figura 7.119, puesto materiales de mala calidad reducen considerablemente la resistencia a sismos de las estructuras. En el caso de los recubrimientos de bajo espesor, la exposición del acero de refuerzo es sumamente delicada, debido a que en la zona existe un ambiente salino muy agresivo por la cercanía a la costa.



Figura 7.119 Daño severo en viviendas construidas con materiales de mala calidad y el cero de refuerzo expuesto

7.5 DISCUSIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA VIVIENDA

Se han descrito los principales daños observados en vivienda, que se puede resumir como sigue:

- Se presentó un daño generalizado en la vivienda de adobe, especialmente observado en las zonas donde la vivienda construida con este material predomina como la zona centro de la ciudad de Colima, y Villa de Álvarez. Este tipo de estructura es sumamente vulnerable, puesto que el material (adobe) no cuenta con la resistencia necesaria y la estructuración de las viviendas no es la adecuada para recibir las acciones sísmicas y transmitir las eficientemente al terreno.
- Otro tipo de construcción que experimentó diferentes niveles de daño es la mampostería confinada. Las edificaciones diseñadas y construidas conforme lo dispuesto en las normas de construcción tuvieron un excelente desempeño; prácticamente no experimentaron daño alguno. En contraste, aquellas con un número insuficiente de castillos o dadas experimentaron daños ligeros a severos, dependiendo del nivel de confinamiento en los muros. El daño se manifestó principalmente por agrietamiento inclinado en vivienda con muros de carga de dos niveles donde el refuerzo de concreto (castillos), en los casos donde se tenía, no se ubicó en los lugares necesarios como es en los extremos de muros

entre aberturas (puertas y ventanas), en especial en la dirección corta de los inmuebles (paralela a la calle), en donde fue evidente una baja densidad de muros.

En cuanto a las viviendas de mampostería con elementos confinantes de concreto reforzado, los mayores problemas observados fueron la escasez de muros en una dirección, así como la falta de confinamiento en segmentos de muro entre aberturas para puertas y ventanas.

Estos elementos de refuerzo (castillos y dalas) en los extremos de los muros o segmentos de muro son esenciales para que se controle el agrietamiento, se mantengan sujetos y confinados los grandes bloques en que se divide un muro agrietado lo cual permite que se disponga de la capacidad de disipación de energía por fricción y trabazón entre las piezas en la grieta, además de proporcionar resistencia adicional ante cargas laterales y gravitatorias una vez que el muro se agrieta.

En general la construcción con mampostería en todo México cuenta con buena calidad, a pesar de que la mayor parte se realiza por autoconstrucción sin supervisión profesional. Sin embargo, la falta de confinamiento en los perímetros de aberturas es un error común aunque no justificable. Se entiende que este nivel de detallado puede parecer excesivo y laborioso, figura 7.120b. Sin embargo, es de vital importancia puesto que si no se realiza no se logra un buen confinamiento de la mampostería, cayendo en lo que se conoce como mampostería simple, y su consecuente pobre comportamiento ante cargas, mismo que en reglamentos de construcción se castiga con menores resistencias calculadas, y mayores acciones sísmicas (o lo que es lo mismo, menor reducción de fuerza sísmica por comportamiento dúctil).

En el caso del esquema de la figura 7.120a, para cumplir cabalmente con los requisitos de confinamiento y mantener la posición de las aberturas, se tendría que proceder como en la figura 7.120b. Una alternativa para reducir el número de castillos puede ser modificar la posición de las aberturas como se muestra en la figura 7.120c. El costo adicional de los elementos extras queda sobradamente cubierto por el ahorro en caso de daños por sismos futuros, y, en caso extremo, por la salvaguarda del colapso que implicaría pérdidas cuantiosas o las inadmisibles pérdidas de vidas humanas.

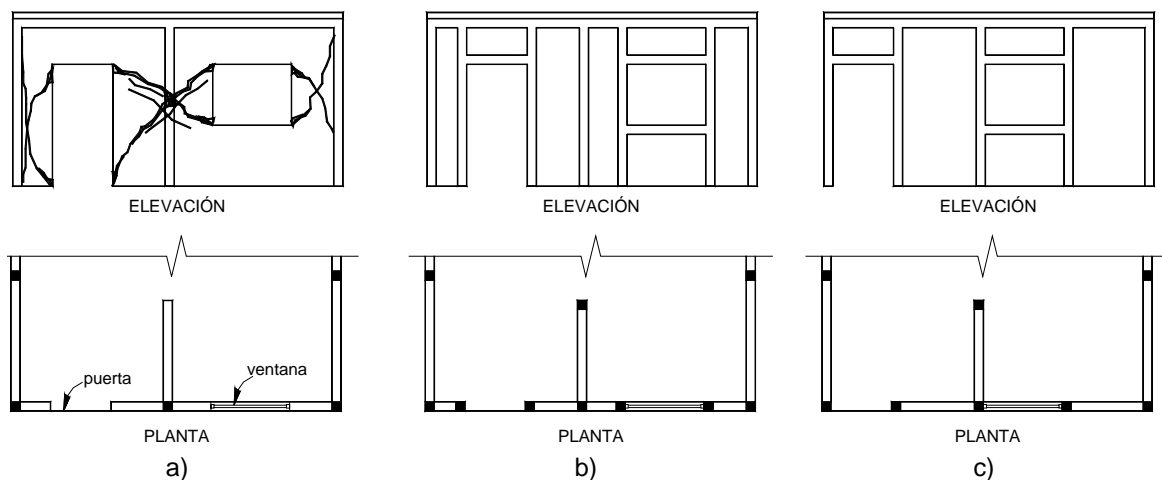


Figura 7.120 Mampostería con confinamiento inadecuado y dos opciones que pudieron haber sido usadas para confinarlo

7.6 DAÑO EN BARDAS, PRETILES Y MUROS DE CELOSÍA

Además del daño en la vivienda, se presentó un gran número de casos de daño en elementos como bardas, pretilas y celosías. Estos elementos, en general, no se consideran parte estructural de las viviendas, por lo que no toman tanta relevancia en la evaluación de daños ni en los dictámenes iniciales de los inmuebles para calificarlos de riesgo para sus ocupantes, aunque sí son considerados para acordonar el área inmediata a ellos. Por lo mismo, no son datos que se puntualicen en las estadísticas básicas de pérdidas ni se toman en cuenta en los programas de ayuda a la reconstrucción quedando ésta a cargo de los propietarios.

Sin embargo, todos estos elementos, si bien no constituyen parte del soporte de las estructuras habitables, sí pueden causar serios daños a transeúntes y pérdidas cuantiosas a bienes. De acuerdo al reporte del 24 de enero emitido por el Sistema Estatal de Protección Civil, se informó la caída de más de 200 bardas en la ciudad de Colima. Por este motivo hubo múltiples heridos, así como vehículos que se vieron afectados por la caída de material.

Asimismo, la caída de pretilas e incluso de unas cuantas tejas puede causar daños severos a los peatones, así como el cierre o interrupción del tránsito de personas y vehículos en innumerables calles que trastornan los esfuerzos por recobrar la normalidad en las poblaciones afectadas.

A continuación se presentan algunos casos representativos de estos daños y se señalan las causas posibles de algunas fallas.

7.6.1 Bardas

A pesar de su sencillez geométrica, una barda es estrictamente una estructura más, y como tal debe ser diseñada para soportar acciones en su vida útil como las permanentes, variables y las accidentales, entre estas últimas el viento y el sismo. Además, las dimensiones de éstas y su ubicación sobre la vía pública las convierten en factores de riesgo para personas y bienes.

En cuanto a la geometría, se trata de muros que soportan verticalmente sólo su peso propio y están libres en su extremo superior teniendo que resistir los momentos de volteo fuera de su plano por sí mismas. Algunas bardas en patios son extensiones de muros de las viviendas, mientras que otras están totalmente aisladas de las edificaciones y delimitan jardines o terrenos. Un caso adicional son los muros en que se apoyan techos ligeros que cubren espacios más o menos habilitados como parte de las viviendas por lo que en cierta forma son intermedias entre muro y barda.

Se observaron un gran número de colapsos parciales y totales en bardas, en especial de muros de adobe. Los espesores de los muros observados se encuentran entre 40 y 50 cm, con alturas de alrededor de 3 m. En la figura 7.121 se muestran dos casos observados en la zona centro de la ciudad de Colima.



Figura 7.121 Bardas de adobe colapsadas

En la figura 7.122 se muestra los restos de una barda que limitaba un estacionamiento techado con materiales modernos, así como un antiguo muro de un predio desocupado (nótese la vegetación dentro e incluso sobre la barda).



Figura 7.122 Colapso de bardas de adobe

En algunos casos observados se identificó que se habían dejado antiguas bardas de adobe como fachada hacia la calle, mientras que en la parte interior se había construido una edificación moderna (Fig. 7.123). En algunos casos esto puede deberse al requerimiento de conservar el aspecto arquitectónico tradicional en algunos barrios antiguos. En otros casos, estos muros se han dejado para ahorrarse los gastos de reemplazarlos por elementos de materiales modernos.



Figura 7.123 Colapso de antigua barda de adobe, nótese la construcción moderna en el interior

Tanto las bardas de adobe como las de mampostería simple de piezas modernas, resultan altamente vulnerables para los efectos de sismos moderados a intensos, como se demostró en este sismo. El riesgo del volteo se incrementa con la altura y esbeltez del muro. En la figura 7.124 se muestra el volteo de una barda de tabique rojo sin refuerzo, de escasos 1.2 m de altura.



Figura 7.124 Colapso de una barda de mampostería no reforzada

Otro caso especial fue el agrietamiento del muro de una unidad deportiva militar ubicada en Hidalgo y B. Domínguez, donde se tiene un muro para un frontón. En la figura 7.125 se muestra dicho elemento y un esquema de la falla. El agrietamiento principal sigue una trayectoria cóncava hacia arriba terminando en los puntos de contacto con elementos rígidos en ambos extremos que le proporcionan restricción fuera del plano: uno es el muro perpendicular, (lado izquierdo), donde la grieta termina en el extremo superior del muro, y a la derecha una construcción que es la entrada a

la unidad, donde la grieta termina en la parte superior de esta estructura, a media altura del muro del frontón.



Figura 7.125 *Agrietamiento en el muro de un frontón*

El patrón de grietas parece evidenciar una tendencia al volteo de la parte central superior del muro restringido sólo por los extremos. De la observación de zonas donde se perdió el recubrimiento, se detectó que los elementos verticales sobresalientes son sólo ornamentales y están elaborados del mismo tabique rojo del muro.

Además de colapso de bardas de adobe y de mampostería simple, también se observó el daño y colapso de bardas de mampostería confinada. Sin embargo, la observación cuidadosa de las fallas reveló, en la mayoría de los casos, vicios constructivos o el uso de cuantías insuficientes de refuerzo (Fig 7.126).



Figura 7.126 *Colapso de barda de mampostería confinada (con refuerzo inadecuado)*

En la figura 7.127 se muestra el colapso de una barda de mampostería confinada ubicada en Villa de Álvarez, Col. Dicha barda tenía aproximadamente 4 m de altura y en su caída aplastó al vehículo que se muestra en la figura.



Figura 7.127 Colapso de barda de mampostería confinada que aplastó al vehículo estacionado en la calle

En otro caso, registrado en Villa de Álvarez, una barda de tabicón con una buena distribución de castillos y con dala superior falló quedando a punto de caer (Fig. 7.128). Al examinar la falla se detectó que todos los castillos de la zona afectada habían fallado en su base al fracturarse el acero de refuerzo longitudinal por tensión debida a la flexión por el volteo del muro. Un aspecto curioso es que la barda quedó "colgando" de la cadena superior hacia un lado evitando su caída. Los castillos estaban reforzados con armado de alambre electrosoldado de 5/16 pulg aproximadamente. Es evidente que el refuerzo fue insuficiente. En la figura 7.129 se muestra otro caso donde el castillo falló al fracturarse el acero de refuerzo de reducido diámetro.



Figura 7.128 a) Desplomo de una barda que quedó "colgando" de la cadena superior. b) Detalle de la fractura del refuerzo (electrosoldado con cuantía evidentemente insuficiente)



Figura 7.129 a) Caída de barda de tabicón de concreto pobre. b) Detalle de la fractura del refuerzo longitudinal en la base del castillo caído

En la figura 7.130 se muestra otra barda de tabique rojo, sin dala superior, pero con castillos poco espaciados y baja altura. Ésta era la barda de una escuela que se tomó como albergue y centro de distribución de ayuda en Villa de Álvarez. Al examinar la falla fue evidente que los castillos tenían mínimo o ningún anclaje a la cimentación de mampostería de piedra. En la figura 7.131 se observa un muñón del castillo de escasos centímetros, mientras que otros castillos terminaban en la cadena de cimentación que simplemente se volteó sobre el cimientto. En la misma figura se muestra otra barda de la misma escuela pero que no tuvo ningún problema al poseer conexiones al cimientto mejor resueltas.



Figura 7.130 Caída de barda de mampostería confinada con defectos



Figura 7.131 a) Detalle de la falta de anclaje del castillo a la cimentación; b) Otro tramo de la misma barda que no falló, y donde se aprecia un mejor anclaje del castillo

7.6.2 Pretiles

Un tipo de daño en elementos no estructurales que se observó en muchos casos, fue la caída de pretiles o parapetos de mampostería. Estos son elementos de baja altura que sirven de barandales o bardas en azoteas y balcones. Se pueden considerar como pretiles también a las extensiones de muros de fachada por sobre el sistema de techo, como en el caso de muros de adobe en donde se registraron numerosos agrietamientos en esta zona y daños a ornamentos como cornisas. Pero también se observó el colapso de pretiles de mampostería simple de tabique y algunos de mampostería con castillos. Es común darle poca importancia a estos elementos y no someterlos a un diseño estructural. Estos elementos suelen fallar fuera de su plano (volteo) por una condición crítica de fuerzas que se generan cuando trabajan como apéndices sometidos a aceleraciones del nivel de la estructura en la que se desplantan.

En la figura 7.132 se muestran dos casos de pretiles en azotea que fallaron. En ambos casos se contaba con castillos de concreto, pero se carecía de dalas o cadenas de cerramiento horizontales en el borde superior.

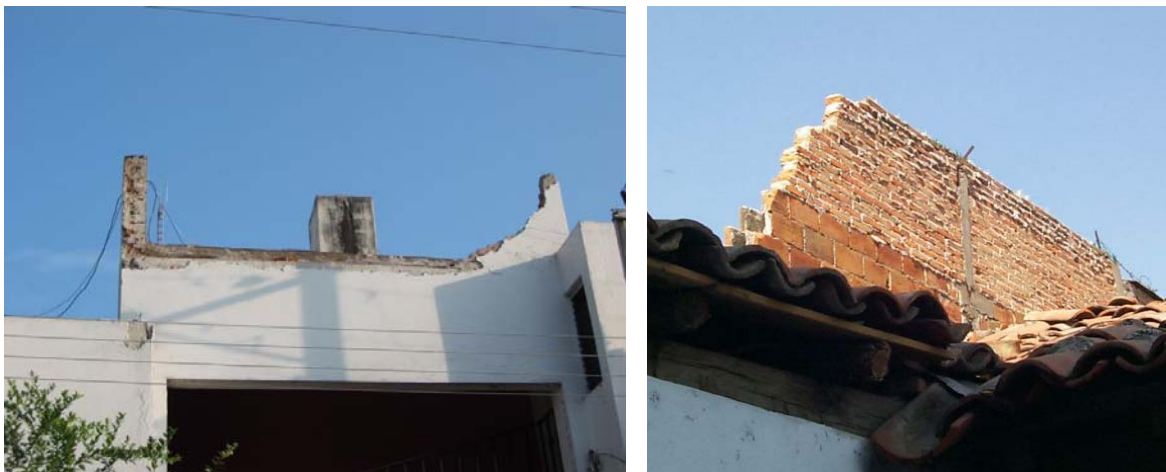


Figura 7.132 *Caída de pretilos, ambos con castillos pero sin cadena de cerramiento superior*

En la figura 7.133 se tenía un pretil de balcón de mampostería simple, y a la derecha un pretil de un pasillo que sí tenía cadena horizontal superior, pero con un anclaje vertical de los castillos defectuoso.



Figura 7.133 *Pretilos como barandal en balcones y pasillos. En la foto de la derecha el pretil tenía cadena horizontal, pero el castillo estaba mal anclado en su base*

Otro tipo de apéndice del que se observaron colapsos fueron los tinacos de agua en la azoteas. Nuevamente se trató de elementos no sujetos incapaces de resistir el volteo. Asimismo, los muros de mampostería simple construidos alrededor de los tinacos tuvieron el mismo efecto que los pretilos y bardas ya mencionados (Fig. 7.134).



Figura 7.134 Casos típicos de caída de pretilos y bardas que rodeaban a los tinacos, hechas con mampostería no reforzada

De comportamiento similar, se observó la caída de la balastrada en la azotea del Museo Regional de Historia de Colima, en el centro de la ciudad (Fig. 7.135).



Figura 7.135 Caída de la balastrada del Museo Regional de Historio de Colima

7.6.3 Muros de celosía

Otro daño en elementos no estructurales fue el sufrido en muros formados con celosía de arcilla cocida o de concreto. También éstos son elementos para los que debe garantizarse su estabilidad mediante un diseño adecuado (como confinarlos por elementos de concreto en paneles de tamaño reducido). El colapso de estos elementos representa un daño a la imagen y el

funcionamiento de los inmuebles, así como un peligro por la caída sobre personas o vehículos (Fig.7.136).

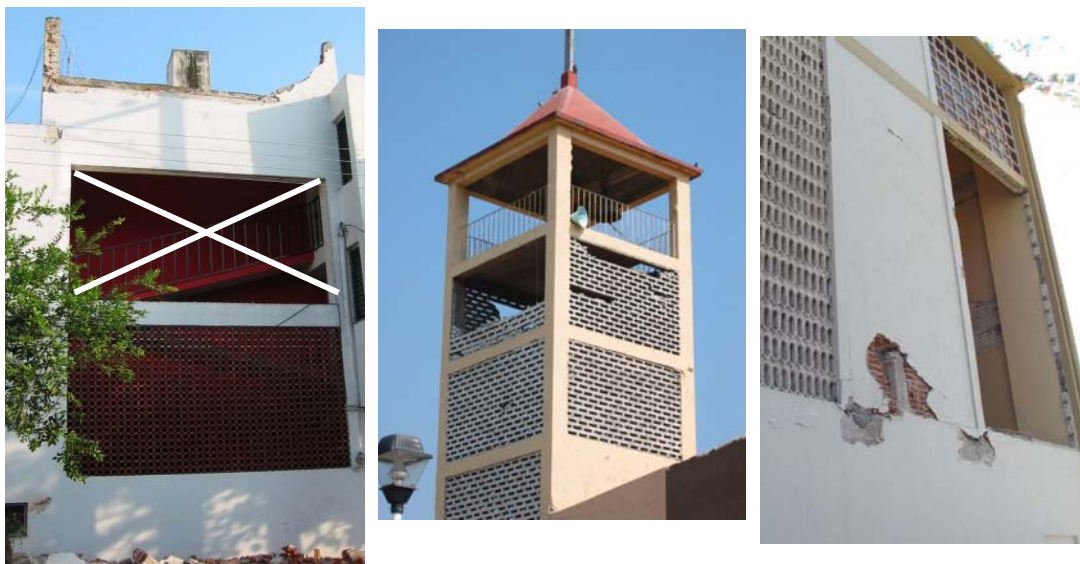


Figura 7.136 a) Vaciado completo de la celosía en una crujía (marcado con una X), b) Daño y caída de celosía en torre de una iglesia, y c) Vaciado de la celosía en el cuerpo de otra iglesia

7.6.4 Caída de tejas y ornamentos y otros daños no estructurales

También se observó la caída generalizada de tejas a la vía pública (Fig. 7.137), especialmente observada en la ciudad de Colima, que si bien no representa un daño estructural al inmueble, sí pone en peligro la integridad de los peatones y entorpece la circulación natural en las banquetas teniendo que ser acordonadas durante las primeras horas y días después del sismo por el peligro de la posible caída de objetos inestables o nuevos daños ante la ocurrencia de réplicas.

Todo elemento de una construcción debe garantizarse que no sufra daños, volteo o deslizamiento ante las acciones accidentales como el sismo, en especial los que se ubican en la vía pública. En construcciones formales el diseñador debe garantizar que no ocurran estos daños, en especial tratándose de recubrimientos de fachada, cristales, pretiles y otros ornamentos.

7.6.5 Discusión

Los elementos enumerados en las secciones anteriores, si bien no forman parte de la estructura principal de los inmuebles, son estructuras en sí, que como tales deben diseñarse para soportar las acciones que puedan obrar sobre ellas.

En el caso de las bardas y los pretiles, al ser elaborados con materiales y sistemas de refuerzo de comportamiento ampliamente conocido, estudiado y normado, no tienen por que no estar sujetos a un diseño formal. El volteo de una barda trabajando como voladizo vertical es relativamente fácil de estimar dados los coeficientes sísmicos que se marcan en los reglamentos de construcción locales de los municipios, o tomando los de la Comisión Federal de Electricidad para la región (CFE,

1993). Los pretilos en niveles superiores de edificaciones deben revisarse como apéndices tomando en cuenta las aceleraciones del sistema de piso donde se desplantan.



Figura 7.137 Caída de tejas sobre la vía pública

En zona de alta sismicidad, las bardas y pretilos de mampostería simple deben siempre evitarse. La evidencia de este sismo nos da la razón para la anterior afirmación. Esto debe ser un requisito para las nuevas obras, así como en programas de reforzamiento de elementos vulnerables existentes. El mismo requisito deberá tomarse para bardas de adobe, donde la cuantía adecuada de refuerzo y los detalles de armado y anclaje a la cimentación deben ser cuidadosamente revisados.

Si la barda o pretil son resueltos con mampostería confinada por castillos, éstos deben cumplir primeramente los requisitos geométricos de dimensiones, armado mínimo y separaciones máximas que marquen los reglamentos locales. Pero, adicionalmente a los requisitos geométricos mínimos, deberá revisarse la resistencia de los castillos a la flexión del muro fuera de su plano. La observación de varias bardas falladas por la fractura del refuerzo en los castillos parece indicar la escasez de refuerzo longitudinal. Los armados de alambre electrosoldado para castillos podrán usarse siempre y cuando se cumpla con la resistencia requerida determinada del análisis antes mencionado.

Una de las lecciones aprendidas es que, en regiones de alta sismicidad como ésta, las bardas y pretilos deben estar rematados por una dala de concreto reforzado en su extremo superior. Se observaron múltiples casos en que, a pesar de tener elementos verticales de concreto, los paneles de mampostería de algunas bardas y pretilos "se vaciaron" entre los castillos. Este efecto puede deberse a las deformaciones de los paneles fuera del plano del muro que los castillos verticales aislados no pueden evitar.

Una solución sería reducir la separación de castillos, pero otra más eficiente es ligar siempre el borde superior con un elemento de concreto horizontal correctamente ligado a los castillos

proporcionando un confinamiento que minimiza la posibilidad de que las piezas deslicen sobre otras hacia fuera del plano del muro a través de la junta de mortero.

Cabe mencionar que en la propuesta de Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTC-Mampostería) del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (GDF, 2002) es requisito que todo pretil tenga un mínimo de refuerzo vertical, tal como castillos o refuerzo interior, y si este elemento tiene una altura superior a los 50 cm deberá tener una dala en su extremo libre horizontal.

Se observaron también fallas de estructuración evidentes ya referidas en la sección 7.4.1, tales como una inadecuada o inexistente conexión de los castillos a la cimentación. Conviene citar, como ejemplo, el requisito de las NTC-Mampostería, en donde se indica que "los castillos deben empotrarse en los cimientos no menos de 40 cm" (GDF, 2002). Otros casos observados fueron la conexión inadecuada entre elementos de concreto (castillos y dalas), así como casos de corrosión del acero y de degradación de concretos de mala calidad. Pero a pesar de muchos casos observados de falla en elementos de mampostería confinada "inadecuadamente", es justo afirmar que la gran mayoría de las estructuras de mampostería confinada bien concebidas y construidas se comportaron excelentemente durante este evento sísmico.

En el caso de los muros en celosía, así como otros daños en elementos no estructurales como fachadas, tinacos, ornamentos, ventanales, etc., su buen comportamiento es responsabilidad del diseñador. Lamentablemente es común que no sean sujetos a una revisión y diseño especial. En el caso de la celosía, una solución sería confinarla por elementos estructurales, como pueden ser castillos y dalas, en el perímetro e intermedios cuando las dimensiones sean grandes. Se logra un mejor confinamiento si se cuelan los castillos después de levantada la celosía, a diferencia de construirla dentro de marcos existentes como fueron algunos casos observados de falla. Estos elementos de refuerzo deben ser capaces de tomar las acciones que obren sobre dicho elemento, tal y como se ha explicado para las bardas y pretilas. Finalmente, deberán controlarse las deformaciones laterales de la estructura, o bien desligar los elementos de celosía de dicha estructura.

En conclusión, daños en elementos secundarios pueden ser evitados mediante un adecuado diseño por lo que lecciones aprendidas deben ser tomadas en cuenta para los reglamentos de construcción locales. Los puntos fundamentales que se deben vigilar son:

- 1) Proporcionar un refuerzo mínimo por integridad a todo elemento, descartando el uso de mampostería simple;
- 2) Las bardas y pretilas deben ser sujetas de un diseño formal que determine las cuantías y disposición del refuerzo, la mayor atención se debe dar a las de mayores dimensiones;
- 3) Se debe cuidar estrictamente los detalles de conexión, tanto la conexión entre elementos de refuerzo, como con la cimentación.

Los elementos secundarios como pretilas no se deben obviar en el proceso de diseño de una estructura ni escatimar en proporcionar el refuerzo necesario. El sobre costo constructivo de reforzar adecuadamente estos elementos se compensará sobradamente al evitar en un futuro evento sísmico los daños a la misma estructura, a otros bienes (como los vehículos en la vía pública) trastornos a la circulación de peatones y vehículos por los escombros y zonas acordonadas y, sobretodo, evitar el daño a las personas.

Los reglamentos de construcción se pueden mejorar e incorporar requisitos más estrictos, incidiendo directamente en las obras diseñadas por profesionistas de la edificación. Sin embargo, es un hecho innegable que la mayoría de las estructuras de vivienda se realizan sin la asesoría de profesionistas ni peritos responsables, en especial en comunidades rurales. En este caso, una de las formas de incidir en la población es mediante cartillas ilustradas, de fácil lectura e interpretación, que pueda difundirse y enseñar las buenas técnicas constructivas.

CAPÍTULO 8

INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA

Sergio M. Alcocer, Alonso Echavarría, Leonardo Flores y Carlos Reyes

8.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan las observaciones de los daños en edificios escolares. El contenido se deriva de los recorridos que en los municipios afectados de los estados de Colima, Jalisco y Michoacán, hizo el grupo de investigadores del CENAPRED en los días posteriores al sismo.

8.2 COLIMA

8.2.1 Colima

Instituto Nacional para la Educación de los Adultos

Este edificio, ubicado en la calle de 27 de septiembre No. 32, fue construido alrededor de 1992 y se tiene el antecedente de que sufrió daños en los muros del cubo de escaleras durante el sismo de Manzanillo de 1995. Cuenta con cuatro niveles y un apéndice que funciona como la salida de las escaleras. En planta se distingue el cubo de las escaleras y dos cubos para iluminación (ver Fig. 8.1). El sistema estructural consta de marcos de concreto reforzado y muros diafragma de mampostería de tabique de arcilla. Las dimensiones de las columnas varían desde 50×50 cm en planta baja hasta 35×35 cm en el último nivel, asimismo se observaron vigas de 40×60 cm y la losa maciza de concreto.

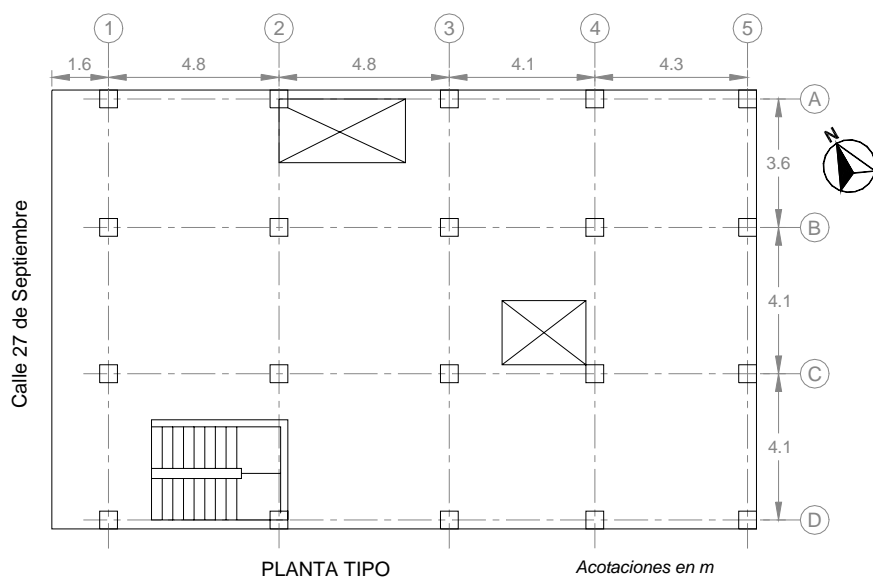


Figura 8.1 Planta esquemática del edificio

Este inmueble sufrió agrietamientos esencialmente en los muros de mampostería interiores. En el cubo de las escaleras se presentaron agrietamientos horizontales en la unión de la estructura de concreto y la mampostería. Los muros diafragma de las colindancias Norte y Sur no presentaron daños. Como en otros edificios similares, la estructura es relativamente flexible, por lo que las fuerzas horizontales son resistidas por los muros de mampostería que, en muchos casos, no están diseñados para tal fin. En la figura 8.2 se presenta una vista general del edificio y algunos agrietamientos horizontales y verticales en los muros de las escaleras.



Figura 8.2 Vista general del edificio y muros del cubo de escaleras

Escuela primaria República de Argentina

Esta escuela se encuentra en la esquina de las calles Hidalgo y Revolución. No se tuvo acceso a la misma por lo que la inspección se realizó por el exterior. La escuela cuenta con varios edificios de dos niveles con estructura integrada por marcos de concreto y una serie de muros de mampostería, tanto como muros diafragma como pretilas que rellenan sólo la mitad inferior de las crujías para dejar aberturas para ventanas (Fig. 8.3).



Figura 8.3 Fachada de uno de los edificios

Se observó el daño de varios muros diafragma de mampostería de tabique macizo de arcilla, mediante agrietamientos inclinados, así como grietas horizontales. En el muro lateral de uno de los edificios, se observó el agrietamiento inclinado en la columna de concreto (Fig. 8.4), grieta que es continuación del agrietamiento del muro de mampostería.



Figura 8.4 Daño en muros diafragma de mampostería

Consejo Nacional de Fomento Educativo (CONAFE)

Este inmueble se ubica en la calle 27 de septiembre no 291. No se tuvo acceso, por lo que sólo se observó el daño en la fachada. El edificio es una estructura de dos niveles de mampostería de tabiques macizos de arcilla. Aparentemente los muros son de mampostería simple y sufrieron daños con agrietamientos horizontales e inclinados. Fue notorio el daño en el pretil de la azotea en la fachada con agrietamiento horizontal en su base y caída parcial. Se observó también el colapso parcial de un techo de madera y teja colocado en la azotea (Fig. 8.5).



Figura 8.5 Daños en el edificio del CONAFE

Edificio de la biblioteca de ciencias de la universidad de colima

La Universidad Autónoma de Colima no quedó exenta de daños debidos al sismo de Tecomán, tal es el caso del edificio de la Biblioteca de Ciencias; la figura 8.6 muestra un croquis de localización del campus universitario. Los daños en la Biblioteca de Ciencias se presentaron en las juntas constructivas, elementos no estructurales, concretamente en muros divisorios y en la cristalería de la fachada, así como en una techumbre apoyada en dos construcciones independientes.

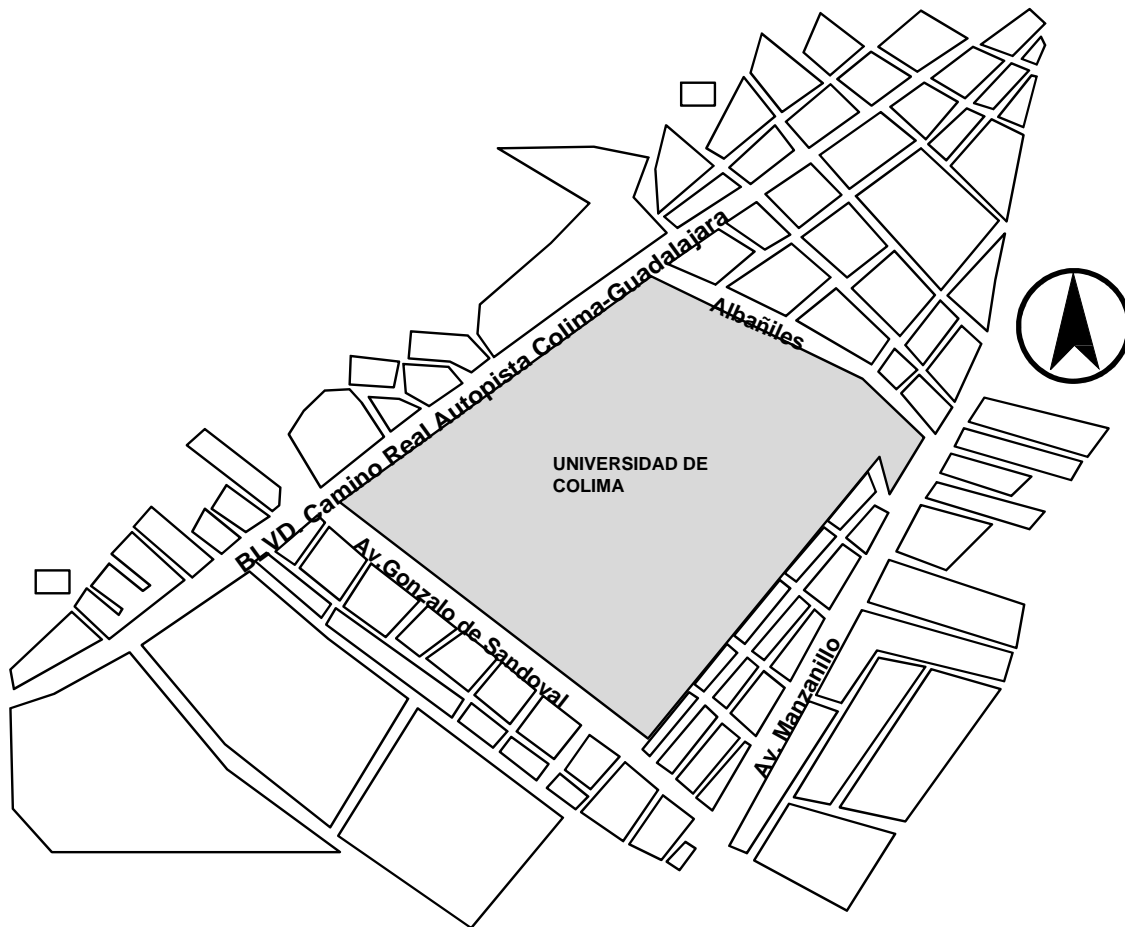


Figura 8.6 Croquis de localización del campus de la Universidad Autónoma de Colima

En la figura 8.7 se muestra una vista exterior de la Biblioteca de Ciencias, en la que se pueden apreciar los daños en la fachada frontal del edificio en el cubo de escaleras. La rotura de vidrios en el cubo de escaleras se debió a desplazamientos laterales excesivos ocasionados por gran flexibilidad de la estructura en la dirección de paralela a la fachada. Asimismo, se apreció un mal diseño de la cancelería de aluminio que sostenía los cristales (figura 8.8); prácticamente no había holgura entre cristales contiguos.



Figura 8.7 Vista general del edificio de la biblioteca de ciencias



Figura 8.8 Detalle de la fachada de cristal del cubo de escaleras del edificio de la Biblioteca de Ciencias de la Universidad Autónoma de Colima

También, se observaron daños en la armadura tridimensional que sirve de techo a la entrada del edificio (Fig. 8.7), esta estructura estaba apoyada en el cubo de escaleras y en el edificio

localizado a la izquierda de éste (Fig. 8.7). El daño fue provocado por el diseño inadecuado de las dimensiones de los apoyos de la armadura tridimensional, probablemente, no se estimaron adecuadamente los desplazamientos laterales estructuras que le servían de apoyo, puesto que ambas se movieron en forma independiente por la existencia de juntas constructivas y esta techumbre estuvo a punto de perder sus apoyos (Fig. 8.9).



Figura 8.9 Daño en la armadura tridimensional del acceso a la Biblioteca de Ciencias de la Universidad Autónoma de Colima

8.2.2 Coquimatlán

Como ya se mencionó, según información proporcionada, la infraestructura de educación se vio afectada en algunos edificios pero ésta consistió en la caída de bardas colindantes a las calles sin verse afectados los cuerpos que conformaban las escuelas (Fig. 8.10).



Figura 8.10 Daños observados en la Presidencia Municipal de Coquimatlán

8.2.3 Ixtlahuacán

En Ixtlahuacán se visitó una escuela primaria y una secundaria, la figura 8.11 muestra un croquis de localización de ambos planteles. La escuela primaria sufrió daño; la figura 8.12 muestra una vista exterior de uno de los edificios que la conforman.

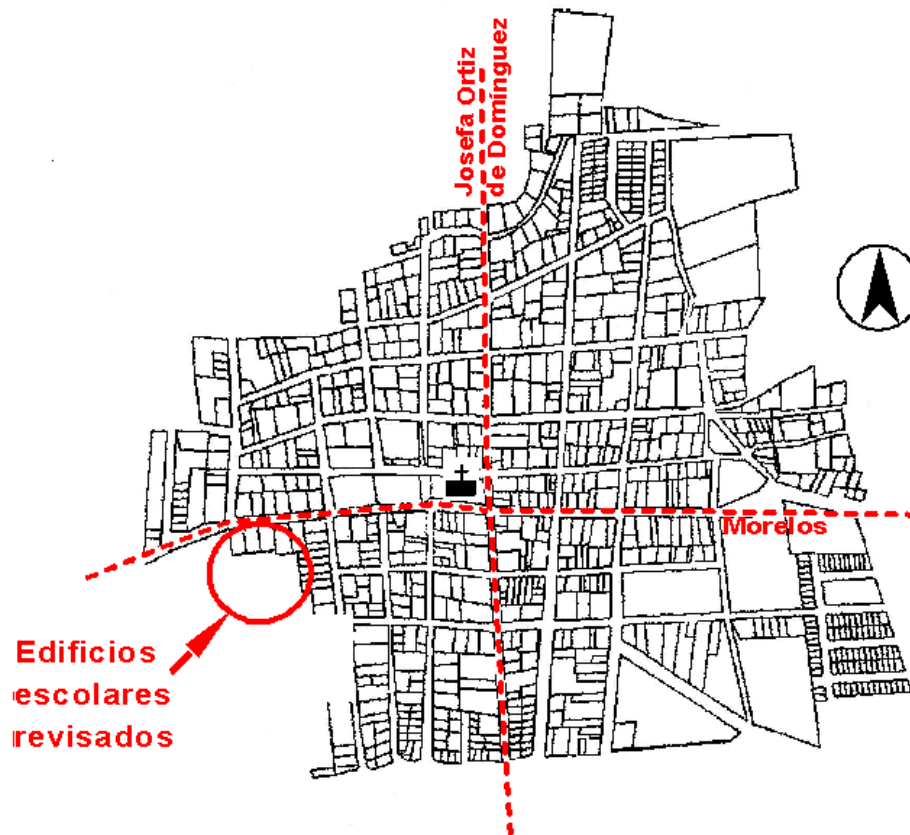


Figura 8.11 Croquis de localización de los edificios escolares visitados



Figura 8.12 Vista exterior de un edificio de una escuela primaria si daño

La escuela secundaria, constaba de varios cuerpos, algunos construidos con un sistema estructural a base de marcos de acero y otros construidos con marcos de concreto. Los daños sólo se apreciaron en los edificios construidos con marcos de acero, en los que hubo agrietamiento de los muros de relleno, debido desplazamientos excesivos y a que no había una separación adecuada entre los muros y la estructura; la figura 8.13 muestra este aspecto.



Figura 8.13 Vista interior del daño observado en los muros divisorios de una escuela secundaria de Ixtlahuacán

8.3 JALISCO

La infraestructura de salud y educación no quedó exenta de daños debido a la acción del sismo. El grupo técnico del CENAPRED visitó algunos edificios de infraestructura educación en los municipios afectados. Entre ellos sobresalen los Centros de Salud, así como escuelas de educación básica y secundaria. En la mayoría de los edificios escolares dañados, se pudo apreciar que los daños se presentaron en los elementos no estructurales. Las figuras 8.14 y 8.15 se muestran el caso de una escuela secundaria en el poblado de El Chante, en el municipio de Autlán de Navarro, en la que hubo daños considerables en los elementos no estructurales debido a una deficiente separación este tipo de elementos con la estructura (Fig. 8.16).



Figura 8.14 Rotura de vidrios y daño en muros de relleno en una escuela secundaria en el poblado de El Chante, municipio de Autlán de Navarro



Figura 8.15 Daño en muros de relleno en una escuela secundaria en el poblado de El Chante, municipio de Autlán de Navarro



Figura 8.16 Deficiente separación de los muros de relleno en una escuela secundaria en el poblado de El Chante, municipio de Autlán de Navarro

En algunas escuelas localizadas en los municipios de El Grullo, Tolimán y Zapotitlán de Vadillo, se presentaron daños en los apéndices, por estructuración inadecuada de la base de los mismos (Fig. 8.17).



Figura 8.17 *Falla de la estructura soporte del tinaco en una escuela primaria en Zapotitlán de Vadillo*

Asimismo, en algunos casos del municipio de Tolimán, además del daño no estructural, se observaron daños en elementos estructurales, dos ejemplos se describen en seguida. El primero de ellos es una escuela con un sistema estructural mixto, es decir, con muros de carga de mampostería y marcos de concreto, en el que hubo rotura de vidrios y daño por esfuerzo cortante en elementos cortos de concreto (Figs. 8.18 y 8.19).



Figura 8.18 *Rotura de vidrios en un edificio escolar*



Figura 8.19 Daño por esfuerzo cortante en un elemento corto de concreto reforzado

El segundo caso, con daño estructural, fue un edificio de una escuela primaria el que se derrumbó el techo debido a un deficiente diseño (Figs. 8.20 y 8.21). Éste era a dos aguas, estaba deficientemente ligado a sus apoyos (Fig. 8.21) y no poseía un tirante horizontal que le ayudara a controlar los desplazamientos y fuerzas laterales inducidos por su inclinación.



Figura 8.20 Falla del sistema de techo de un edificio escolar



Figura 8.21 Detalle de una conexión deficiente del sistema de techo de un edificio escolar

En el caso de las edificaciones de escuelas, los daños provocaron que no pudieran operar, como es el caso de los dos casos mostrados en las figuras anteriores. Ello implica, pérdidas económicas, afectaciones sociales y atrasos en programas educativos.

8.4 MICHOACÁN

La infraestructura de salud y educación no quedó exenta de daños debido a la acción del sismo. El grupo técnico del CENAPRED, en coordinación con personal del Sistema Nacional de Protección Civil y de DEPC-Michoacán visitó algunos edificios de infraestructura de salud y educación en los municipios afectados. En lo que se refiere a escuelas, en la figura 8.22, se muestra un ejemplo en el poblado de Cotija, en el que la estructura no sufrió daño; sin embargo, hubo rotura de vidrios y daño en muros divisorios producto de la interacción de éstos con la estructura.



Figura 8.22 Daño en vidrios y muros divisorios en una escuela del poblado de Cotija, Michoacán (foto: Dirección Estatal de Protección Civil del estado de Michoacán)

CAPÍTULO 9

INFRAESTRUCTURA DE SALUD

Sergio M. Alcocer y Carlos Reyes

9.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los sectores de suma importancia después de una emergencia urbana es el sector salud. Las edificaciones que lo componen, de acuerdo con la filosofía de diseño de los reglamentos de construcción, en México y el mundo, deben permanecer operando aún con el sismo más intenso que pueda afectar una determinada región. Sin embargo, resultó afectado por el sismo del 21 de enero de 2003.

Los daños en los hospitales visitados por el grupo de expertos del CENAPRED.

9.1.1 Colima

9.1.1.1 Clínica-Hospital “Dr. Miguel Trejo Ochoa”

Es un establecimiento de salud del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado (ISSSTE), se ubica en la esquina de las calles Gabriela Mistral e Ignacio Sandoval, la figura 9.1 muestra un croquis de localización del edificio y la figura 9.2 una vista exterior del mismo.

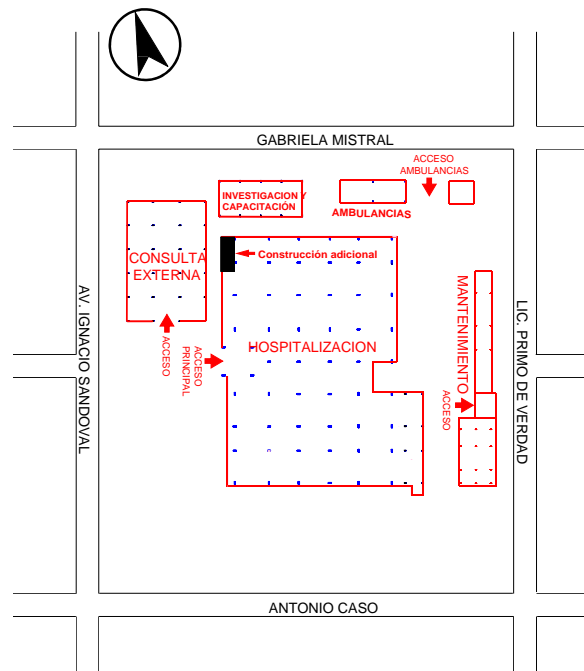


Figura 9.1 Croquis de localización y distribución de los diferentes edificios que conforman la clínica-hospital “Dr. Miguel Trejo Ochoa”



Figura 9.2 Vista general de la clínica-hospital “Dr. Miguel Trejo Ochoa”

La clínica-hospital está integrada por cuatro cuerpos, su distribución se muestra en la figura 9.1. De acuerdo con informes del personal que labora en la institución, la construcción de los edificios se realizó en distintas etapas, los edificios con mayor antigüedad, datan de los años setenta, son los edificios de Hospitalización y el de Mantenimiento, en una etapa posterior se construyó el edificio de Consulta Externa y finalmente el edificio de Investigación y Capacitación. Todos los edificios sufrieron daños derivados del sismo de Tecmán, Colima, el más afectado fue el de Hospitalización y el que presentó el menor daño fue el de Investigación y Capacitación. Los daños se describen en seguida.

9.1.1.2 Edificio de Hospitalización

Se trata de un edificio de un nivel, su estructuración original es una losa plana reticular apoyada directamente sobre columnas de concreto reforzado; la figura 9.1 muestra la distribución de las mismas. Sin embargo, después del sismo de 1985 sufrió daños y fue necesaria su rehabilitación encamisando las columnas y agregando algunas trabes invertidas (Fig. 9.3). Por necesidades de crecimiento en la década de los años noventa se agregó la parte indicada con tono gris en la figura 9.1; esta parte fue la que presentó mejor comportamiento.

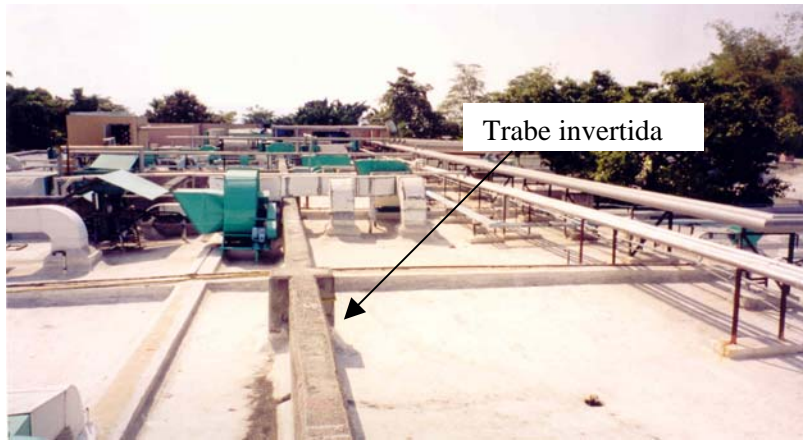


Figura 9.3 Ejemplo de las trabe invertidas agregadas después de los daños observados en el sismo de 1985

Los daños que se observaron se concentraron esencialmente en la parte antigua de la construcción, se apreció una caída generalizada de los acabados de las columnas, debido al desplazamiento lateral del edificio, a una deficiente liga entre el concreto y el mortero de pega (Fig. 9.4).



Figura 9.4 Ejemplo de la caída del acabado en columnas

Asimismo, hubo daño en un alto porcentaje en los muros divisorios localizados entre ejes de columna, se observó que aunque estaban desligados de la estructura sufrieron daños, derivados de

una deficiente separación y de los grandes desplazamientos que experimentó el edificio. En la figura 9.5, se presenta un ejemplo en el que en uno de los muros divisorios no se separó el acabado del muro y el de la columna y en consecuencia hubo desprendimiento del mismo. En los muros divisorios ubicados fuera de los ejes de columna el daño que se observó fue menor.



Figura 9.5 Deficiente separación entre los muros divisorios y los elementos estructurales

Los plafones también presentaron afectaciones, ocasionadas por una deficiente sujeción a la estructura que permitió el libre movimiento en todas direcciones (Fig. 9.6). También, hubo rotura de algunos vidrios en algunas ventanas del interior del hospital (Fig. 9.7).



Figura 9.6 Daño en plafones debido a un deficiente sistema de sujeción



Figura 9.7 Rotura de vidrios en el interior del edificio de hospitalización

En prácticamente todas las áreas del hospital, según comentarios del personal, hubo caída de mobiliario y equipo, desafortunadamente al momento de la visita ya se habían efectuado labores de limpieza, una evidencia es la figura 9.8, en la que se muestra el piso sucio debido a la caída de líquido desinfectante empleado en quirófanos. Lo ocurrido destaca la necesidad de tomar precauciones, como sujetar el mobiliario y equipo para evitar su caída en caso de un evento sísmico.



Figura 9.8 Evidencia de la caída de mobiliario y equipo en el área de quirófanos

En lo que se refiere a la estructura, hubo daño en algunas columnas en las que se observó ligero aplastamiento del concreto producto de los esfuerzos de flexocompresión a que fueron sometidas (Fig.9.9).



Figura 9.9 Daño ligero por aplastamiento del concreto en algunas de las columnas del área de hospitalización

9.1.1.3 Edificio de Consulta Externa

Es una construcción a base marcos de concreto reforzado, en la que se presentaron daños sólo en elementos no estructurales. De manera similar al edificio de Hospitalización, en éste hubo daño en muros divisorios, plafones, y caída de mobiliario y contenido del edificio. Las figuras 9.10 a 9.12 son un ejemplo del daño que se observó en el interior de la construcción.



Figura 9.10 Ejemplo del daño en muros divisorios del edificio de Consulta Externa



Figura 9.11 Caída de acabados en muros del edificio de Consulta Externa



Figura 9.12 Caída de cajas con medicamentos en la zona de farmacia

9.1.1.4 Edificio de Mantenimiento

Es un edificio construido en la misma época que el edificio de hospitalización, su estructura es a base de marcos de concreto reforzado con sistema de piso construido con losa maciza. Al igual que todos los otros edificios en éste se presentaron daños en muros divisorios y en el contenido; en la figura 9.13 se presenta el caso de la subestación eléctrica, de 3 ton de peso, que debido al movimiento generado por el sismo se deslizó aproximadamente 10 cm. Asimismo, se observó en algunas de las columnas daño por esfuerzo cortante debido al efecto de columna corta (Fig. 9.14).



Figura 9.13 *Movimiento horizontal de la subestación eléctrica provocado por el sismo*



Figura 9.14 *Daño en columnas del cuarto de control por efecto de columna corta*

9.1.1.5 Edificio de Investigación y Capacitación

Es el edificio más reciente y el que menor daño presentó, su estructura es a base de marcos de concreto reforzado y su sistema de piso es losa maciza. En este edificio sólo se observó un daño ligero en algunos de los muros divisorios ubicados entre ejes de columna (Fig. 9.15).



Figura 9.15 Daño en muros divisorios del edificio de investigación y capacitación

9.1.1.6 Conclusiones y recomendaciones

El deficiente comportamiento mostrado por los diferentes cuerpos que conforman la Clínica-Hospital “Dr. Miguel Trejo Ochoa” del ISSSTE desatiende la filosofía de diseño de este tipo de edificaciones. Dicha filosofía establece que este tipo de construcciones debe seguir operando después de una emergencia urbana como la del sismo de Tecomán, si bien una gran cantidad de daños se debieron a deficiencias constructivas, es evidente que estas provocaron que el edificio dejara de operar.

En la rehabilitación de la estructura de la Clínica-Hospital es recomendable un sistema que rigidice el sistema estructural existente, por ejemplo sustituir algunos de los muros de relleno de mampostería por muros de concreto o bien por diagonales de acero que sirvan de contraviento. Asimismo, se requiere realizar una revisión del contenido de los edificios e implementar un sistema de sujeción que evite su movimiento. Por ejemplo, en la zona de farmacia los anaqueles que almacenan medicamentos deben estar sujetos para evitar su caída, en la zona de hospitalización se deben tomar precauciones para evitar la caída de recipientes que contengan sustancias químicas.

9.1.2 Coquimatlán

De la inspección realizada al municipio de Coquimatlán, sólo se pudo observar una institución de salud (Seguro Popular) que al parecer es mampostería de tabique rojo confinada y al cual no se le observó daño alguno. No se tuvo la oportunidad de hacer una inspección al interior de las instalaciones y corroborar la ausencia de daños (Fig. 9.16).



Figura 9.16 Edificio del Sector Salud (Seguro Popular)

9.2 JALISCO

9.2.1 Michoacán de Ocampo

La infraestructura de salud no quedó exenta de daños debido a la acción del sismo. El grupo técnico del CENAPRED, en coordinación con personal del Sistema Nacional de Protección Civil y de DEPC-Michoacán visitó algunos edificios de infraestructura de salud afectados. Entre ellos destaca un hospital del Instituto Mexicano del Seguro Social, IMSS, en el municipio de Coalcomán. En el caso del hospital del IMSS se observó daño severo en elementos no estructurales, es decir, aquellos que no contribuyen a la resistencia sísmica de la construcción, tales como muros divisorios (Fig. 9.17). Asimismo, se pudo observar daño ligero en elementos estructurales, en su mayoría producto de la interacción de las columnas con los muros divisorios (Fig. 9.18).

Si bien los daños observados no comprometen la estabilidad de las construcciones, sí provocan que no puedan operar temporalmente, como fue el caso del hospital del IMSS. Ello implica, pérdidas económicas, afectaciones sociales y atrasos en programas educativos y de atención a la salud.



Figura 9.17 Daño en muro divisorio del Hospital del IMSS en Coalcomán



Figura 9.18 Daño ligero en una columna del Hospital del IMSS en Coalcomán

CAPÍTULO 10

PATRIMONIO CULTURAL

Roberto Durán, Leonardo Flores, Óscar A. López-Batíz, Miguel Angel Pacheco y Óscar de la Torre¹

10.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan los daños a edificios que forman parte del patrimonio cultural de los estados de Colima y Jalisco, en Michoacán no se tuvo conocimiento de daños de consideración en este tipo de edificaciones, salvo la caída de la iglesia de la cabecera municipal de Coalcomán.

Todas las construcciones evaluadas y que forman parte del patrimonio cultural, fueron iglesias, en su mayoría consideradas monumentos históricos, sin embargo, también se incluyen construcciones recientes.

10.2 COLIMA

10.2.1 Armería

Templo de Nuestra Señora de Guadalupe

El Templo Mayor de la comunidad de Armería es la iglesia de Nuestra Sra. de Guadalupe que tiene una antigüedad aproximada de 40 años, según proporcionada por las autoridades del lugar. El edificio consta de una nave rectangular con un sistema de techo a base de domos elipsoidales (cascarones de concreto reforzado), uno en cada crujía apoyándose sobre a los lados de la nave en los muros laterales y columnas. En la unión entre domos se forma forman un vértice a modo de trabe principal normal al eje de la nave apoyándose directamente en las columnas.

El sistema estructural consiste en columnas rectangulares de concreto reforzado que esencialmente toman la carga vertical, y de muros de mampostería así como aberturas con celosía entre las columnas de las paredes laterales. La fachada y el muro del ábside (al fondo de la nave) están formados por muros de mampostería confinada de tabique macizo de arcilla. La fachada, además del portón rectangular en la parte inferior, posee una abertura en forma de triángulo en la zona del coro que está rellena de piezas de celosía (Fig. 10.1).

¹ Ingeniero Consultor del Instituto Nacional de Antropología e Historia



Figura 10.1 Vista interior de la iglesia de Ntra. Sra. de Guadalupe y fachada principal

El daño en esta estructura se concentró en los muros de mampostería, resultando el techo de cascarones y las columnas de concreto sin daño alguno. Tanto en el muro frontal (fachada) como el posterior (ábside) se presentaron agrietamientos, que en general, correspondieron a la interfaz entre mampostería, castillos y dalas de concreto, pero también se presentaron agrietamientos inclinados debido a tensión diagonal por las fuerzas sísmicas horizontales. Dada la alta rigidez del sistema de techo y la relativamente baja rigidez de las columnas ante desplazamientos laterales, la mayor parte de las acciones horizontales en la dirección corta las resisten dichos muros. El desplazamiento lateral fue evidente por los daños locales y por la pérdida completa de la celosía de una de las aberturas.

En el sentido largo el sistema resistente resultó poco eficiente ya que muchos de los muros de mampostería no llegan a la base debido a aberturas para puertas, y en cambio las aberturas para celosía sí descansan en muros en la zona baja. De hecho se presentaron daños locales en algunos elementos de este sistema de columnas-muros-vigas que permitieron identificar muy bien la formación de un mecanismo de falla. En la figura 10.2 se muestra esquemáticamente este mecanismo.

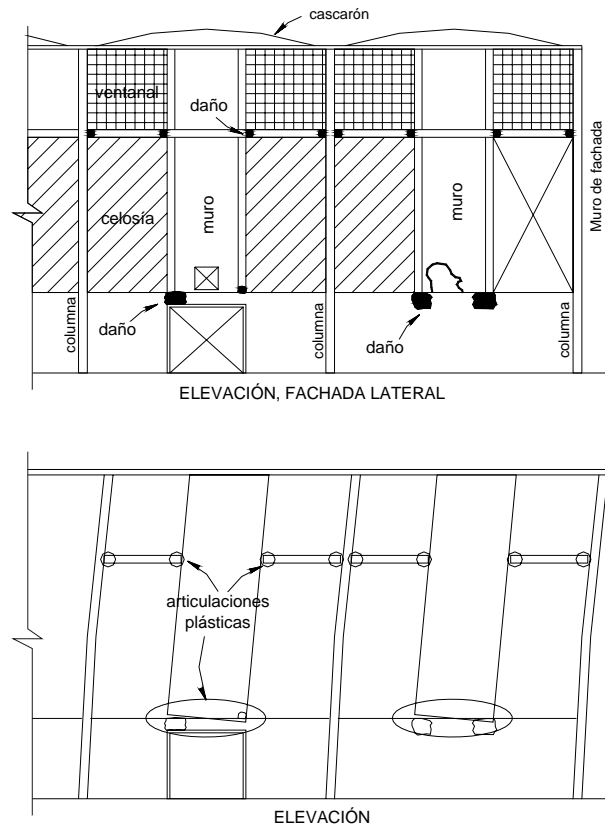
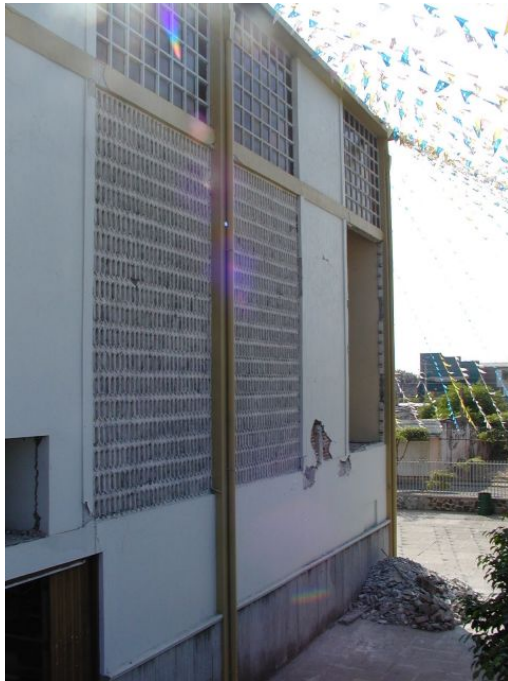


Figura 10.2 Estructuración de las paredes laterales y mecanismo de falla

Se identificó el posible mecanismo ya que las columnas (relativamente flexibles) no tuvieron daño, mientras que las vigas de pequeñas dimensiones sobre las aberturas de celosía mostraron la articulación plástica en sus extremos, tanto las que se conectaban con las columnas como las que se conectaban con el muro de mampostería. Los muros de mampostería registraron daño en su base formando una articulación plástica adicional. Cabe mencionar que la conexión entre los extremos del muro de mampostería (con elementos de concreto tipo castillos) con el muro inferior mostraron serias deficiencias (Fig. 10.3).



Figura 10.3 Daño en los extremos de traves (articulaciones plásticas)

Según se pudo apreciar, la conexión entre los muros inferiores y los elementos de concreto verticales de los muros de la parte alta fue realizada posteriormente a la construcción de la cadena de cerramiento de los muros inferiores, ya que se observó que se había demolió parte de ésta (Fig. 10.4). El concreto nuevo fue elaborado con agregado de piedras redondas de río y no se contaba con estribos grapas u otros elementos que proporcionaran un confinamiento eficiente. Se considera que hubiera sido más conveniente continuar los elementos de concreto hasta la cimentación y así evitar la excesiva concentración de fuerzas en esta conexión.



Figura 10.4 *Articulaciones plásticas en las vigas y daño en las conexiones deficientes de los muros de mampostería*

Durante la visita se reconoció que la estabilidad de la estructura ante cargas verticales no estaba comprometida, ya que éstas las soportan las columnas de concreto que permanecieron intactas. La resistencia a acciones laterales en el sentido corto la tomaron el muro de fachada y el del ábside, dañándose en consecuencia. Se recomendó realizar una revisión analítica para justificar un proyecto de rehabilitación que implique el refuerzo de los muros extremos para las acciones en la dirección corta.

En la dirección larga, se recomendó evitar las discontinuidades en los elementos resistentes y mejorar el detallado de las conexiones. También en esta dirección, varios de los muros, que por su elevada rigidez tomas las cargas laterales, se interrumpían en la parte baja para las aberturas de puertas y de ventiladores. Una opción es cambiar la posición de las puertas y garantizar la regularidad de la rigidez en elevación y resistencia de estos elementos.

10.2.2 Colima

Catedral Basílica Menor de Colima

El templo principal de Colima ha sido reemplazado o reconstruido en múltiples ocasiones, desde la primera Capilla de adobe, teja y zacate hacia el año de 1533. En la reseña se señalan varios desastres debidos a terremotos que han derrumbado parcial o totalmente la construcción y a tempestades que provocaron la pérdida de techos ligeros (Valbuena, 2002)

"En 1875, en una visita que hizo el Sr. Obispo de Guadalajara Don Pedro Loza y Pardabe, para ver como iba la obra, detiene los trabajos, por parecerle los muros muy débiles, motivo por el cual Lucio Uribe presenta un nuevo proyecto, en el que propone una planta en forma de cruz latina y en lugar de tres naves, una, y para la fachada principal un pórtico, dos torres y cúpula."

"Don Lucio Uribe, fue un alarife, maestro albañil con gran experiencia, construyó Palacio de Gobierno, el Teatro Hidalgo y algunos puentes. Tuvo autorización en 1875, por medio de un dictamen de iniciar los trabajos inmediatamente, la mitra de Guadalajara autorizó."

"El 15 de abril de 1941, a la 1:30 p.m., se dejó sentir un terremoto con toda su violencia sembrando la muerte y la destrucción." "La torre de Catedral se vino abajo, los muros, la cúpula, en sí todo el edificio en su estructura general quedó dañado, hasta se pensó demolerlo todo."

"No fue así, finalmente se pensó en estructura de metal y concreto armado, José A. Vadillo y Maximino Calvario, hacen la reconstrucción austera y más sencilla, tres años y meses permanece la catedral cerrada y es abierta en el año de 1944 y terminada en el 1949."

"La obra se ejecutó lentamente y sufriendo modificaciones de construcción hasta tomar sus características actuales como un templo monumental de planta cruciforme y gran cúpula al centro y ornamentación neoclásica, en su entrada principal exhibe un frontón sostenido por columnas jónicas flanqueadas por nichos, en su interior se aprecia una ornamentación de yesería con singular elegancia."

En junio de 1998, el Papa Juan Pablo II, reconoció esta catedral como Basílica Menor por el fervor manifestado hacia la Virgen de Guadalupe."

En la figura 10.5 se presenta la planta del inmueble. En la figura 10.6 las fachadas indicando los agrietamientos ocurridos.

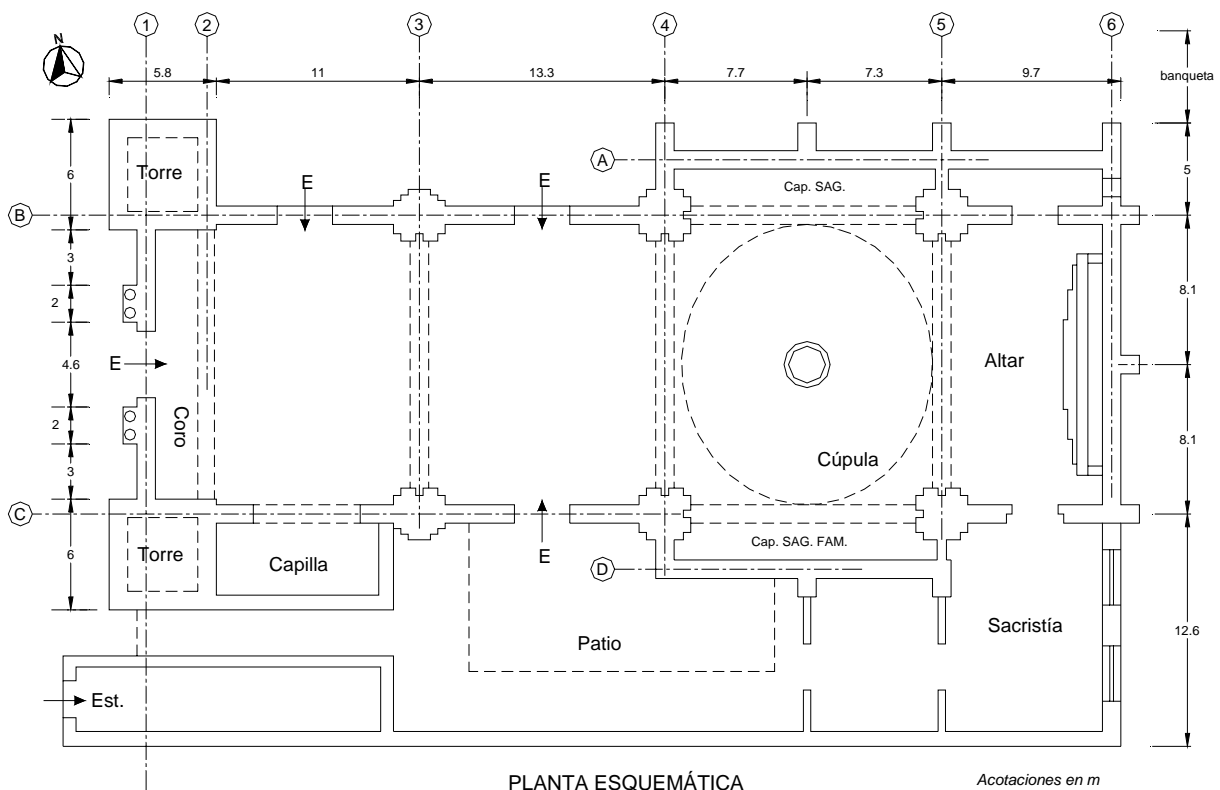


Figura 10.5 Planta de la Catedral de Colima

Las observaciones, comentarios y recomendaciones dadas a raíz de la primera visita de inspección estructural fueron:

a) No hay indicio, ni evidencia de algún corrimiento horizontal, de penetración vertical, ni en banquetas ni en el interior del templo, que pudieran ser manifestación de algún mal comportamiento de la cimentación. Al visitar el área de criptas, por debajo del área de la Sacristía, se confirma la ausencia de corrimientos o desplazamientos, que son evidencia del comportamiento aceptable de la cimentación.

b) El sistema estructural reciente, constituido por elementos de concreto en la mitad inferior de cada Torre, mostró un comportamiento aceptable durante el evento sísmico. Por lo anterior se requieren calas para confirmar la presencia de estos elementos de concreto, en las cuatro caras de cada Torre.

La mitad superior de cada Torre, aunque muestra también alguna intervención anterior, sufrió acción de volteo, dañando por penetración vertical, las esquinas al nivel de desplante del cuerpo con columnas y campanas, deteriorando la pequeña marquesina no estructural.

Se requiere acción local de confinamiento horizontal, con losa zuncho de concreto de 10 a 12 cm de espesor, sobre la pequeña marquesina y perimetral a cada Torre. (Ver croquis de fachada).

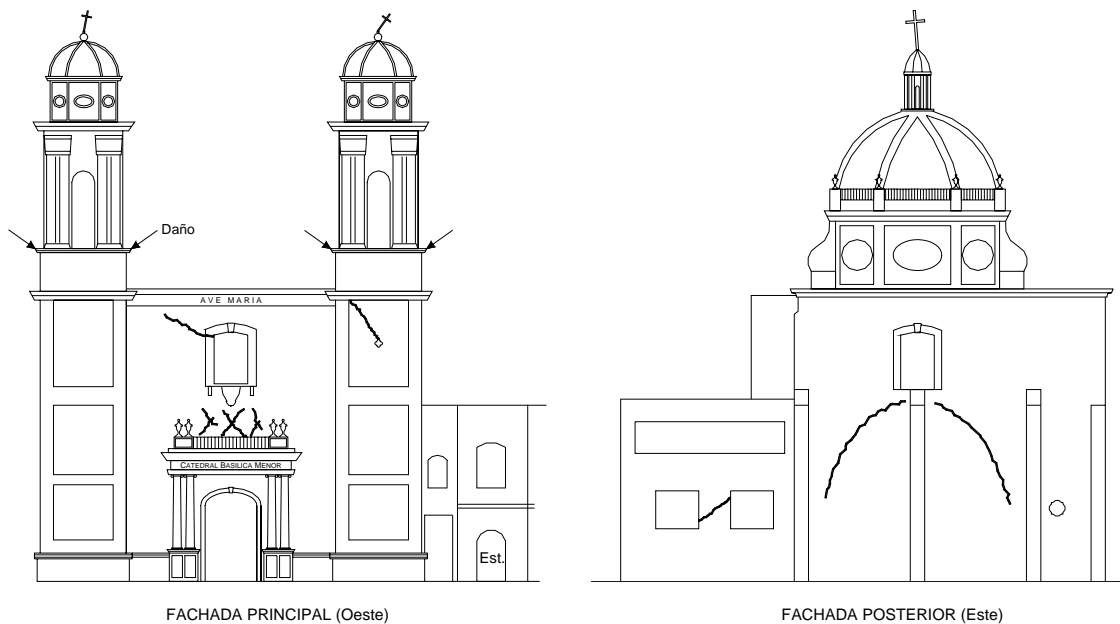


Figura 10.6 Agrietamientos en las fachadas

c) El cuerpo metálico de cada una de las tres cruces, ubicadas arriba de Cúpula y torres, no muestra deterioro importante por oxidación, y la falla de una de ellas, sucedió en su base de concreto, que le sirve de empotramiento. El agua de lluvia penetró a través del elemento metálico, dentro de la pequeña esfera de concreto, produciendo oxidación, aumento de volumen y fractura el propio concreto, desconfinando al Elemento Metálico, volteando este en su actividad de péndulo invertido.

Requiere confinamiento nuevo, metálico o de concreto, o reposición de la zona de concreto dañada. (ver figura 10.7).

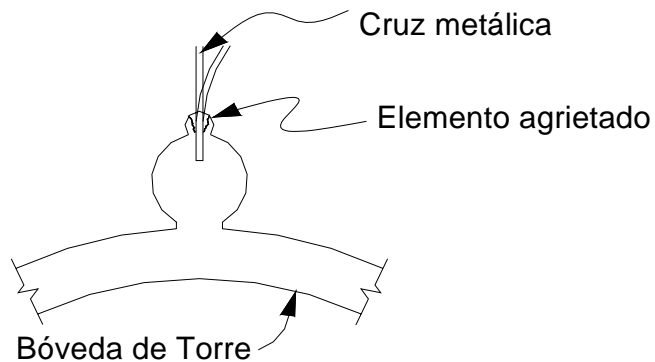


Figura 10.7 Daño en la base de la cruz y vista de la Catedral

d) El muro del eje (1) Fachada principal Nor-Poniente sufrió fisuramiento (2 a 3 mm) máx. en posiciones diagonales de longitud pequeña (2 a 3 m máx.), al desplazarse horizontalmente en forma alternada; Esta deformación no alcanzó a distorsionar ni agrietar el firme del piso del coro.

Se requiere restauración local, rellenando el espacio de fisuras, para consolidar e integrar la mampostería original.

e) No hay evidencia de desplazamiento horizontal del cuerpo de cada torre, que las hubiera desprendido del cuerpo principal central, ni en la dirección longitudinal ni en la transversal de la nave. Es muy probable que tenga dalas y castillos como se señaló en el punto b), dando un comportamiento aceptable.

f) El sistema de bóvedas entre ejes (2) y (4) se aprecia sin fisuras, sin corrimiento con respecto a los ejes longitudinales (8) y (C) sólo se detectó un desprendimiento del recubrimiento del arco eje (3), que permite apreciar el cuerpo del propio arco, con alguna posible intervención anterior, pero sin perder la integridad o unidad con la bóveda. Se requieren calas para confirmar lo anterior y decidir algún proceso de consolidación.

g) El cuerpo de la cúpula principal, con tambor octogonal, sufrió rotación típica en estos movimientos sísmicos, desarrollando fisuras de 2 a 4 mm sobre los arcos que la soportan. Se manifiestan también fisuras en el cuerpo del tambor, en posiciones diagonales (2 a 3 mm) alrededor de ventanas en sus 8 caras.

Requiere integración de un zuncho interior al nivel del desplante del tambor, para integrar de mejor manera a esta cúpula, con sus arcos, así como restauración de los elementos de decoración.

h) Los contrafuertes ejes (4) y (5) entre ejes (A) y (8) cercanos a la calle de Madero, muestran fisuras verticales y diagonales, que son evidencia de la deformación importante durante la acción sísmica hacia el Norte. Requieren restauración y refuerzo para capacitarlos en futuros eventos.

El sismo transversal en el sentido Sur de la dirección transversal, hizo participar a los muros de la edificación vecina, que operaron como contrafuerte natural, agrietándose.

Estos muros de la casa conventual anexa, en sus dos plantas requieren rehabilitación con nuevos aplanados estructurados con malla electrosoldada, ya que seguirán colaborando a la resistencia del conjunto estructural en futuro eventos sísmicos. Se recomienda verificar también los muros cercanos a la colindancia Sur, pertenecientes al Palacio de Gobierno, que pudieran también haber sufrido la acción de este evento sísmico.

i) El muro del eje (6), fachada Sur -Oriente, muestra fisuras debidas a la acción del golpeteo inducido por el muro paralelo que forma el respaldo del Altar principal. Este muro del Altar también muestra fisuras y requiere mejor integración e incorporación al muro del eje (6).

La bóveda entre los ejes (5) (6), (8) y (C), tiene fisuras en todas direcciones, de 1 a 2 mm., visibles en la azotea, y por su lecho inferior, debidos al mismo efecto señalado antes y sólo requieren consolidación o relleno.

j) En ningún muro se detectó desplomo mayor del 0.5 %, valor que es totalmente aceptable.

k) El procedimiento detallado para los trabajos de restauración y rehabilitación será objeto de desarrollo posterior y es indispensable la acción de supervisión estructural.

No se requiere acción de apuntalamiento alguno, pero es necesaria la colocación de protección a la feligresía, si los trabajos se llevan a cabo con la edificación abierta al culto.

10.2.3 Ixtlahuacán

La iglesia de la cabecera municipal del municipio de ixtlahuacán también resultó dañada, en la figura 10.8 se muestra un croquis de localización del inmueble. Se trata de una construcción moderna, en la que los daños que se observaron fueron en la celosía de la torre del campanario, así como agrietamiento diagonal en muros de mampostería (Fig. 10.9).

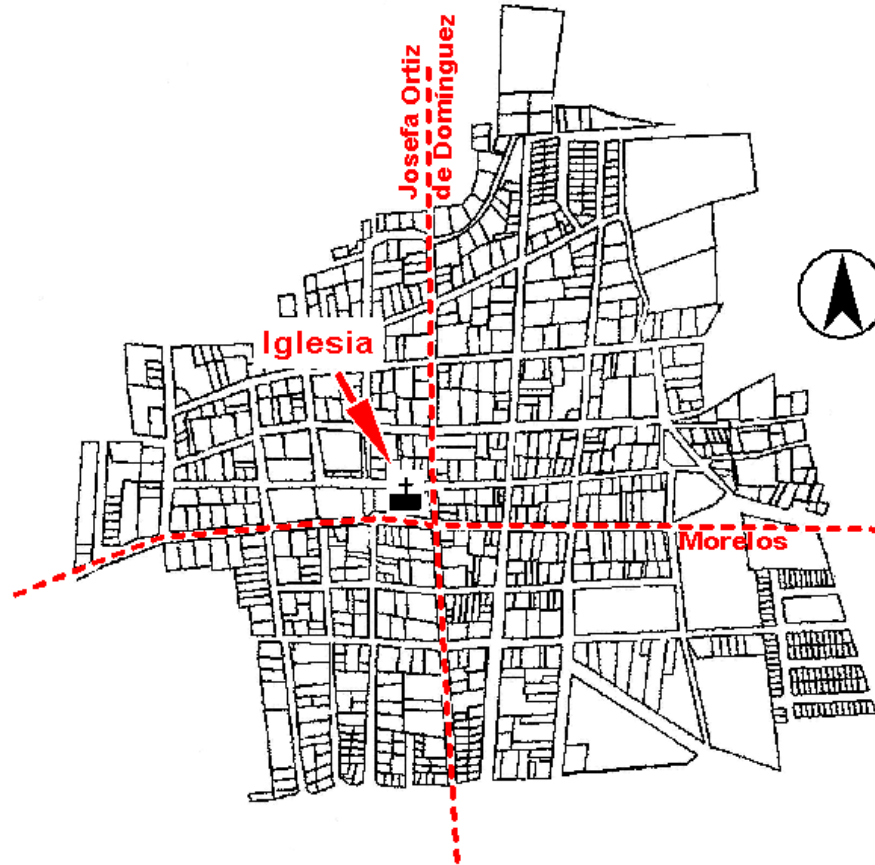


Figura 10.8 Croquis de localización de la iglesia de Ixtlahuacán

Daño en los muros de celosía del campanario



Agrietamiento diagonal en muros de mampostería

Figura 10.9 Vista exterior del daño de la iglesia de Ixtlahuacán

10.2.4 Coquimatlán

En el centro del municipio de Coquimatlán, se encuentra localizada la Iglesia de San Pedro la cual sufrió daños severos en todo el cuerpo. La configuración de la iglesia es en forma de cruz latina y presenta contrafuertes perpendiculares a la nave principal en toda la altura. La estructura está construida con diferentes materiales. En algunos muros se observó piedra y en otros la combinación de piedra con tabique rojo recocido. Cabe señalar que, según información proporcionada, la iglesia sufrió daños de consideración en el sismo de 1995 y fueron reparados. Incluso en las columnas del campanario se observa que fueron rehabilitadas mediante encamisado con ángulos de acero.

Por lo que corresponde al daño debido al sismo del 21 de enero del año en curso, consistió en el agrietamiento severo de prácticamente todos los muros (Fig. 10.10) así como la aparición de grietas en la base de todas las cúpulas con que cuenta la iglesia (Fig. 10.11) e incluso la caída parcial de una de ellas (la del crucero de la iglesia) (Fig. 10.12). Otro daño que se observó, fue la caída del segundo nivel del campanario sur que cayó en el patio de la presidencia municipal (Fig. 10.13) que por fortuna no causó daño a personas ni a las instalaciones. El campanario norte, también sufrió daños importantes pero por fortuna no cayó. Sin embargo, la estabilidad del segundo nivel del campanario era de alto riesgo (Fig. 10.14). También se apreciaron grietas inclinadas en el cuerpo de la torre norte así como en los muros que se encuentran por arriba del portón (Fig. 10.15).



Figura 10.10 Daño observado en algunos de los muros de la iglesia



Figura 10.11 Daño observado en las cúpulas de la iglesia



Figura 10.12 Caída parcial de la cúpula del crucero



Figura 10.13 Caída del segundo nivel del campanario sur



Figura 10.14 Vista del daño en el campanario norte



Figura 10.15 Grietas en cuerpo de torre y muros

10.2.5 Tecomán

Templo de Santo Santiago

El templo de Santo Santiago es la iglesia principal en la localidad de Tecomán. Fue terminada a principios de la década de 1940. Se compone de una nave con planta en forma de cruz romana, pero, en lugar de torres, posee dos capillas laterales a los lados de las fachadas Norte y Sur. El ábside está orientado hacia el Este. En la fachada principal posee una estructura para el campanario que trabaja como apéndice. En la figura 10.16 se presenta una vista general del templo y en la figura 10.17 la planta esquemática del mismo.



Figura 10.16 *Templo de Santo Santiago*

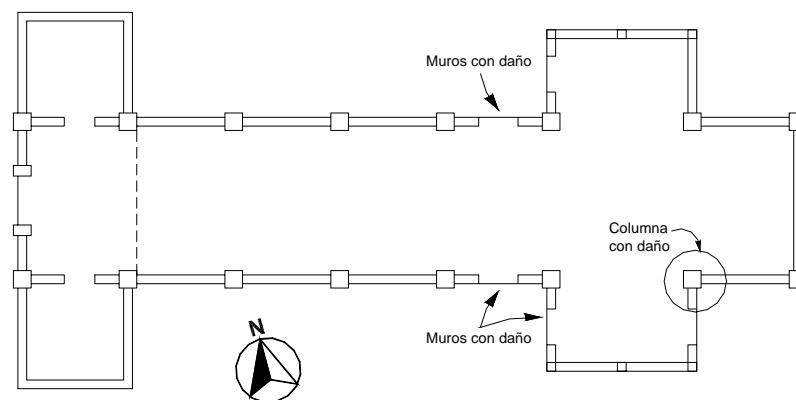


Figura 10.17 *Planta esquemática, templo de Santo Santiago*

La estructura se compone de columnas de concreto reforzado que soportan el sistema de techo plano formado por una retícula de traveses secundarias apoyadas sobre traveses principales de concreto reforzado. Los muros están hechos de mampostería de tabique macizo de arcilla.

El daño se presentó en los muros de mampostería, especialmente en los muros del crucero y junto a éste, mismos que cuentan con aberturas para puertas y ventanas. En estos se presentaron

grietas inclinadas y grietas horizontales, así como agrietamientos siguiendo formas circulares, evidenciando la presencia de arcos sobre las ventanas. Algunas de las ventanas perdieron completamente la celosía que las cubría. Se formaron también algunos agrietamientos verticales en esquinas y en la unión con un cuerpo adyacente al crucero en su parte Sur.



Figura 10.18 Patrones de daño en los muros de mampostería en el crucero, lado Norte y Sur

A pesar del daño aparatoso en los muros, la estabilidad ante cargas verticales está garantizada por las robustas columnas de concreto y el sistema de vigas de concreto del techo, las cuales no tuvieron daño alguno salvo en un caso específico. El caso mencionado se trató de un agrietamiento inclinado por cortante en la parte superior de una de las columnas del crucero, que recibe la carga de la losa sobre la zona del altar, a través de una trabe principal (marcada en la planta de la Fig. 10.19). En la figura 10.19 se muestra este agrietamiento, así como una vista interior de la nave principal.



Figura 10.19 Vista de la nave principal y detalle de daño en la parte superior de una columna

Durante la visita se informó que la seguridad del inmueble no estaba en riesgo, pero se hizo énfasis en la necesidad de aplicar alguna técnica de rehabilitación en la columna dañada.

Adicionalmente a los daños en el cuerpo principal del templo, se tuvieron daños en los muros de mampostería del apéndice usado como campanario. Se colapsaron algunos muros divisorios de tabique interiores al campanario, que no tenían refuerzo. También se agrietó verticalmente una saliente decorativa en la fachada del campanario simulando una "columna", pero hecha de mampostería. Esta pieza manifestaba una condición inestable con riesgo de caer hacia la explanada frente al templo, por lo cual esta zona estaba acordonada (Fig. 10.20).



Figura 10.20 Daños en el campanario del templo de Sto. Santiago

10.3 JALISCO

En esta sección se presentan casos particulares de iglesias que fueron visitadas y revisadas durante los recorridos hechos en el estado de Jalisco, después del sismo de Tecomán de enero de 2003. Se hace una presentación de diferentes casos, sin pretender lograr una descripción minuciosa de sus características geográficas y físicas generales.

De la visita ocular efectuada a diferentes municipios del estado de Jalisco, se encontró que los monumentos históricos (iglesias) sufrieron daños desde ligeros o menores, en aquellas edificaciones más alejadas del epicentro (por ejemplo en los municipios de la vecindad de Guadalajara y Zapopan), hasta daños severos y colapso parcial, en las iglesias ubicadas en los poblados de la vecindad con el estado de Colima (por ejemplo las iglesias de las cabeceras municipales de Toliman, Zapotitlán de Vadillo, así como del templo de Tepatán en este último municipio). La mayoría de la estructuras de las iglesias que presentaron daños de medio a severo estaban constituidas totalmente por mampostería no reforzada, sobresaliendo la combinación de materiales, adobe, piedra braza, tabique rojo recocido, etc.

Los daños ligeros que se observaron fueron caída de recubrimientos y daño en elementos no estructurales, así como fisuras en algunos de los muros que no ponen en peligro la estabilidad de las construcciones. El patrón de desprendimiento de recubrimientos o “enjarre” es similar al observado en las edificaciones para vivienda; cabe la mención de que tanto los conceptos estructurales, como los materiales empleados para la construcción de iglesias resulta coincidente con los empleados para vivienda. También, los procedimientos de construcción están basados en la tradición para autoconstrucción de la región. Este tipo de daños se observaron en iglesias ubicadas a distancias superiores a 100 km de la localización del epicentro del evento (USGS, 2003), y los ejemplos representativos se presentan en las figuras 10.21 y 10.22.



Figura 10.21 Daños ligeros observados en las columnas de los campanarios en iglesias del estado de Jalisco, ubicadas en la vecindad del municipio de Guadalajara



Figura 10.22 *Agrietamiento ligero en muros en iglesias del estado de Jalisco, ubicadas en la vecindad del municipio de Guadalajara*

Los daños medios se concentraron en las estructuras de las torres, presentando agrietamiento en los extremos de algunas de las columnas de los campanarios y en los arcos de los mismos (Fig.10.23). También se observó agrietamiento vertical en las esquinas donde se intersectan los muros estructurales, esto debido a la ausencia de refuerzo en estas zonas de las estructuras que permita trabajar conjuntamente el sistema de muros ortogonales y el sistema de techo. Esta característica resulta ser común en la mayor parte de las estructuras de las zonas rurales del estado. Otro tipo de daño fue el agrietamiento entre los componentes de la fachada principal, agrietamiento vertical entre los cuerpos de las torres y el frontón de la parte superior del portón (Fig.10.24). En general el tipo de daño considerado como medio, no pone en peligro la estabilidad de las estructuras; siendo observado en municipios ubicados a distancias entre 80 y 100 km de la localización del epicentro.



Figura 10.23 *Daños medios, agrietamiento en los arcos de las estructuras de campanarios*



Figura 10.24 Daños medios entre los cuerpos que componen la estructura de la fachada de iglesias

Los daños severos fueron desde agrietamiento severo y desfasamiento de las columnas de los campanarios (Fig.10.25), hasta colapso parcial de las bóvedas y cúpulas de los techos (Fig. 10.26). También dentro de este rubro se considera al agrietamiento severo entre los cuerpos de las torres de campanarios y la estructura del portón (Fig. 10.27). En algunas de las iglesias con este nivel de daño presentaban agrietamiento vertical y diagonal severo en los muros y las uniones entre ellos, generando inestabilidad fuera del plano y requiriendo de su apuntalamiento (Fig. 10.28). En todos estos casos la estabilidad de parte de la estructura está en peligro, observándose que las direcciones municipales de Protección Civil habían ya tomado las medidas pertinentes para acordonar e impedir el acceso a estos sitios.



Figura 10.25 Daños severos en los extremos de las columnas de la estructura de campanario



Figura 10.26 Daños severos, colapso de las bóvedas de iglesia en Tetapán, municipio de Zapotoitlán de Vadillo



Figura 10.27 Daños severos, agrietamiento entre los cuerpos de torres de campanarios y portón, y en los extremos de las columnas del campanario



Figura 10.28 Daños severos, falla de muros laterales e inestabilidad fuera del plano

Salvo la iglesia del poblado de Tepatán, en el municipio de Zapotitlán de Vadillo, todos estos daños se consideran de un nivel susceptible de poderse reparar.

10.4 ESTRUCTURACIÓN MÁS COMÚN EN LAS EDIFICACIONES DE IGLESIAS

La composición arquitectónica de la mayoría de las iglesias principales de las cabeceras municipales del estado guardan similitud con las de los estados de Puebla y Oaxaca. Como se muestra en la figura 10.29, este tipo de iglesias posee una configuración en planta en forma de cruz latina. La nave transversal intercepta a la nave principal en el crucero, el cual es cubierto por la cúpula mayor de la iglesia. La fachada principal está rematada en su parte superior por un frontón que puede o no llevar ornamentos, nichos, relojes, almenas u otros elementos decorativos. A cada lado de la fachada se levanta el cuerpo de las torres. Por lo general, sólo una de las dos torres lleva la estructura del campanario que consta de uno o dos niveles con aberturas con arco en el dintel, que dan lugar a las “columnas” del campanario. En la cúspide de la torre puede encontrarse un cupulín, una linterna o una combinación de ambas rematando en una cruz. Producto de la influencia hispánica de la religión en nuestro país, resulta evidente que la mayoría de las iglesias más importantes, que generalmente serán las de mayor antigüedad, tendrán una configuración como la mostrada en la figura, independientemente de la región geográfica que se trate; la única diferencia apreciable está en la altura, robustez y forma de estructuras los diferentes componentes. En las iglesias del estado de Jalisco, las estructuras resultan con una robustez intermedia entre las observadas en los estados de Puebla y Oaxaca, atendiendo probablemente al nivel de sismicidad del estado, que pudiera pensarse de nivel intermedio entre los dos estados mencionados; sin embargo, el problema de las iglesias del estado, al igual que la mayoría de la edificación en la zona rural del mismo, es el inadecuado uso de los materiales y elementos resistentes.

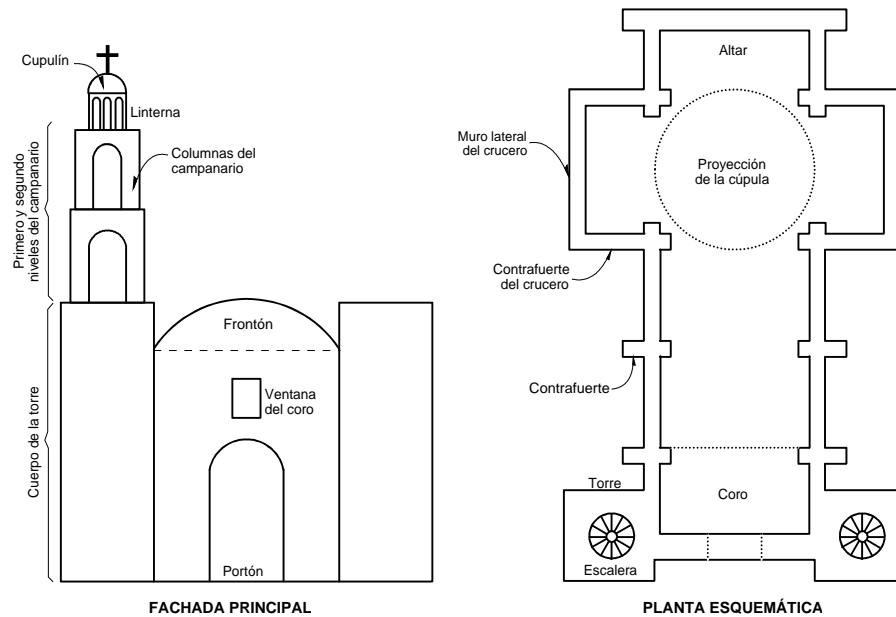


Figura 10.29 Configuración típica de las iglesias

“El sistema estructural usado, desde las iglesias del siglo XVI hasta las pequeñas iglesias más recientes (entre 50 y 100 años de construidas), se basa usualmente en el arco trabajando por gravedad para recibir el peso del sistema de cubierta; éste, a su vez, se forma por bóvedas cilíndricas de cañón corrido. La mayoría de estas estructuras tenían lunetos o tramos de bóveda que interceptan a la bóveda principal y que permiten iluminación por pequeñas ventanas bajo los arcos laterales (Fig. 10.30). El material usado para los muros y contrafuertes fue mampostería de piedra natural principalmente y, en general, para las partes masivas de la estructura. En las iglesias de menor tamaño y de más reciente construcción, los elementos estructurales superiores, como cúpulas, campanarios, linternas y ornamentos menores están hechos con materiales de más baja resistencia, como mampostería de adobe o de barro unido con mortero pobre, lo que incrementa su vulnerabilidad ante sismos de bajo poder destructivo.” (Alcocer et al, 1999)

“En sentido longitudinal, se puede considerar a la nave dividida en crujías o espacios entre arco y arco. En la primera crujía, a la entrada de la iglesia, existe un coro, estructurado también a base de arcos (Fig. 10.30). Las torres que se pudieron examinar estaban constituidas por un cuerpo de base rectangular hecho de mampostería de piedra, con un acceso circular al centro alojando las escaleras de caracol. Las cúpulas están soportadas, en general, por un tambor con traza circular u octagonal y que está perforado por ventanas.” (Alcocer et al, 1999)

“Los muros laterales están cerrados casi en su totalidad salvo por pequeñas ventanas bajo los arcos laterales que reciben a los lunetos. Los empujes horizontales de arcos y bóvedas que se producen se resisten mediante contrafuertes o muros que sobresalen del cuerpo de la nave principal. La nave transversal a la altura del crucero se limita por los muros laterales del crucero y por muros normales al eje de la bóveda principal que trabajan como contrafuertes del crucero. Las torres resisten en su propio cuerpo las acciones verticales permanentes, así como las acciones horizontales como en el caso de los sismos. El frontón es una continuación del normalmente grueso y adornado muro de fachada, pero carece de refuerzo y rigidez suficientes fuera de su plano.” (Alcocer et al, 2001)

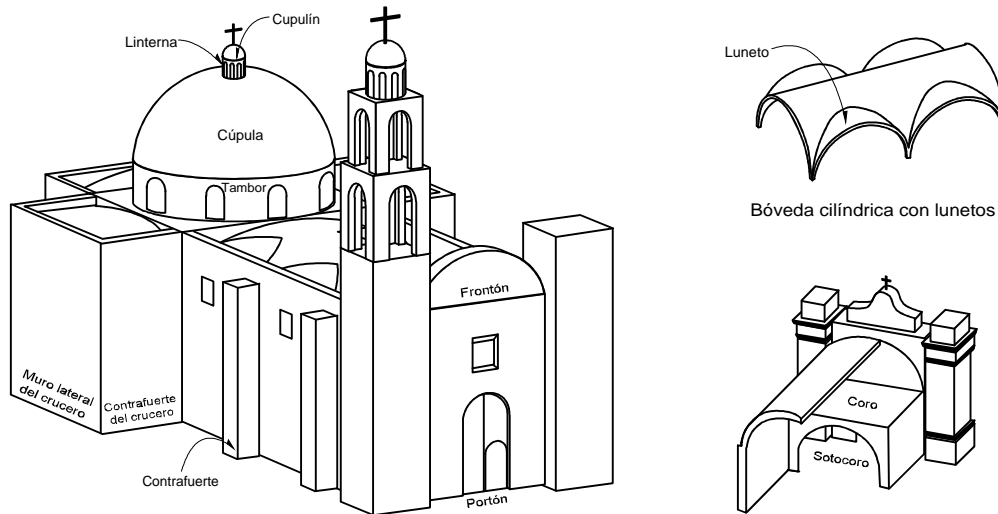


Figura 10.30 Perspectiva de la configuración típica de las iglesias

10.5 TIPO PRINCIPAL DE DAÑO

Haciendo una revisión de los daños principales se encontró que los elementos más vulnerables fueron los campanarios de las torres, los portones y las uniones entre estos. Fue muy frecuente el agrietamiento horizontal en las columnas de los campanarios, el agrietamiento entre los elementos que componen el arco de las torres de campanarios y el agrietamiento vertical entre los cuerpos de campanarios y las estructuras de los portones.

Con menor frecuencia, se registraron agrietamiento horizontal en la base del frontón, y grietas verticales e inclinadas en la fachada y que atraviesan las claves de aberturas como la ventana del coro y el portón. Menos frecuentes fueron las grietas verticales en la interfaz del cuerpo de las torres y la portada.

En algunas de las iglesias de las que se obtuvo información de los feligreses, se observó agrietamiento longitudinal en el espinazo de la bóveda principal.

REFERENCIAS

Alcocer S. M., Aguilar G., Flores L.E., Bitrán D., López-Bátiz O., Pacheco C.M., Reyes C., Uribe C.M., y Mendoza M.J. (1999), "El Sismo de Tehuacán del 15 de Junio de 1999", informe técnico, Centro Nacional de Prevención de Desastres, julio, 159 pp.

De la Torre O. (2003), "Visita de inspección estructural 'Catedral Basílica Menor', Colima, Col.", Documento realizado para la Coordinación Nacional de Monumentos Históricos, Instituto Nacional de Antropología e Historia, enero 28, 28 pp.

Valbuena G. (2002), "Catedral Basílica Menor de 'Nuestra Señora de Guadalupe', Colima, Col.", periódico parroquial, diciembre.

CAPÍTULO 11

EDIFICIOS PÚBLICOS

Sergio M. Alcocer, Roberto Durán, Leonardo Flores y Carlos Reyes

11.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta una breve descripción de los daños en edificios pertenecientes a la administración pública del estado de Colima.

11.2 COLIMA

11.2.1 Colima

11.2.1.1 *Administración Local Jurídica de Colima*

De acuerdo con la información proporcionada por el Presidente de la Cámara Nacional de Comercio (CANACO), este edificio es propiedad de dicha Cámara y le arrenda algunos niveles a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Este edificio se ubica en la calle de Hidalgo no. 93 y cuenta con cuatro niveles y un apéndice para la salida de escaleras y el depósito de agua. La planta baja es de doble altura, y cuenta con un entrepiso a media altura que abarca parcialmente el área en planta. La forma en planta del edificio es rectangular alargada y cuenta con dos cubos de iluminación abiertos en los tres niveles superiores. En la figura 11.1 se presenta la planta tipo del edificio.

La estructura del edificio consta de marcos de concreto reforzado, principalmente en los ejes de colindancia Este y Oeste. Además, dichas colindancias cuentan con muros diafragma de mampostería de tabique macizo de arcilla, y la dimensión mayor de las columnas se encuentran orientadas en esta dirección. Sin embargo, los marcos que se forman en la dirección corta resultan sumamente flexibles. Cabe señalar que en la dirección corta sólo se cuenta con algunos segmentos de muro en el cubo de luz Oeste (Eje 4 y 6) y frente a las escaleras (eje 6).

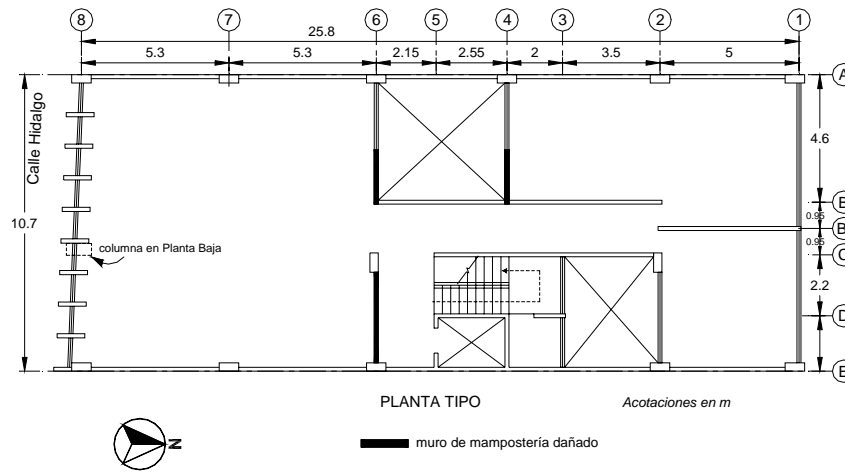


Figura 11.1 Planta tipo del edificio

El daño consistió en agrietamiento inclinado en los muros de mampostería orientados en la dirección corta (Este-Oeste), con patrones de grietas con forma de "X", observadas en el segundo nivel (primer piso), tercer y cuarto nivel. En la figura 11.2 se muestra la fachada principal del edificio así como algunos de los muros agrietados.



Figura 11.2 Fachada del edificio y muros agrietados

Adicionalmente se observó un agrietamiento vertical en lo que se pensaba era una columna de la planta baja en la fachada principal (ver plano en Fig. 11.1), pero se determinó, con una inspección visual, que se trataba de la junta entre la columna y otro elemento (un muro). También se presentó la caída del tinaco de asbesto desde el techo. Se pudo observar, sin embargo, que los restos de un castillo caído de la zona del tinaco habían sufrido de deterioro en el concreto y corrosión en el acero.

Se determinó que el edificio es suficientemente rígido y resistente en la dirección larga, en especial por los muros de colindancia, pero en la dirección corta la estructura de concreto es especialmente flexible por lo que las cargas las tomaron los escasos muros de mampostería.

11.2.1.2 Edificio de las oficinas administrativas del ISSSTE

El edificio de las oficinas administrativas del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado, se localiza frente a Clínica-Hospital “Dr. Miguel Trejo Ochoa” en la esquina de las calles Gabriela Mistral e Ignacio Sandoval de la ciudad de Colima; la figura 11.3 muestra un croquis de localización del inmueble.

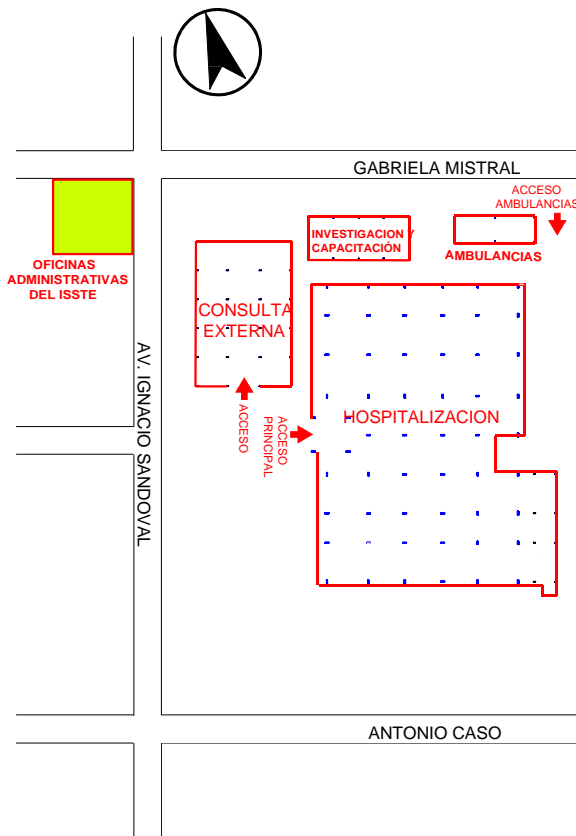


Figura 11.3 Croquis de localización del edificio de oficinas administrativas del ISSSTE

El edificio de referencia, tiene tres niveles y su estructura es una losa reticular apoyada directamente sobre columnas, por lo que es sumamente flexible; en la figura 11.4 se muestra una vista exterior del edificio.



Figura 11.4 Vista exterior del edificio de las oficinas administrativas del ISSSTE

La visita al edificio se hizo dos días después del sismo, sin embargo, aún no se habían realizado labores de limpieza, por tanto, se pudo apreciar el estado de la estructura, los muros divisorios, fachadas y contenido tal y como quedó la construcción después ser afectada por el evento tectónico.

Los daños provocados al edificio por el sismo de Tecomán, Colima, se concentraron esencialmente en los muros divisorios, fachadas y contenido, aunque también hubo daño en dos columnas de colindancia del primer nivel. En lo que se refiere al daño en los muros divisorios, éste fue de ligero a moderado y se presentó, en prácticamente, todos los niveles del edificio, en la figura 11.5 se muestra un ejemplo.



Figura 11.5 Ejemplo del daño en muros divisorios

El daño que se observó en las fachadas fue severo, este elemento estaba conformado por grandes ventanales apoyados en la losa de piso y en muros de mampostería; asimismo, en la fachada se anclaron algunos sistemas de aire acondicionado cuyo peso contribuyó al daño. Se observó rotura de una gran cantidad de vidrios y agrietamiento de los muros de mampostería que soportan la cancelería de las ventanas y los equipos de aire acondicionado (Figs. 11.6 y 11.7).



Figura 11.6 Ejemplo del daño en los ventanales de la fachada



Figura 11.7 Ejemplo del daño en los ventanales de la fachada

En el interior, el contenido del edificio denotó que el movimiento derivado del sismo fue muy intenso. Hubo un desacomodo generalizado del mobiliario, caída de archiveros y de equipo de cómputo (Figs. 11.8 a 11.11)



Figura 11.8 Desacomodo generalizado de mobiliario



Figura 11.9 Caída de archiveros



Figura 11.10 Caída de equipo de cómputo

El daño estructural en el edificio sólo se observó en dos columnas del primer nivel (Fig. 11.11), y se debió al choque con otro edificio colindante, producto de la flexibilidad del sistema estructural y a que por tratarse de un edificio esquinero tiene efectos de torsión debido a que en las colindancias tiene muros de relleno (Fig. 11.11).

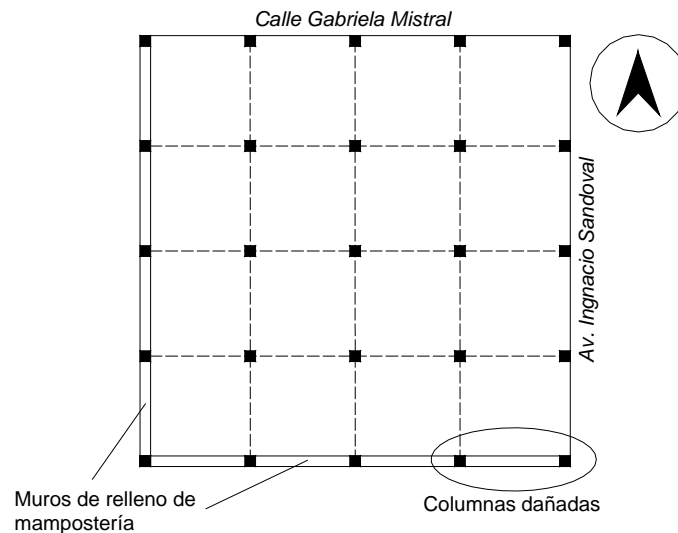


Figura 11.11 Planta esquemática del edificio de las oficinas administrativas del ISSTE

En la figura 11.12 se muestra el daño en una de las columnas del primer nivel y en la figura 11.13 una vista frontal del choque del edificio de las oficinas administrativas del ISSSTE con el edificio colindante.



Figura 11.12 *Daño en una columna de esquina del edificio de oficinas administrativas del ISSSTE*



Figura 11.13 *Choque del edificio de las oficinas administrativas del ISSSTE con la construcción vecina*

En suma, el edificio de las oficinas administrativas del ISSSTE tuvo un desempeño inadecuado ante el sismo de Tecomán, Colima. No cumplió con las expectativas de la filosofía de diseño de los Reglamentos modernos de diseño por sismo, en la que se establece que ante sismos de

intensidad similar al de Tecomán, Colima, los edificios de uso común, como el de las oficinas administrativas del ISSSTE, deberían satisfacer los requerimientos del estado límite de servicio, es decir, presentar sólo algún daño muy ligero en los elementos no estructurales, como muros divisorios y fachadas. Por el daño observado, al edificio en cuestión, es necesario agregarle rigidez lateral, con ello se limitarían los desplazamientos laterales y por tanto se reducirían los niveles de daño ante sismos futuros.

11.2.2 Armería

11.2.2.1 Edificio de Protección Civil, Justicia y Bomberos

En el municipio de Armería, la Unidad Municipal de Protección Civil, el Departamento de Justicia (y la cárcel), así como la Unidad de Bomberos del municipio se alojan todos en una edificación de planta rectangular alargada que se ubica a espaldas del Palacio Municipal.

Esta estructura cuenta con dos niveles, y está estructurada a base de marcos de concreto reforzado y muros de mampostería confinada de piezas macizas de arcilla. Las trabes y columnas de concreto esencialmente soportan el pasillo lateral en ambas plantas del inmueble, mientras que el resto está estructurado con elementos de mampostería como muros de carga.

Debido a la diferente rigidez lateral del sistema de marcos y del de los muros, todo el daño se concentró en estos últimos, quedando la estructura de concreto sin ningún daño. El comportamiento de los muros de mampostería fue semejante al descrito para la vivienda, por lo que se puede consultar el capítulo 6 para mayor discusión. Como en otras estructuras de mampostería confinada observadas, en muros con aberturas para ventanas la ubicación de los castillos de concreto fue deficiente, pues lo usual es colocarlos sólo en las esquinas o en el cruce con otros muros y no alrededor de la abertura. Debido a esta omisión, los segmentos de muro a los lados de la abertura, y que es el que soporta las cargas verticales y horizontales, se comporta como un elemento de mampostería no confinada.

En la figura 11.14 se muestra uno de los segmentos en planta baja, donde el daño por agrietamiento inclinado inicia en la esquina de la abertura para ventana, fracturando los tabiques y penetrando en el único castillo que tenía este elemento. En dicho castillo fue notoria la conveniencia de contar con estribos más próximos en las zonas donde se espera este tipo de daño, como en los extremos de los castillos, ya que, a falta de los mismos, la única resistencia adicional la proporcionó la deformación de las barras longitudinales (en doble curvatura) trabajando como dovela.



Figura 11.14 Agrietamiento en un segmento de muro con penetración en el castillo

En la planta alta, se observó el agrietamiento inclinado en ambas direcciones formando el patrón en "X" en segmentos de muro entre ventanas a lo largo del pasillo. Aquí también se construyeron estos segmentos sin confinar los bordes de las ventanas, y teniendo castillos solamente al centro del segmento (para la liga con un muro perpendicular en el interior del inmueble). Lo anterior se muestra en la figura 11.15.



Figura 11.15 Agrietamiento en X en segmentos de muro en la planta alta

Adicionalmente al daño en segmentos no confinados de muros, se presentaron también agrietamientos en muros interiores orientados en la dirección corta del edificio (dirección Norte-Sur). El daño que se presentó en este inmueble no pone en peligro su estabilidad, sin embargo, representó una falla total de funcionamiento ya que las dependencias que en él residían tuvieron que ser evacuadas. Esto es más grave debido a que son dependencias del gobierno y por lo tanto deben permanecer en operación en situaciones de desastre. Se hizo la observación de que es factible la rehabilitación del inmueble y de los elementos dañados, en donde el proyecto de reparación debe ser congruente con la importancia de la edificación tal y como lo establece el Reglamento de Construcción local para edificaciones del grupo A.

11.2.3 Coquimatlán

En los muros de las oficinas de la presidencia municipal de Coquimatlán se pudo observar diferentes materiales en la construcción. En la fachada del edificio se cuenta con adobe, en donde se apreció sólo caída de recubrimiento y en algunos muros interiores, se observó tabique rojo recocido en los cuales se apreciaron grietas diagonales y caída de recubrimiento, sin poner en peligro la estabilidad del edificio (Fig. 11.16).



Figura 11.16 Caída de las bardas perimetrales del plantel educativo

11.2.4 Manzanillo

11.2.4.1 Inmueble frente al muelle Fiscal

Frente al malecón y muelle fiscal se observó una edificación que, según información proporcionada por un agente de tránsito del lugar, era propiedad del Ayuntamiento de Manzanillo. Consta de dos niveles, con techo de losa de concreto a dos aguas. La estructuración era a base de muros de mampostería de piezas macizas de arcilla. En algunos de los muros se observó la presencia de elementos de concreto de confinamiento (castillos y dalas). Sin embargo, fue evidente la falta de estos elementos de confinamiento en los muros de fachada con aberturas para ventanas, por lo que esta parte se comportó como mampostería simple. En la figura 11.17 se presenta el daño observado en el inmueble.



Figura 11.17 Daño en muros de mampostería sin confinamiento en Manzanillo, Col.

La parte del inmueble que colinda con la avenida principal cuenta con una serie de columnas de concreto reforzado que dan lugar a un pasillo para la circulación sobre la banqueta. No se observó daño en dichas columnas. Según información recabada, este edificio ya había sido dañado en el sismo de 1995 y estaba desocupado, pero los daños se incrementaron notablemente con este sismo.

11.2.5 Tecomán

11.2.5.1 *Presidencia Municipal*

La Presidencia Municipal de Tecomán ocupa un edificio de dos niveles y dos apéndices, uno para el acceso por escalera a la azotea y el otro para un reloj en la fachada principal. El edificio fue inaugurado en septiembre de 1967 según consta en una placa a la entrada. Se estructura con marcos de concreto reforzado y losas macizas también de concreto. Posee dos cuerpos, uno en forma de "L" con una planta alargada en dirección Este-Oeste, y un pequeño cuerpo separado por una junta constructiva en la parte Oeste. Este último cuerpo sólo cuenta con un nivel, pero sobresalen las columnas en su parte superior para una eventual planta alta. En la figura 11.18 se muestra la planta esquemática donde se ha reproducido solamente la geometría observada en la visita.

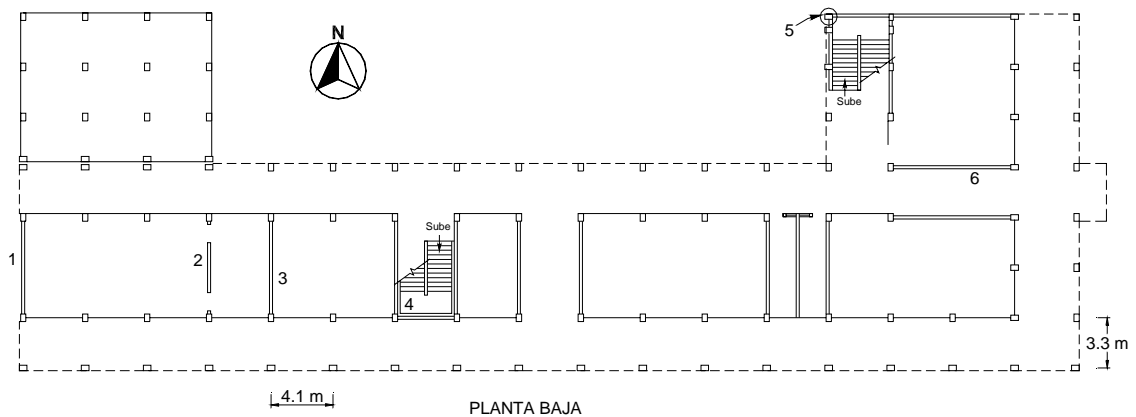


Figura 11.18 *Planta esquemática de la Presidencia Municipal de Tecomán, Col.*

El edificio colinda hacia el Oeste, Sur y Este con vialidades del centro de Tecomán, y hacia el Norte con edificaciones de uso comercial y habitacional. El apéndice que se encuentra al centro de la fachada Este, fachada principal, existe una torre que alberga un reloj, y en la misma crujía, en planta baja, se tiene la entrada al edificio que se continúa como un pasillo a todo lo largo del mismo. Las primeras crujías del lado Este y Sur son usadas como pasillos para la vía pública, y los marcos de dichas fachadas están formados por columnas de sección variable desde una anchura mínima en la base hasta un máximo al nivel de la losa de la azotea en donde se conectan con traveses de sección variable (ver Fig. 11.19); esta geometría hace suponer que las columnas y mitad de trabe son prefabricadas. La altura de la planta baja es de 4.15 m y la de la planta alta de 3.5 m aproximadamente.



Figura 11.19 Fachada de la Presidencia Municipal, Tecomán, Col.

Los marcos interiores están cerrados por cancelería y, pretilos de mampostería, en especial los que colindan con la vía pública.

Se identificó una serie de muros divisorios de mampostería que sufrieron daño severo. Estos muros se ubican en la dirección corta (Norte-Sur) dentro de los marcos, por lo que trabajaron como muros diafragma. En la figura 11.20 se muestra el daño mediano a severo, en especial el caso de un muro de mampostería simple con aberturas para puertas.



Figura 11.20 Daño en muros divisorios de mampostería

En general el daño estuvo concentrado en muros de mampostería que, según los encargados del inmueble, ya habían sufrido daños en sismos anteriores y se habían "reforzado" con dalas a media altura. La estructura de concreto se encontró prácticamente intacta, salvo dos o tres daños locales bien identificados. Uno de estos daños se debió al muro diafragma de la fachada Oeste, donde se generó un agrietamiento inclinado por cortante en el extremo superior de la columna (Fig. 11.21).



Figura 11.21 Daño en muro diafragma y penetración de la grieta inclinada en el extremo superior de una columna

Otro daño observado en columnas de concreto fue debido a la restricción impuesta por el pretil de mampostería, ya que al no estar desligados éstos, no permite la libre deformación de la columna además de acortar su altura libre (Fig. 11.22a). Además de estos daños causados por el sismo se identificó un severo caso de oxidación en el acero de refuerzo de la losa de la azotea. Esto se pudo observar en el pasillo interno de la planta alta como se muestra en la figura 11.22b.



Figura 11.22 a) Daño por flexión en columna restringida por pretil; b) Deterioro en la losa y su acero

De la observación de la estructuración del edificio, así como del daño registrado, se identificó que la estructura de marcos de concreto resultó relativamente flexible ante fuerzas laterales, lo que provocó el daño en los elementos de mampostería. Sin embargo, la estructura de concreto se encontró prácticamente intacta y se considera que los daños de tipo estructural no ponen en peligro la estabilidad del inmueble. Las recomendaciones planteadas durante la visita fueron en el sentido de realizar una revisión analítica de la estructura para determinar si es conveniente eliminar o desligar los muros diafragma dando más flexibilidad a la misma, o en su caso, si conviene rigidizar la estructura reparando y reforzando el sistema de muros, o incluso, recurriendo a otros sistemas convenientemente distribuidos en planta y en elevación.

Un elemento vulnerable adicional que se identificó fue la torre donde se encuentra el reloj. Según se pudo apreciar, ésta se desplantó sobre la azotea sin una adecuada liga a la estructura del

edificio. Se observó daño en las vigas de concreto en la base de la torre, así como un deterioro por corrosión del acero de refuerzo. Una alternativa planteada fue eliminar este apéndice. En la figura 11.23 se muestra este elemento.



Figura 11.23 Apéndice para el reloj del Palacio Municipal de Tecomán, Col.

11.3 JALISCO

En lo que se refiere a los edificios públicos, fueron pocos los casos en los que se detectaron daños, destaca el caso del edificio de la Presidencia Municipal de Zapotitlán de Vadillo, construido con muros de mampostería simple y sistema de techo de bóveda catalana. La figura 11.24 muestra una vista general del edificio, en ella que se aprecian los daños en los arcos de la fachada. En los muros de caga hubo gritas (Fig.11.25), debido a la ausencia de elementos confinantes de concreto, dalas y castillos.



Figura 11.24 Vista general de la Presidencia Municipal de Zapotitlán de Vadillo



Figura 11.25 *Agrietamiento diagonal de los muros de carga de la Presidencia Municipal de Zapotitlán de Vadillo*

También, se observaron daños en el sistema de techo, su deficiente desempeño provocó daños como el que muestra la figura 11.26.



Figura 11.26 *Caída de parte del techo de bóveda catalana de la Presidencia Municipal de Zapotitlán de Vadillo*

CAPÍTULO 12

EDIFICIOS DE USO COMERCIAL

Roberto Durán, Leonardo Flores y Carlos Reyes

12.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo se refiere a los daños en edificios relacionados con la actividad comercial de las zonas afectadas por el sismo de Tecomán, Colima. Se incluye la descripción de los daños en municipios sólo de los estados de Colima y Jalisco.

12.2 COLIMA

12.2.1 Colima

Estacionamiento Constitución

Este inmueble es un edificio de estacionamientos que colinda al Norte con la calle 5 de Mayo, al Oeste con la calle Constitución, y en las otras colindancias con diversas edificaciones. Cuenta con seis niveles en la mitad Este y cinco en la mitad Oeste del edificio. Las losas en cada lado se encuentran a media altura respecto al lado contrario, y se unen continuamente por la parte central del edificio mediante la continuación inclinada de la losa a modo de rampa. El sistema está resuelto a base de columnas de concreto circulares de 80 cm de diámetro y losa plana. Cuenta además con dos elevadores y un cubo de escaleras. La planta esquemática se presenta en la figura 12.1.

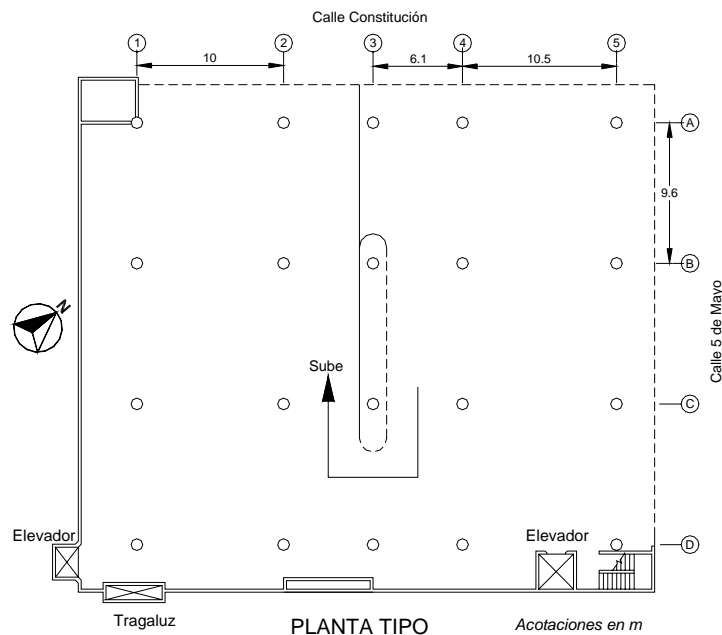


Figura 12.1 Planta esquemática del edificio

La altura libre de las columnas circulares es de 2.45 m, pero en la zona de la rampa se forman columnas cortas de 1.6 m de altura. No obstante, la estructura de concreto se observó intacta. En la colindancia Este y Sur se cuenta con muros de mampostería confinada de tabique macizo de arcilla. Estos muros sufrieron agrietamiento y aplastamiento en la unión entre muro y losa, así como algunos agrietamientos en el muro junto al elevador Sur (ver Fig.12.2). Se explica este daño por la diferencia en compatibilidad de deformaciones de la estructura de concreto con losa plana relativamente flexible y los muros de mampostería que son rígidos y frágiles. Se determinó que la seguridad del inmueble no está comprometida.



Figura 12.2 Vista interna del edificio y daño en el muro junto al elevador Sur

Edificio Telmex

Se trata de un edificio localizado en la calle Constitución, colonia Jardines de la Corregidora. No se pudo tener acceso al edificio por lo que sólo se observó el daño que la construcción tenía en la fachada, en ella se detectó únicamente daño en elementos no estructurales. Un ejemplo es daño en un muro de relleno deficientemente desligado de los elementos estructurales, figura 12.3. Otro defecto que se apreció es que los aplanados fueron colocados sin proporcionar suficiente adherencia a los elementos estructurales, además de tener un espesor considerable y no incorporar en ellos la junta que desliga los muros de relleno y los elementos estructurales (ver Fig. 12.4).



Figura 12.3 Fachada frontal del edificio



Figura 12.4 *Caída del aplanado en un elemento estructural por defectos constructivos*

12.2.2 Armería

Sala de cine

Una estructura que sufrió daño fue una vieja sala de cine de la cabecera municipal de Armería. El daño se tuvo en la cabina de proyección que estaba construida como una saliente en voladizo en la parte posterior del inmueble, fuera del lindero del mismo. Dicha habitación no colapsó, pero quedó fuertemente inclinada hacia la vía pública, presentándose grietas además de la dislocación del muro en donde estaba incrustada esta sala de proyección (Fig. 12.5).



Figura 12.5 *Daño e inclinación de la cabina de proyección*

Es claro que el daño se debió a la combinación de la forma de la estructuración de este elemento en voladizo y al movimiento del terreno que provocó la rotación de este cuerpo sobre el eje horizontal en su base. La fractura y daño de los muros dejaron a este cuerpo sostenido solamente por la acción de las vigas de concreto en su base, mismas que, aun sufriendo una importante rotación, evitaron el colapso del elemento. Según autoridades del municipio el inmueble estaba en desuso tiempo atrás y destinado a la demolición.

12.2.3 Tecomán

Farmacia ubicada en López Mateos y 18 de marzo

Este inmueble poseía una forma triangular, debido a la orientación en diagonal de las calles donde se edificó. Se componía de tres niveles, la planta baja usada para una farmacia y el último nivel como discoteca.

En la figura 12.6 se presenta una vista general del edificio. La estructura contaba con varias características que la hacían vulnerable: su forma en triángulo, la falta de continuidad de los muros del segundo nivel con los de planta baja, y la presencia de columnas cortas en una de las fachadas debido a una abertura para ventilación a todo lo largo de la misma.



Figura 12.6 Vista general del edificio

Aprovechando la losa en volado tipo marquesina, se construyeron muros al paño de la misma (por cierto fuera de su colindancia invadiendo la vía pública) en el segundo nivel. Dichos muros sufrieron agrietamientos inclinados en forma importante. La daño principal se produjo al fallar las columnas cortas en una de las fachadas principales (a la derecha en la figura 12.7). En esta fachada existía una abertura para ventilación de 45 cm de altura, interrumpiéndose los muros y sólo quedando las columnas de concreto reforzado. Esta parte del edificio bajó más de 25 cm al destruirse los tramos de columna en la zona de la ventila. Este fenómeno es muy conocido, ya que toda la fuerza horizontal es tomada por los reducidos tramos de columna y se generan fuerzas cortantes excesivas para las mismas. La otra fachada contaba con una distribución similar de

columnas, pero en ella los muros eran continuos desde la base hasta la losa por lo que no tuvo mayores daños.



Figura 12.7 Destrucción de las columnas cortas, nótese por la rejilla el descenso de la estructura en más de 25 cm en la abertura para ventilación

Esta estructura fue desalojada y se apuntaló la fachada que sufrió el colapso de los elementos referidos. Es casi seguro que el dictamen en esta estructura haya sido la demolición.

Edificio de oficinas

Este edificio consta de tres niveles y está estructurado a base de marcos de concreto reforzado, En las fachadas posee una serie de muros de mampostería que fueron los que sufrieron daños severos e incluso colapsos parciales. No se pudo tener acceso al inmueble pero exteriormente se observó la estructuración y las causas probables del daño resultante (Fig. 12.8).



Figura 12.8 Fachada principal y detalle del daño

En planta el edificio presenta una geometría en forma de triángulo y en las fachadas Este y Oeste posee un arreglo completamente irregular ya que los marcos se orientaron a 45° con respecto a la vialidad, dando lugar a salientes triangulares alternándose, vistas en planta, las del segundo y tercer entrepiso. Los muros componen las salientes donde se usan algunas paredes dobles (con un espacio vacío en medio) para adecuar la geometría. Los muros son de mampostería de piezas macizas de arcilla y, aunque se tenía algún elemento de refuerzo, esencialmente se trata de mampostería simple. El colapso y daño se observó esencialmente en la mampostería no confinada, mientras que la estructura visible de concreto se apreció sin daño.

En los muros de la planta baja de las fachadas se presentó daño en la interacción de éstos con las columnas. Cabe decir que, a modo de muros diafragma, estos muros rellenaban la crujía dentro del marco de vigas y columnas, pero haciendo contacto con las columnas en un plano a 45° respecto al eje del muro visto en planta. Debido a esto y por la deformación lateral del marco, se provocaron fuerzas sobre los muros fuera de su plano con el consiguiente daño (Fig. 12.9).

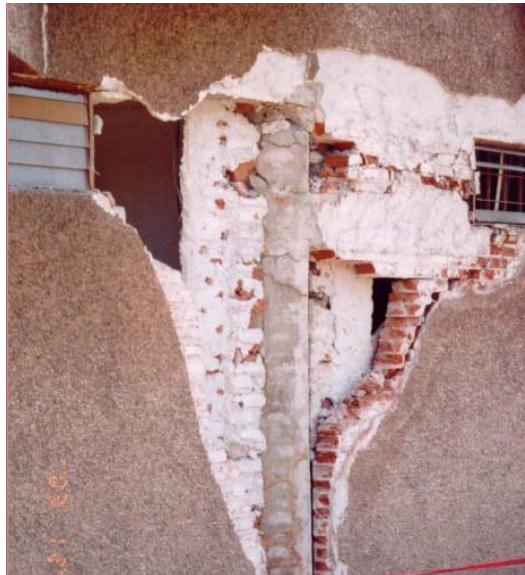


Figura 12.9 Daño de muros que hacían contacto con columnas giradas 45° en planta

12.3 JALISCO

12.3.1 Zapotitlán de Vadillo

El sismo de Tecomán, Colima, provocó daños en los comercios de la plaza central de Zapotitlán de Vadillo, todos construidos con mampostería simple, techo de bóveda catalana y un sistema de arcos al frente, formando portales peatonales, la figura 12.10 muestra una vista general de las construcciones.



Figura 12.10 Vista general de los comercios de la plaza central de Zapotitlán de Vadillo

En lo que se refiere a los daños, el deficiente comportamiento de la mampostería simple, por la falta de elementos confinantes, ocasionó grietas diagonales en los muros (Fig. 12.11)



Figura 12.11 Daños en muros de carga en construcciones de uso comercial en Zapotitlán de Vadillo

Los arcos de la parte frontal de los comercios, no quedaron exentos de daño, hubo agrietamiento en la clave de los arcos e incluso la caída de algunas piezas de la mampostería (Fig. 12.12).



Figura 12.12 *Daño en el sistema de arcos de construcciones de uso comercial en Zapotitlán de Vadillo*

CAPÍTULO 13

IMPACTO SOCIOECONÓMICO

Daniel Bitrán, Jorge A. Colorado, Norlang M. García y Miguel Angel Pacheco

13.1 PRESENTACIÓN

El presente estudio se realizó en virtud de la petición que el Gobierno del Estado de Colima formuló a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Para ello se conjuntaron los esfuerzos de esta institución con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) de la Secretaría de Gobernación de México. El mismo se apoya en la metodología desarrollada por CEPAL a lo largo de más de 30 años y que se resume en una metodología que permite evaluar el impacto de este tipo de eventos en los aspectos económicos, sociales y ambientales (CEPAL 2002); y en la experiencia de CENAPRED a nivel nacional. El CENAPRED desde hace 5 años, realiza por sistema la evaluación de las características y de los efectos socio-económicos de los desastres que han ocurrido en el país. Coincidiendo con la preparación del equipo de evaluadores que iría al lugar, y atendiendo a la solicitud formulada por el Gobernador del Estado de Colima, el Lic. Fernando Moreno Peña a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas se integró un grupo conjunto entre los dos organismos.

El sismo del 21 de enero afectó principalmente los Estados Colima, Jalisco y Michoacán. El fenómeno causó 21 decesos, dejó un buen número de damnificados y provocó daños de consideración, particularmente en el primero de los Estados mencionados.

Las autoridades nacionales de protección civil, incluyendo al Director del Centro Nacional de Prevención de Desastres y un equipo de investigadores del Centro que integró una misión, que se movilizó a las pocas horas de ocurrido el fenómeno al lugar del siniestro para apreciar la magnitud del fenómeno y su radio de acción. Desde ahí se arbitraron las medidas para la atención de la emergencia y se realizaron las constataciones que llevaron luego a la Declaratoria de Desastre en un buen número de los municipios comprendidos en los tres Estados mencionados.

Pasada la emergencia, del 4 al 14 de marzo, partió el grupo de investigadores que realizaron la evaluación de los daños en la zona afectada. Durante dicho lapso el grupo se entrevistó con autoridades de las diversas dependencias estatales y delegaciones federales que atendieron las áreas que fueron afectadas por el fenómeno. También se realizaron visitas de campo. La información recabada sirvió de base al presente capítulo.

Para su labor en el Estado de Colima la misión contó con el apoyo del Director Estatal de Protección Civil del Estado y del Director de Planeación de la Secretaría de Planeación. En los Estados de Jalisco y Michoacán se contó con la colaboración de los Directores Estatales de Protección Civil.

En general, la evaluación presentada en este documento se apoya en la metodología de la CEPAL que considera tanto los daños directos (afectación de acervos), como los efectos indirectos, tales como pérdidas de producción y mayores costos incurridos por el Estado a consecuencia del desastre. Todo ello para cada uno de los sectores económicos y sociales con algún grado de

afectación derivado del fenómeno. Difiere por lo tanto de las evaluaciones realizadas por las mismas dependencias para los efectos de acceder al Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) que atiende un universo más acotado y en el que predomina la reconstrucción de la infraestructura pública dañada.

13.2 INTRODUCCIÓN Y SÍNTESIS

Colima fue, sin duda, el Estado más afectado por el sismo del 21 de enero, recibiendo, por mucho, el mayor impacto socioeconómico. El total de daños directos e indirectos en dicho Estado ascendió a poco más de 1,000 millones de pesos (ver tabla 13.1). Este monto representó algo más del 3% del producto interno bruto del Estado del año 2002, una de las proporciones más elevadas provocadas por un fenómeno natural en cualquier Estado de la República Mexicana en años recientes.

Tabla 13.1 Resumen de los daños provocados en Colima por el sismo del 21 de enero (en miles de pesos)

| Sector / Concepto | Daños Directos | Daños Indirectos | Total | Porcentaje del Total |
|---|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| Agricultura | 16,946 | 21,921 | 38,867 | 3.6 |
| Industria, comercio y servicios | 205,307 | - | 205,307 | 19.0 |
| Industria | 77,816 | - | 77,816 | 7.2 |
| Comercio | 46,796 | - | 46,796 | 4.3 |
| Servicios | 80,694 | - | 80,694 | 7.5 |
| Vivienda | 287,095 | 11,271 | 298,366 | 27.7 |
| Escuelas | 133,659 | - | 133,659 | 12.4 |
| Hospitales y Centros de Salud | 42,100 | 6,200 | 48,300 | 4.5 |
| Comunicaciones y transportes | 68,347 | 1,252 | 69,599 | 6.5 |
| Agua potable | 12,800 | - | 12,800 | 1.2 |
| Suministro de electricidad | 110,785 | - | 110,785 | 10.3 |
| Edificios Públicos | 42,213 | - | 42,213 | 3.9 |
| Monumentos históricos e infraestructura religiosa | 71,354 | 42,746 | 114,101 | 10.6 |
| Costo de la emergencia | - | 4,997 | 4,997 | 0.5 |
| Total general de daños | 990,606 | 88,387 | 1,078,994 | 100.0 |

Fuente: Elaborado por la misión de CENAPRED con base en información recabada en el Estado.

- sin reporte

La vivienda fue el sector que recibió el mayor impacto con más de 25 mil unidades afectadas, con pérdidas estimadas en 298.3 millones de pesos (27.7%) del monto total de pérdidas causadas por el desastre.

Le siguieron en importancia los daños en el comercio y los servicios, particularmente los pequeños establecimientos aledaños a las viviendas que, en conjunto, presentaron pérdidas tanto en infraestructura física como en existencias por 127 millones de pesos. La industria, incluida la agroindustria superó los 56 millones de pesos. En conjunto, los sectores productivos, excluida la

agricultura, tuvieron pérdidas que superaron los 205 millones de pesos.² En la agricultura las pérdidas fueron más bien moderadas, principalmente daños en los sistemas de riego, las que en conjunto con las pérdidas en la producción ascendieron a 38.9 millones de pesos.

Pérdidas relativamente cuantiosas se registraron en materia de suministro eléctrico (casi 111 millones de pesos), en edificios públicos y monumentos históricos, particularmente en infraestructura religiosa (42 y 114 millones de pesos, respectivamente). Los daños en comunicaciones y transportes fueron de casi 70 millones de pesos, muy influidos por los que se registraron en el puerto de Manzanillo, ya que los que ocurrieron en las carreteras fueron más bien moderados.

En materia de infraestructura educativa se recibieron daños, si bien más bien moderados, que afectaron 387 escuelas, la mayoría en el municipio de Colima, así como ciertos daños de consideración en la Universidad de Colima. Las reparaciones, valuadas al costo de reposición, tuvieron un monto de 133.6 millones de pesos.

En materia de infraestructura de salud, los mayores daños se concentraron en uno de los dos hospitales con los que cuenta el ISSSTE en el Estado, que tuvo que ser desalojado ya que el inmueble quedó inhabilitado. También sufrieron daños de cierta consideración tres hospitales del IMSS. En total los daños directos y los efectos indirectos en este sector ascendieron a 48.3 millones de pesos.

Los recursos solicitados al Fondo de Desastres Naturales para atender las necesidades de la reconstrucción ascendieron a 514.9 millones de pesos (ver tabla 13.2). Este monto es mucho menor que el de las pérdidas efectivas estimadas en este informe para el conjunto de la economía estatal; sin embargo, guarda relación con los principales sectores que registraron daños, a excepción de los que recibió la actividad productiva privada, cuya atención escapa de las reglas del FONDEN. En efecto, sobresalen por su importancia los recursos solicitados por la Secretaría de Educación Pública, la SEDESOL, básicamente para apoyar a la vivienda afectada y también al sector transporte y comunicaciones para la reparación del puerto de Manzanillo.

Tabla 13.2 Recursos solicitados al FONDEN por las diferentes dependencias (En millones de pesos)

| Institución | Aporte Federal | Aporte Estatal | Total |
|--------------|----------------|----------------|--------------|
| SEP | 66.8 | 66.8 | 133.6 |
| INAH | 100.9 | 13.2 | 114.1 |
| SSA | 39 | 2.1 | 41.1 |
| SEDESOL | 105 | 45 | 150 |
| SCT | 7.1 | 0.9 | 8 |
| Puertos | 61.6 | 0 | 61.6 |
| CNA | 6.5 | 0 | 6.5 |
| Total | 407.0 | 107.3 | 514.9 |

Fuente: Información proporcionada por la Dirección de Protección Civil del Estado de Colima.

² Las cifras anteriores corresponden a las solicitudes de apoyo relacionadas con los efectos del sismo presentadas por los propietarios de los distintos establecimientos.

13.3 ANTECEDENTES

13.3.1 Población y área afectada

Se tiene información de que 21 personas fallecieron a consecuencia del sismo. En el punto máximo de la emergencia se habilitaron 9 Centros de Atención a Damnificados distribuidos a lo largo de todo el Estado, en los que fueron atendidas alrededor de 2 mil personas.

La totalidad de los municipios fueron incluidos en la declaratoria de desastre; sin embargo, en 3 de ellos, Comala, Minatitlán y Cuauhtémoc, los daños fueron mínimos o inexistentes (véase la figura 13.1 elaborada con los resultados del presente estudio).

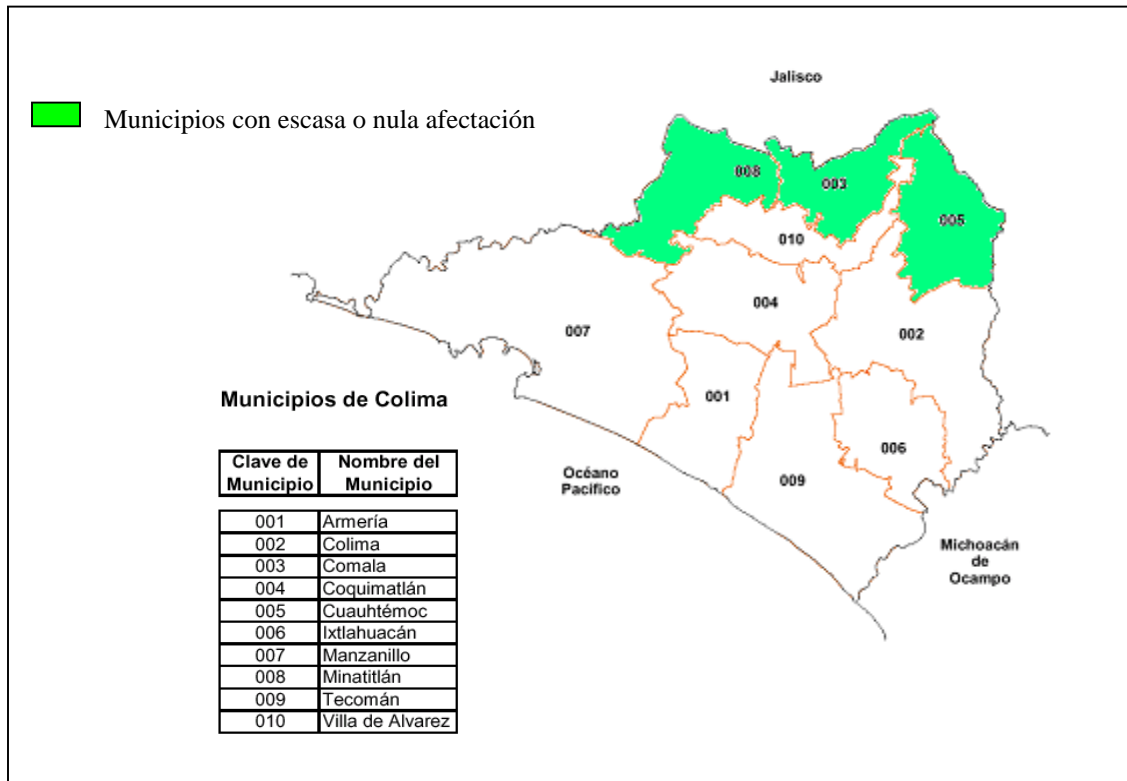


Figura 13.1 Municipios en el Estado de Colima

13.3.2 Características socioeconómicas de la región afectada

Las estimaciones de la población en Colima reportan 574,958 personas, lo cual se aproxima a una tasa de crecimiento anual de 2.07%; sin embargo, los municipios más dinámicos son Villa de Álvarez 4.04% y Manzanillo 2.69%. La población del Estado se encuentra concentrada en 4 municipios Colima (23.5%), Manzanillo (23.36%), Tecomán (18.19%) y Villa de Álvarez (15.83%). Este último es adyacente a Colima, la capital del Estado, por lo cual gran parte de los suburbios se encuentran asentados ahí.

La población con lengua indígena es menor al 1%, y sin embargo, el 95% de esta población es bilingüe ya que puede comunicarse en español.

Los desastres en México han afectado tradicionalmente a los estratos menos favorecidos de la población. Por las características del Estado de Colima, esto parece no darse en al menos una proporción significativa. En efecto, en dicho Estado se observa en el agregado nacional **un nivel 4 de bienestar**, lo cual lo sitúa en el promedio de la nación. Aún más, los municipios de Colima, Manzanillo y Villa de Álvarez ostentan niveles de bienestar similares a los de la capital del país, es decir, los más altos. La disparidad en grados de bienestar al interior del Estado no es amplia; los municipios con el nivel más bajo observan el promedio nacional. El promedio de personas por vivienda es aproximadamente de 4 y es consistente en todos los municipios (ver tabla 13.3). Lo anterior no quiere decir que para la población que sufrió pérdida total de vivienda y enseres ello no haya sido un impacto muy significativo en su nivel de vida.

Tabla 13.3 Características socioeconómicas de los municipios en el Estado de Colima

| Municipio | Estimación de población 2003 | Estimación de viviendas 2003 | TCA (%) | % Indígena | Nivel de bienestar nacional | Nivel de bienestar estatal |
|------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|------------|-----------------------------|----------------------------|
| Armería | 28,889 | 6,944 | 0.38 | 0.3 | 6 | 1 |
| Colima | 134,954 | 33,581 | 1.40 | 0.3 | 7 | 3 |
| Comala | 20,489 | 4,794 | 1.92 | 0.1 | 6 | 2 |
| Coquimatlán | 19,716 | 4,618 | 1.92 | 0.1 | 6 | 2 |
| Cuauhtémoc | 27,457 | 6,692 | 0.95 | 0.9 | 6 | 2 |
| Ixtlahuacán | 5,737 | 1,374 | 1.76 | 0.3 | 4 | 1 |
| Manzanillo | 134,305 | 33,795 | 2.69 | 0.7 | 7 | 3 |
| Minatitlán | 8,490 | 1,999 | 0.25 | 0.2 | 6 | 2 |
| Tecomán | 104,608 | 24,117 | 1.75 | 1.0 | 5 | 1 |
| Villa de Álvarez | 91,011 | 22,660 | 4.04 | 0.2 | 7 | 3 |
| Total | 574,958 | 140,572 | 2.07 | 0.5 | 4 | |

Fuente: INEGI. 2003, Niveles de Bienestar en México.

Estimaciones con información de INEGI, 2002, XI Censo General de Población y Vivienda 2000.

Notas: TCA: Tasa de crecimiento promedio anual en población.

% Indígena: (Población que habla lengua indígena/Población total); datos censo 2000. Incluye personas que hablan lengua indígena y español.

El nivel de bienestar ha sido estimado por el INEGI 2002, a partir de la información del censo de 2000. El método incluye 36 variables de tipo económico-social. Los rangos están acotados entre 1 como mínimo y 7 como máximo.

13.4 ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CIVIL

El Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) coordina las operaciones de respuesta a emergencias y de recuperación gubernamental y voluntaria durante desastres. El Secretario de Gobernación es el responsable del SINAPROC. Dicho Sistema comprende tres elementos principales: La Coordinación General de Protección Civil que regula la atención de emergencias, apoyo científico y técnico, proporcionado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), y el Fondo para Desastres Naturales (FONDEN), que proporciona los fondos para las operaciones de respuesta a la emergencia y de recuperación; la fig. 13.2 muestra el esquema organizativo del SINAPROC.

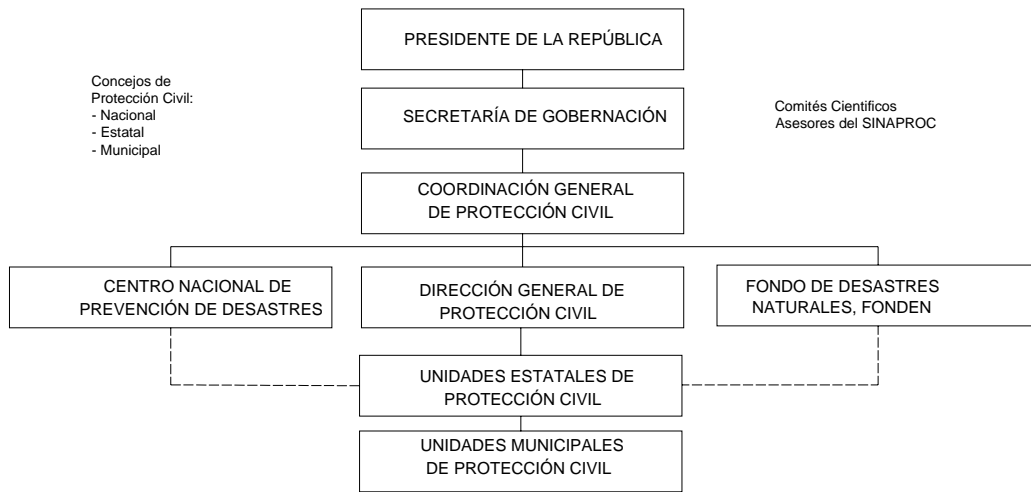


Figura 13.2 Relación aproximada organizacional entre grupos involucrados en recuperación

La respuesta inicial al sismo del 21 de enero fue rápida y bien manejada por el Sistema Estatal de Protección Civil de Colima (fig. 13.3).



Figura 13.3 Reunión para coordinar la respuesta a la emergencia y la recuperación

Existen varias posibles razones que explican su eficacia:

A pesar de la magnitud del sismo, las largas distancias focales a centros poblados condujeron a que el nivel de daños fuera relativamente menor. Como podría suponerse, el sismo provocó daños significativos en estructuras de adobe, de mampostería no reforzada, y de concreto reforzado de mala calidad; en cambio, no hubo colapsos de edificios de diseño moderno. Además, ocurrieron

apenas daños leves a elementos de infraestructura, tales como carreteras, redes de distribución eléctrica, agua potable, y sistemas de comunicación.

La demanda de recursos de búsqueda y rescate fue mínima y el sistema médico fue capaz de atender, dentro de las primeras horas después de ocurrido el sismo, a los lesionados por escombros caídos.

Cabe destacar que el Volcán Colima ha estado activo por muchos años y el Sistema Estatal de Protección Civil ha tenido muchas veces que evacuar pueblos ubicados en las áreas de mayor riesgo. Esta activación frecuente del sistema ha provisto las unidades y personal correspondiente con experiencia práctica en respuestas de emergencia.

Colima tiene múltiples fuentes de riesgo, incluyendo sismos, inundaciones y huracanes. El Sistema Estatal de Protección Civil ha jugado un papel activo en formar y entrenar equipos especializados para responder a eventos desastrosos. En efecto, Colima es una de las áreas sísmicas más activas en el mundo, y, como se vio, ha experimentado varios sismos de gran magnitud en el siglo pasado que han producido daños significativos, y han causado pérdidas socioeconómicas relevantes. Según las autoridades Estatales de Protección Civil, mucho se ha aprendido de aquellos acontecimientos, y se ha avanzado en la instrumentación de mejoras a las normas y procesos constructivos.

Siendo el Municipio de Colima la cabecera del Estado de Colima, puede contarse con cierta facilidad los recursos para ponerlos a disposición de las localidades afectadas.

Existe una fuerte presencia militar en el municipio de Colima, que dispone de diversos tipos de recursos que se han utilizado en apoyo a los esfuerzos civiles. Los militares usaron equipo pesado y personal para proveer alojamiento, demoler edificios severamente dañados, y remover escombros (ver figura 9).



Figura 13.4 Personal militar en operaciones de demolición

13.5 ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS EN EL ESTADO DE COLIMA

13.5.1 Atención de la emergencia

Las acciones para atender la emergencia estuvieron integradas fundamentalmente por la instalación de albergues o Centros de Atención para Damnificados (CAD); se proporcionaron servicios como refugios temporales, alimentación, y atención médica, entre otros. En el punto máximo de la emergencia se habilitaron nueve centros de atención a damnificados distribuidos a lo largo de todo el Estado, en los que fueron atendidas alrededor de 2 mil personas.

Las acciones encaminadas a la atención de la emergencia estuvieron coordinadas por el Consejo Estatal de Protección Civil de Colima, así como con distintas dependencias de los tres niveles de gobierno.

Durante la emergencia participaron un sinnúmero de instancias gubernamentales, entre ellas el FONDEN, gobiernos de distintos estados, organizaciones sociales y hasta la misma población, participaron en la donación de diversos suministros.

En la tabla 13.4 se presenta una estimación de los recursos que fueron desembolsados para mitigar las necesidades de la población durante y después de la etapa de la emergencia, la cual en números redondos ascendió a poco menos de 5 millones de pesos.

Tabla 13.4 Gastos indirectos de la emergencia (Miles de pesos)

| Cantidades | Productos | Monto estimado |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|
| 36,235 | Total en despensas | 1,630.6 |
| 30,789 | Litros de leche | 138.6 |
| 6,788 | Total de colchonetas | 678.8 |
| 19,327 | Total de cobertores | 1,932.7 |
| 64,569 | Kilos de frijol | 484.3 |
| 3,898 | Kilos de arroz | 25.3 |
| 10,274 | Latas de atún | 77.1 |
| 2,005 | Pañales desechables | 8.0 |
| 2,001 | Kilos de galletas | 18.0 |
| 50,541 | Piezas de ropa | - |
| 11,475 | Medicamentos | - |
| 2,043 | Pares de calzado | - |
| 47,896 | Total de litros de agua | - |
| | TOTAL | 4,997.0 |

Fuente: Estimaciones propias sobre la base de cifras del DIF estatal de Colima.

13.5.2 Sectores sociales

13.5.2.1 Sector vivienda

El impacto de los sismos se reflejó principalmente en la infraestructura, dentro de ésta la vivienda es uno de los componentes más sensibles.

13.5.2.2 Reporte y estimación de daños en vivienda

La distribución de la población y viviendas en el Estado guarda una relación con la disponibilidad de infraestructura urbana, oportunidades de empleo y ubicación de los poderes de gobierno, entre otros.

Los daños derivados del sismo se distribuyeron siguiendo un patrón que parece depender de: a) la concentración de la población en las áreas urbanas, b) la distancia al epicentro del fenómeno y c) el tipo de materiales, técnicas de construcción y características del suelo.

La información sugiere que el número de casas afectadas es proporcional al número de casas existentes; esto es mayor en las zonas urbanas. La distancia de las localidades al epicentro es un factor clave; a menor distancia mayor efecto de la energía liberada y en consecuencia mayor daño. El tipo de materiales, las técnicas de construcción y las características del suelo son factores de tipo estructural; la evidencia sugiere que materiales más resistentes, una mejor técnica de construcción (confinación de esquinas en construcciones de adobe) y tipos de suelo más firmes soportan mejor los embates de la naturaleza.

Basados en lo anterior se observa que las viviendas afectadas se concentran en los municipios de Colima, Tecomán, Coquimatlán, Armería, Manzanillo y Villa de Álvarez. Las viviendas de pérdida total, por su parte, se encuentran concentradas en Colima, Tecomán, Coquimatlán y Armería, lo cual soporta la correlación entre proximidad al epicentro y concentración de población, véase figura 13.5 y tabla 13.5.



Figura 13.5 Mapa de Colima

La proporción estimada de casas afectadas en toda la entidad es del 18%, observándose una heterogeneidad al interior del Estado. En términos relativos, los municipios de Ixtlahuacán junto con Coquimatlán y Armería tuvieron el mayor grado de afectación del total de sus viviendas (osciló entre 40% y 69%). En cambio, los municipios de Colima, Villa de Álvarez y Coquimatlán vieron afectadas entre un 11% y un 18% del total de sus viviendas, lo cual traducido en términos absolutos por número de casas es una cifra considerable (véase la tabla 13.5).

Tabla 13.5 Reporte de Viviendas afectadas y distribución porcentual por tipo de daño

| Municipio | Viviendas | | | | | Estructura Porcentual | | | | |
|------------------|----------------|---------------|--------------|---------------|---------------|-----------------------|-------------|------------|--------------|---------------|
| | Viviendas 2003 | Afectadas | Daño leve | Daño parcial | Pérdida Total | Viviendas 2003 | Afectadas | Daño leve | Daño parcial | Pérdida Total |
| Armería | 6,944 | 2,819 | 798 | 1,621 | 400 | 100.0 | 40.6 | 11.5 | 23.3 | 5.8 |
| Colima | 33,581 | 5,874 | 1,592 | 3,263 | 1,019 | 100.0 | 17.5 | 4.7 | 9.7 | 3.0 |
| Comala | 4,794 | 582 | 252 | 235 | 95 | 100.0 | 12.1 | 5.3 | 4.9 | 2.0 |
| Coquimatlán | 4,618 | 2,158 | 422 | 1,127 | 609 | 100.0 | 46.7 | 9.1 | 24.4 | 13.2 |
| Cuauhtémoc | 6,692 | 516 | 270 | 220 | 26 | 100.0 | 7.7 | 4.0 | 3.3 | 0.4 |
| Ixtlahuacán | 1,374 | 948 | 213 | 510 | 225 | 100.0 | 69.0 | 15.5 | 37.1 | 16.4 |
| Manzanillo | 33,795 | 3,507 | 1,462 | 1,798 | 247 | 100.0 | 10.4 | 4.3 | 5.3 | 0.7 |
| Minatitlán | 1,999 | 480 | 145 | 260 | 75 | 100.0 | 24.0 | 7.3 | 13.0 | 3.8 |
| Tecomán | 24,117 | 5,820 | 1,746 | 3,412 | 662 | 100.0 | 24.1 | 7.2 | 14.1 | 2.7 |
| Villa de Álvarez | 22,660 | 2,649 | 1,073 | 1,177 | 399 | 100.0 | 11.7 | 4.7 | 5.2 | 1.8 |
| Total | 140,574 | 25,353 | 7,973 | 13,623 | 3,757 | 100.0 | 18.0 | 5.7 | 9.7 | 2.7 |

Fuente: Gobierno del Estado de Colima, Secretaría de Desarrollo Social del Estado de Colima, Instituto de la Vivienda del Estado de Colima

Notas:

Viviendas 2003: Estimación de viviendas existentes en 2003, considerando la tasa de crecimiento promedio anual entre 1995 y 2000.

Afectadas: Total de viviendas con algún tipo de daño.

Pérdida total: Incluye viviendas colapsadas e inhabitables que fueron demolidas posteriormente.

Daño parcial: Viviendas con daños que requieren reparaciones para volver a habitarse.

Daño leve: Viviendas aptas para habitar, pero que requieren reparaciones menores.

Como puede observarse en la tabla 13.6, la estimación de las pérdidas en vivienda derivadas del sismo es de 132.1 millones de pesos y la distribución de los daños por municipios es consistente con la distribución de las viviendas en el Estado, ponderado por la distancia al epicentro, es decir, el municipio de Colima al tener una de las mayores concentraciones de vivienda fue el más afectado; sin embargo, el municipio de Tecomán, al ubicarse más cerca del epicentro, reporta el segundo nivel de pérdida más considerable. Coquimatlán se ubica a una distancia similar con respecto al municipio de Colima, pero la estructura en los materiales de construcción utilizados y la concentración de viviendas son diferentes; éstas se encuentran más dispersas.

Tabla 13.6 Estimación de costos por tipo de daño y distribución porcentual por municipio

| Municipio | Estimación de daños y costos de reparación (miles de pesos) | | | | Estructura porcentual | | | | |
|------------------|--|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | Daño leve | Daño parcial | Pérdida total | Costo total | Total viviendas Estado 2003 | Afectadas | Daño leve | Daño parcial | Pérdida total |
| Armería | 2,625 | 15,318 | 14,067 | 32,011 | 4.9 | 11.1 | 10.0 | 11.9 | 10.6 |
| Colima | 5,238 | 30,835 | 35,836 | 71,909 | 23.9 | 23.2 | 20.0 | 24.0 | 27.1 |
| Comala | 829 | 2,221 | 3,341 | 6,391 | 3.4 | 2.3 | 3.2 | 1.7 | 2.5 |
| Coquimatlán | 1,388 | 10,650 | 21,417 | 33,456 | 3.3 | 8.5 | 5.3 | 8.3 | 16.2 |
| Cuauhtémoc | 888 | 2,079 | 914 | 3,882 | 4.8 | 2.0 | 3.4 | 1.6 | 0.7 |
| Ixtlahuacán | 701 | 4,820 | 7,913 | 13,433 | 1.0 | 3.7 | 2.7 | 3.7 | 6.0 |
| Manzanillo | 4,810 | 16,991 | 8,686 | 30,488 | 24.0 | 13.8 | 18.3 | 13.2 | 6.6 |
| Minatitlán | 477 | 2,457 | 2,638 | 5,572 | 1.4 | 1.9 | 1.8 | 1.9 | 2.0 |
| Tecomán | 5,744 | 32,243 | 23,281 | 61,269 | 17.2 | 23.0 | 21.9 | 25.0 | 17.6 |
| Villa de Álvarez | 3,530 | 11,123 | 14,032 | 28,685 | 16.1 | 10.4 | 13.5 | 8.6 | 10.6 |
| Total | 26,231 | 128,737 | 132,126 | 287,095 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

Elaborado con base en los criterios de costo en el FONDEN y con información proporcionada por: Gobierno del Estado de Colima, Secretaría de Desarrollo Social del Estado de Colima e Instituto de Vivienda del Estado de Colima.

Los daños indirectos se estimaron con base en el volumen de escombros, cuyo costo de acarreo y disposición se calculó localmente de acuerdo con la capacidad y fletes promedio de los camiones utilizados. Estos daños ascendieron a 11.3 millones de pesos.

Una forma útil de conocer como se dio respuesta a los problemas de vivienda derivados del fenómeno fue a través del empleo de las cédulas de información recabadas por las entidades estatales de la Secretaría de Desarrollo Social, el Instituto de Vivienda y el Sistema de Planeación para el Desarrollo. Con ello se logró una cobertura del 100% de atención de la población afectada. Con ello se ofreció una respuesta integral para los propietarios de la vivienda o los ocupantes.

El proceso de atención a la emergencia se dio en tres etapas:

Primera etapa: Validación de los daños

- Entrega, llenado y recolección de las cédulas de información socioeconómica y verificación de daños; que contienen los campos requeridos por la SEDESOL y 14 campos adicionales; estos últimos permiten tener una mayor información sobre las características socioeconómicas de la familia afectada y, por ende, una asignación más eficiente de los programas de apoyo.
- Validación de los daños. Se realizó, a través de visitas domiciliarias en las cuales se obtuvieron fotografías de la vivienda, una inspección técnica para determinar el tipo de daño y, de forma adicional, la confirmación de los datos principales.
- Los campos extra permitieron descartar duplicidades fortuitas o deliberadas.

Segunda etapa: Dictamen Final

- Elaboración de un resumen general de daños. Sistematización de la información y georeferenciación de la misma.
- Clasificación de casos para ser atendidos mediante diferentes programas del gobierno federal, estatal u otro tipo de organismos.

Tercera etapa: Inicio de acciones de reconstrucción y/o apoyo.

- Emisión de listas con la asignación para la atención por parte de cada organismo o programa. Estas listas fueron colocadas en las oficinas y parques públicos, en un ejercicio de transparencia y rendición de cuentas.
- Entrega de vales para recolectar los paquetes de materiales por tipo de daño.
- Firma de convenios con proveedores para establecer el precio de los materiales, publicación de los mismos en Internet para garantizar transparencia y rendición de cuentas.

Como puede verse en la tabla 13.7, se logró un nivel de cobertura del 100% mediante las acciones implementadas por uno u otro organismo. La asignación se realizó con base en las reglas de operación de cada programa.

Tabla 13.7 Distribución de casos por organismo

| Tipo de organismo | Casos | | | | Distribución porcentual | | | |
|------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|-------------------------|--------------|--------------|---------------|
| | Total | Daño leve | Daño menor | Pérdida total | Total | Daño leve | Daño menor | Pérdida total |
| FONDEN | 16,381 | 2,419 | 8,626 | | 64.6 | 64.4 | 63.3 | 66.9 |
| FOVISSSTE | 595 | 63 | 289 | 243 | 2.3 | 1.7 | 2.1 | 3.0 |
| INFONAVIT | 1,371 | 142 | 658 | 571 | 5.4 | 3.8 | 4.8 | 7.2 |
| FONHAPO/VIVAH | 2,039 | 570 | 1,469 | 0 | 8.0 | 15.2 | 10.8 | 0.0 |
| FONHAPO/CREDITO | 3,577 | 353 | 1,865 | 1,359 | 14.1 | 9.4 | 13.7 | 17.0 |
| SHF | 1,390 | 210 | 716 | 464 | 5.5 | 5.6 | 5.3 | 5.8 |
| Total de apoyos | 25,353 | 3,757 | 13,623 | 7,973 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

Fuente: Gobierno del Estado de Colima.
Secretaría de Desarrollo Social del Estado de Colima.
Instituto de la Vivienda del Estado de Colima.

De la tabla anterior se puede concluir que un 64.6% de las acciones se atendieron con presupuesto del FONDEN y la parte remanente empleó algún mecanismo de crédito, según la institución de apoyo a la vivienda de que se trate, por lo cual es posible concluir que se trató de dar cobertura al total de la población afectada, dando prioridad a la de menores recursos y facilitando el acceso al crédito para los grupos de población que estuvieron excluidos, ya que el nivel socioeconómico de sus habitantes superó al de los criterios marcados por el FONDEN.

El proceso de sistematización y procesamiento de la información guardó una visión innovadora. Los campos considerados correspondieron a los obligados en las Reglas de Operación del FONDEN para el acceso a los recursos. Los campos extra en la cédula de la SEDESOL permitieron un manejo más eficiente de los recursos y ofrecieron alternativas para cubrir a un sector de población más amplio. Sería muy útil considerar los campos extra en la cédula de información socioeconómica y verificación de daños del Estado de Colima como un prototipo para otros estados.

El proceso de georeferenciación y cruce de variables, utilizando campos clave, permitió un manejo adecuado de la información, así como la eliminación del problema de conducta oportunista.

La entrega de materiales estuvo supervisada por personal de gobierno y representantes de los grupos vecinales. Sin embargo, no se contó con supervisión técnica en la reconstrucción ni con cartillas de construcción. El programa de empleo temporal de SEDESOL se instrumentó para la remoción y limpieza de escombros. No obstante, el programa de empleo por trabajo parece haber tenido poca aplicación por el nivel social del Estado.

13.5.2.3 Infraestructura de educación

Inmediatamente después del terremoto, el Gobernador de Colima ordenó que todas las escuelas se cerraran durante el resto de la semana para que se realizaran inspecciones de seguridad. Todas las escuelas fueron programadas para estar abiertas el lunes 27 de enero de 2003. Las escuelas que sufrieron daños mayores continuarían en funcionamiento en instalaciones temporales más seguras.

En efecto, uno de los sectores que sufrió daños considerables a consecuencia del sismo fue el de la educación. En este sector resultaron afectadas 387 escuelas, en su mayoría correspondiente a la educación básica, las cuales tuvieron diversos daños. Ninguno de los centros educativos mostró colapso total; sin embargo, dos escuelas ubicadas en el municipio de Colima presentaron graves afectaciones en sus estructuras, las cuales tuvieron que ser cerradas por la seguridad de los alumnos, personal docente y administrativo, y que incluso dos meses después de acontecido el fenómeno se encontraban aún cerradas.

Alrededor de 84 mil alumnos resultaron afectados con un promedio de suspensión de clases de una semana, mientras que más de 5 mil docentes vieron interrumpida su labor por igual número de días (véase la tabla 13.8).

Según evaluaciones realizadas por la Secretaría de Educación Pública de Colima, la reparación de los daños en los espacios educativos ascendió a poco menos de 51 millones de pesos, de los cuales un 68.6% corresponden a la reparación y rehabilitación de infraestructura de educación básica federal, un 26.5% a la infraestructura educativa de educación básica estatal y normal, mientras que el restante 5% a daños en las instalaciones de educación media y superior tecnológica así como de capacitación para el trabajo federal.

Tabla 13.8 Reporte de daños materiales en las escuelas de Colima (Miles de pesos)

| Municipio | Número de escuelas dañadas | Alumnos afectados | Docentes afectados | Costo estimado |
|----------------------|----------------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| Armería | 33 | 6,457 | 417 | 3,447.8 |
| Colima | 96 | 21,331 | 1,786 | 23,380.2 |
| Comala | 22 | 3,073 | 255 | 2,890.0 |
| Coquimatlán | 17 | 2,196 | 100 | 2,534.0 |
| Cuauhtémoc | 23 | 2,997 | 296 | 881.1 |
| Ixtlahuacán | 16 | 1,072 | 75 | 1,843.0 |
| Manzanillo | 61 | 17,664 | 1,119 | 5,905.5 |
| Minatitlán | 16 | 1,238 | 53 | 130.0 |
| Tecomán | 58 | 18,371 | 1,161 | 6,752.0 |
| Villa de Álvarez | 45 | 9,308 | 389 | 3,075.0 |
| Total general | 387 | 83,707 | 5,651 | 50,839 |

Fuente: Secretaría de Educación Pública del Estado de Colima.

Las mayores afectaciones ocurrieron en el municipio de Colima donde se concentraron el 46% del total de los daños ocurridos en la infraestructura educativa, seguido, en mucho menor medida, por los casos de Tecomán y Manzanillo con 13% y 11%, respectivamente.

Por otra parte, otra de las afectaciones de consideración que ocurrieron a raíz del sismo fueron las que se presentaron en la Universidad de Colima donde se registraron daños considerables en la infraestructura de 94 inmuebles, así como pérdidas por la destrucción de equipo e infraestructura diversa relacionada con los mismos.

Se calcula que las pérdidas en la Universidad de Colima ascendieron a 72.7 millones de pesos, los cuales sumados a las afectaciones en la infraestructura de la Secretaría de Educación Pública, dio un total de daños de aproximadamente 123.5 millones de pesos. Así mismo fueron solicitados por la propia Universidad poco más de 10 millones de pesos para reposición del mobiliario, con lo que se tuvo un total de 133.6 millones de pesos.

13.5.2.4 Infraestructura de salud

Ante las incidencias de este fenómeno, el sector salud debió de enfrentar sendos problemas: la instauración de operativos de vigilancia epidemiológica para controlar brotes de enfermedad ligada al fenómeno, y enfrentar los daños que se presentaron en la infraestructura hospitalaria. A este respecto se adoptó la difícil decisión de evacuar un hospital durante algunas horas para poner a salvo la vida de los enfermos.

Así, al siguiente día de ocurrido el fenómeno, el 22 de enero del año 2003, se instauró el Comité Operativo de Vigilancia Epidemiológica, integrado por: Secretaría de Salud, tanto de Colima como su instancia a nivel federal, Instituto Mexicano del Seguro Social, Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado, Desarrollo Integral de la Familia, Comisión Nacional del Agua, Cruz Roja, la Universidad Autónoma de Guadalajara, Universidad de Colima y Colegio Nacional de Educación Profesional, entre otros. Por la magnitud del evento se requirió también de la participación de organismos a nivel federal para realizar acciones de prevención y protección de la población afectada. El mismo día en que ocurrió el fenómeno se presentaron una gran cantidad de personas con lesiones. Se tiene un registro de 21 personas fallecidas en el estado por traumatismos asociados al sismo.

Dentro del apoyo brindado a nivel federal fue importante el sustento de 89 elementos entre brigadistas, técnicos especializados y profesionistas, en apoyo a distintas áreas como la vigilancia epidemiológica y sanitaria, control de vectores, la promoción de la salud y la salud mental, entre otras. También fue trascendente el despliegue de recursos humanos de dependencias y organizaciones del Estado para la atención de la emergencia. Véase en la tabla 13.9 la relación de los recursos humanos que cada dependencia suministró.

Tabla 13.9 Recursos humanos para la atención médica en Colima

| Institución | Médicos | Enfermeras | Personal técnico | Total |
|--------------|------------|--------------|------------------|--------------|
| SSA | 132 | 525 | 464 | 1,121 |
| IMSS | 105 | 575 | 464 | 1,144 |
| ISSSTE | 33 | 149 | 148 | 330 |
| SEDENA | 3 | 37 | 3 | 43 |
| MARINA | 14 | 50 | 7 | 131 |
| CRUZ ROJA | 0 | 11 | 21 | 32 |
| DIF ESTATAL | 8 | 0 | 39 | 47 |
| TOTAL | 295 | 1,347 | 1,206 | 2,848 |

Fuente: Secretaría de Salud de Colima.

Con ello fue posible que se otorgaran 54,089 consultas. El 89.1% en unidades de salud, 7.23% en módulos de atención médica y 3.62% en refugios temporales.

Los servicios de salud del Estado distribuyeron dos toneladas de medicamentos a los 10 municipios afectados. Asimismo, la Secretaría de Salud Federal aportó 1.5 toneladas de medicamentos, insumos para laboratorio, 4 plantas potabilizadoras móviles, 17 camionetas con nebulizadoras, vestuario, personal técnico especializado y 12 vehículos para el traslado de personal.

En la tabla 13.10 se presenta el monto de los recursos que fueron solicitados al Fondo de Desastres para hacer frente a la contingencia en los primeros días de atención a la emergencia, los cuales tuvieron como propósito la atención médica y el control de vectores cuyo monto ascendió a 6.2 millones de pesos.

Tabla 13.10 Recursos solicitados al FONDEN por la Secretaría de Salud de Colima (Miles de pesos)

| Artículos | Número de claves | Costo estimado |
|-------------------------------------|-------------------------|----------------|
| Para atención médica y hospitalaria | 261 | 4,704.4 |
| Para control de vectores | Insecticida y larvicida | 1,495.6 |
| TOTAL | | 6,200.0 |

Fuente: Secretaría de Salud de Colima.

Posteriormente a la integración de los grupos para la vigilancia sanitaria y epidemiológica así como de atención de la emergencia, se procedió a la verificación y la cuantificación de daños.

Resultaron afectados cuatro hospitales de la Secretaría de Salud de segundo nivel que se reportaron con daños parciales. En cambio, cuatro centros de primer nivel tuvieron que ser reconstruidos. Por otra parte, sufrió daños el Centro Estatal de Transfusión Sanguínea con daños en su estructura, por lo que fue reubicado temporalmente.

El Instituto Mexicano del Seguro Social sufrió afectaciones en uno de los tres hospitales de segundo nivel con los que cuenta, resultando con severos daños el área de hospitalización de pediatría y medicina interna. Por otra parte, una de las dos clínicas con las que cuenta el ISSSTE en el Estado resultó con graves daños que llevaron a la inhabilitación del inmueble. En la tabla 13.11 se pueden observar el total de infraestructura hospitalaria con que cuenta el Estado de Colima y las que sufrieron alguna afectación.

En total, se estima que los daños directos que ocurrieron en el sector salud en el Estado de Colima ascendieron a 42.1 millones de pesos, monto el cual fue solicitado al Fondo para Desastres Naturales para la rehabilitación y reconstrucción de la infraestructura dañada.

De este modo, si se suman las pérdidas que se presentaron en la infraestructura de salud, 42.1 millones de pesos, con los recursos que fueron desembolsados para la compra de insumos para establecer la vigilancia médica, es decir, erogaciones o daños indirectos que sumaron 6.2 millones de pesos, se llega a un monto total de pérdidas por 48.3 millones de pesos que se registraron en el sector salud en Colima.

Tabla 13.11 Infraestructura en salud y localización de los daños en las unidades

| Institución | Segundo nivel | Primer nivel |
|--------------|----------------|------------------|
| SSA | 6 ^α | 113 ^β |
| IMSS | 3 ^γ | 8 |
| ISSSTE | 2 ^δ | 3 |
| SEDENA | 0 | 3 |
| MARINA | 1 | 0 |
| CRUZ ROJA | 3 | 1 |
| DIF ESTATAL | 0 | 1 |
| TOTAL | 15 | 129 |

Fuente: Secretaría de Salud del Estado de Colima.

^α Los cuatro hospitales con daños parciales.

^α Centro Estatal de Transfusión Sanguínea con daños en estructura, reubicado temporalmente.

^β Cuatro Centros de Salud serán reconstruidos.

^γ HGZ No 1 IMSS afectación en el área de hospitalización de Pediatría y Medicina Interna.

^δ Clínica Hospital Colima ISSSTE inhabilitada por daños.

13.5.3 Infraestructura y servicios

13.5.3.1 Sector hidráulico

Las afectaciones en el sector hidráulico fueron de diversa índole. En lo que respecta a la infraestructura hidráulica concesionada, se suspendió el servicio en la mayoría de los módulos con el fin de revisar minuciosamente los daños ocasionados y poder realizar una evaluación final, lo anterior con el propósito de concretar las acciones en el proceso de restauración en el menor tiempo posible.

En la tabla 13.12 se pueden observar los municipios más afectados así como los módulos y las localidades donde se encuentran las mayores afectaciones, esto en lo que se refiere a la infraestructura hidroagrícola concesionada, la cual es regulada por la Comisión Nacional del Agua en Colima.

Tabla 13.12 Municipios y módulos de riego afectados en Colima

| Municipio | Localidades afectadas | Módulos de riego afectados |
|-------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Tecomán | Tecomán, Cerro de Ortega y Callejones | Tecuanillo, Amela y Cerro de Ortega |
| Coquimatlán | Pueblo Juárez | Pueblo Juárez |
| Manzanillo | Marabasco y El Chavarín | Cihuatlán Margen Colima |

Fuente: Comisión Nacional de Agua en Colima

En total se registraron daños en cinco módulos ubicados en el distrito de riego número 53: Módulo Juárez, Tecuanillo, Amela, Cerro de Ortega, y el módulo Cihuatlán Margen de Colima. Las afectaciones se localizaron fundamentalmente en el canal principal, en los canales laterales y sublaterales y en las estructuras de operación (figura 13.6).



Figura 13.6 Daños en el módulo Tecuanillo en el distrito de riego núm. 58

Posterior a la verificación de daños se emprendieron las medidas necesarias para restaurar la infraestructura dañada y restablecer la operación normal de las obras, para evitar, en lo posible, que disminuyera la producción de los cultivos establecidos y con ello evitar problemas sociales a consecuencia de lo anterior.

En la tabla 13.13 se puede observar el monto de recursos que serán destinados para la mitigación de daños que se presentaron en la infraestructura de riego a cargo de la Comisión Nacional del Agua. Los mayores daños se presentaron en los módulos de Tecuanillo y Amela, que concentran más del 70% del monto para la restauración de daños en dicha infraestructura.

Tabla 13.13 Monto para la reparación de daños en la Comisión Nacional del Agua (Miles de pesos)

| Ubicación | No. de contratos | Importe |
|--------------------------------|------------------|----------------|
| Módulo Juárez | 1 | 289.5 |
| Módulo Tecuanillo | 1 | 2,258.0 |
| Módulo Amela | 1 | 2,393.4 |
| Módulo Cihuatlán Margen Colima | 1 | 686.1 |
| | SUBTOTAL: | 5,627.0 |
| | OTROS GASTOS | 844.1 |
| | TOTAL | 6,471.1 |

Fuente: Comisión Nacional del Agua del Estado de Colima.

Aunado a lo anterior, también se registraron daños en los sistemas de agua potable que son regulados por la Comisión Estatal de Agua de Colima y cada uno de los Ayuntamientos de los distintos municipios. En la tabla 13.14 se puede observar el monto de daños que se presentó en los sistemas de agua, drenaje y alcantarillado, el cual suma los 6.3 millones de pesos.

Tabla 13.14 Monto de daños en los sistemas agua, drenaje y alcantarillado estatal (Miles de pesos)

| Municipio | Monto de daños |
|-----------------------------|----------------|
| Armería | 294.0 |
| Colima | 1,807.3 |
| Coquimatlán | 80.0 |
| Cuauhtémoc | 305.0 |
| Ixtlahuacán | 269.0 |
| Manzanillo | 1,007.8 |
| Minatitlán | 150.0 |
| Tecomán | 2,215.0 |
| Total de la infraestructura | 6,128.1 |
| Indirectos 3% | 183.8 |
| Total | 6,312.0 |

Fuente: Comisión Estatal del Agua de Colima.

Los mayores daños se localizaron en los municipios de Tecomán, Colima, y Manzanillo, los cuales concentran casi el 80% del total del monto de los daños.

Los daños en este sector fueron de diversa índole; en el caso de Tecomán, por mencionar un ejemplo, se presentaron afectaciones en las instalaciones de abastecimiento y tuberías, así como daños a transformadores de subestación eléctrica de pozos profundos y colapso en tuberías del colector de sanitarios, entre muchos otros.

En el caso de Manzanillo, fue notable los daños que se presentaron en los equipos de bombeo, transformadores dañados, entre los más importantes.

En suma, los daños a la infraestructura de agua potable tanto de la Comisión Nacional del Agua, y de la Comisión Estatal, ascendieron a 12.8 millones de pesos, valorados según el costo de reparación de los mismos.

13.5.3.2 Sector energía eléctrica

Uno de los sectores que más resintió los efectos del fenómeno fue el sector eléctrico, que motivó la interrupción del servicio en todo el Estado. Dicha interrupción duró en promedio cerca de 20 horas, afectando a unas 243 mil personas.

El impacto que generó el sismo en la infraestructura eléctrica afectó la operación del Complejo Termoeléctrico Manzanillo, las subestaciones de Transmisión de Manzanillo I y II y la de Colomo, así como la de Colima I y la Tepeixtles, dos líneas de Subtransmisión de 115 kV, 37 circuitos de media tensión, 388 sectores de baja tensión, 140 postes urbanos de media tensión y 76 transformadores de distribución.

Una de las primeras acciones para mitigar la falta de servicios fue transferir energía de la unidad de Mazatlán II hacia Tepic, implementándose al máximo los enlaces hacia la zona de Occidente, con lo se incrementó la generación hidroeléctrica para atender la demanda. Otra de las acciones para restablecer el servicio fue el despliegue de personal -trabajadores, técnicos y especialistas- tanto del Estado como de entidades federativas cercanas que ofrecieron su ayuda con el fin de acelerar los trabajos de rehabilitación. Con ello fue posible que tres días después de

ocurrido el sismo el suministro de energía eléctrica estuviera funcionado al 100%, lo anterior de acuerdo con la cobertura que se tiene en la entidad, que es de las más elevadas en el país.

En la tabla 13.15 se puede observar el total de daños que sufrió el sector eléctrico de Colima a raíz del sismo, según instalaciones, y tipo de sector. Éstos ascendieron a 110.8 millones de pesos. Las mayores afectaciones ocurrieron en las centrales de Manzanillo (88% de los daños), siendo el sector de la transmisión el más afectado, con un 65% del total de pérdidas.

Tabla 13.15 Monto de daños en el sector eléctrico de Colima

| Instalación | Generación | Transmisión | Distribución | Monto total |
|---|-------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Centrales Manzanillo I y II | 32,500.0 | 65,100.0 | - | 97,600.0 |
| Subestación Tapeixtles | - | 2,745.0 | - | 2,745.0 |
| Subestación Colomo | - | 1,840.0 | - | 1,840.0 |
| Subestación Colima II | - | 2,600.0 | - | 2,600.0 |
| Circuitos y subestaciones de distribución | - | - | 6,000.0 | 6,000.0 |
| TOTAL | 32,500.0 | 72,285.0 | 6,000.0 | 110,785.0 |

Fuente: Comisión Federal de Electricidad del Estado de Colima.

Por otra parte, la rápida respuesta que se logró para la reactivación del servicio hizo posible que las pérdidas económicas en cuanto a los ingresos no percibidos por la CFE por la interrupción del servicio fueran mínimos en comparación con las pérdidas que se tuvieron en la infraestructura.

13.5.3.3 Comunicaciones y transportes

Comunicaciones y transportes fue uno de los sectores que, si bien no registró el mayor monto de daños a causa del sismo, tuvo afectaciones en algunas carreteras y en los enfoques de un puente. Los mayores daños se registraron en el puerto de Manzanillo.

En primera instancia, en lo concerniente a la infraestructura carretera regulada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), se detectaron daños en seis municipios de los 10 que integran al Estado, afectándose en total 246 kilómetros de vías en distintos tramos carreteros. Los principales problemas que generaron cortes en las vías de comunicación fueron los derrumbes mayores y azolve de cunetas. Sin embargo, los programas y trabajos de emergencia implementados oportunamente por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes hicieron que la interrupción de caminos no fuera significativa, siendo la más prolongada de cuatro horas, por lo que no se registraron efectos indirectos de consideración para los transportistas que transitaban por ella.

En la tabla 13.16 se puede observar el monto general de daños que sufrió el sector de comunicaciones y transportes a causa del sismo. Poco más del 98% del total fueron daños directos a la infraestructura, mientras que un 2% corresponden a daños indirectos, tales como los costos operativos, que generaron el retiro de escombros y las reparaciones de emergencia.

En la figura 13.7 se puede observar uno de los ejemplos más claros sobre el tipo de afectaciones que tuvieron la mayoría de las vías de comunicación. Obsérvese el tamaño de las rocas, tomando como referencia la altura del módulo de la barrera separadora.

Tabla 13.16 Monto de daños globales en el sector de comunicaciones y transportes (Miles de pesos)

| Sector | Daños directos | Daños indirectos | Total |
|---|-----------------|------------------|-----------------|
| Carreteras a cargo de la SCT | 5,200.0 | 959.0 | 6,159.0 |
| Carreteras a cargo del Gobierno de Estado | 1,647.2 | 293.0 | 1,940.2 |
| Puerto de Manzanillo | 61,500.0 | - | 61,500.0 |
| TOTAL | 68,347.2 | 1,252.0 | 69,599.2 |

Fuente: Elaboración propia con base en cifras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes del Estado de Colima.



Figura 13.7 Derrumbes en el tramo de La Salada que se ubica en la carretera Colima–Tecomán

Uno de los mayores efectos destructivos del sismo ocurrió en el municipio de Tecomán, donde fueron afectados alrededor de 58 kilómetros de vías de comunicación, y donde se localizó el percance del puente de Coahuayana ubicado en los límites de los Estados de Michoacán y Colima. En este caso se registró la destrucción de la totalidad de los topes antisísmicos en los 13 apoyos. Fue este daño a la infraestructura del puente el que recibió el monto mayor de las afectaciones, con más del 56% del total. En la figura 13.8 se muestra parte del daño en el puente referido.



Figura 13.8 En la parte superior de la pila se observa a ambos lados que los topes de los sismos fallaron en los desplazamientos laterales de la losa del puente

También se presentaron daños en algunas carreteras ubicadas en los municipios de Armería, Manzanillo, Minatitlán, Cuauhtémoc y la capital del Estado, donde nuevamente la causa de afectación de 188 kilómetros fue los derrumbes aislados y el azolve en las cunetas.

En la tabla 13.17 se muestra el monto de los daños que se presentaron en las carreteras adscritas a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, así como el lugar de ocurrencia y área afectada. En total, los daños sumaron poco menos de 6.2 millones de pesos, de los que como se dijo anteriormente los que ocurrieron en el puente de Coahuayana representaron el 56% del total.

Tabla 13.17 Monto de daños en vías de comunicación a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

| Municipio | Localidad | Área y/o población afectada | Monto de daños |
|--------------------------------------|--|-----------------------------|-----------------|
| Tecomán | Carr. Colima-Tecomán 16.0-26.0 Cpo. "A" | 10 km | 982.6 |
| | Ramal - La Salada 0.0 - 8.8 | 8.8 km | 224.8 |
| | Límite de Estados Michoacán / Colima - Manzanillo 239.0 - 278.0 | 39 km | 48.7 |
| | Límite de Estados Michoacán / Colima - Manzanillo 239+000. Puente Coahuayana | 1 puente | 3,478.3 |
| Armería | Límite de Estados Michoacán / Colima - Manzanillo 278 - 290 | 12 km | 15.0 |
| Manzanillo | Límite de Estados Michoacán / Colima - Manzanillo 290 - 328.5 | 38.5 km | 48.1 |
| | Libramiento Manzanillo 0.0 -6.0 | 6 km | 81.7 |
| | Manzanillo - Límite de Estados Colima - Jalisco 18.7 -43.5 | 24.8 km | 33.5 |
| | Manzanillo -Minatitlán 0.0 - 35.0 | 35 km | 151.7 |
| Minatitlán | Manzanillo -Minatitlán 35.0 - 54.2 | 19.2 km | 83.1 |
| Cuauhtémoc | Colima Límite de Estados Colima / Jalisco 3.9 - 26.8 | 22.9 km | 2.2 |
| Colima | Límite de Estados Jalisco / Colima - Colima 189.6 - 220.0 | 30.4 | 50.4 |
| Total de carreteras federales | | | 5,200.0 |
| Indirectos (gastos de operación) | | | 155.7 |
| Subtotal | | | 5,355.7 |
| Total | | | *6,159.0 |

Nota: El total incluye el impuesto al valor agregado.

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) del Estado de Colima.

Por otra parte, también se presentaron daños en las carreteras que se encuentran reguladas por el gobierno del Estado de Colima a cargo de la Secretaría de Desarrollo Urbano. Aquí se presentaron diversos daños, los cuales se concentraron fundamentalmente en derrumbes y daños en superficie de rodamiento, asentamientos en los enfoques y fallas en los topes antisísmicos, así como el desplazamiento de losas.

En la autopista que va entre Manzanillo y Colima se registraron derrumbes (figura 13.9).



Figura 13.9 Derrumbes en la Autopista 110 entre Manzanillo y Colima

Los daños en las vías de comunicación estatales se presentaron en la mayoría de los municipios, aunque las afectaciones registradas en este caso no fueron de las dimensiones que se presentaron en las carreteras y puentes federales.

La tabla 13.18 incluye un resumen del monto y origen de los recursos que se solicitaron para la mitigación de daños para dicha infraestructura. El monto de las afectaciones en las carreteras estatales sumó poco más de 1.8 millones de pesos, contando un 3% de daños indirectos y los impuestos al valor agregado que se generaron. Alrededor del 73% de dicho monto lo concentran los municipios de Colima y Villa de Álvarez.

Tabla 13.18 Monto y origen de recursos para la mitigación de daños en las vías de comunicación adscritas al Estado de Colima (Miles de pesos)

| Municipio | Federales | Estatal y/o municipal | Total |
|--|--------------|-----------------------|----------------|
| Armería | 37.5 | 37.5 | 75.0 |
| Colima | 308.0 | 308.0 | 616.0 |
| Comala | 30.0 | 30.0 | 60.0 |
| Coquimatlán | 40.0 | 40.0 | 80.0 |
| Ixtlahuacán | 15.0 | 15.0 | 30.0 |
| Manzanillo | 55.0 | 55.0 | 110.0 |
| Tecomán | 30.0 | 30.0 | 60.0 |
| Villa de Álvarez | 278.5 | 278.5 | 557.0 |
| Suma de daños a carreteras estatales | 794.0 | 794.0 | 1,588.0 |
| Daños Indirectos 3% | 23.8 | 23.8 | 47.6 |
| Subtotal | 817.8 | 817.8 | 1,635.6 |
| *Total de carreteras estatales | 940.5 | 940.5 | 1,881.0 |
| Total caminos rurales | 29.6 | 29.6 | 59.2 |
| Gran total carreteras alimentadoras y caminos rurales | 970.1 | 970.1 | 1,940.2 |

*/ Incluye el impuesto al valor agregado.

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes del Estado de Colima.

También se presentaron afectaciones menores a caminos rurales, por un monto de daños de apenas 59 mil pesos. En total, las afectaciones a las carreteras estatales y caminos rurales a cargo del gobierno del Estado de Colima sumaron poco más de 1.9 millones de pesos.

En lo que respecta a los daños en el puerto de Manzanillo en el municipio del mismo nombre, momentos después de ocurrido el fenómeno la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a través de la Administración Portuaria Integral de Manzanillo, S.A. de C.V., decidió suspender las operaciones en el puerto con el fin de efectuar una revisión física de la infraestructura. Una vez que se realizó la batimetría para garantizar que el lecho marino en el puerto interior tuviera la profundidad requerida y se restituyeran las boyas del canal y la baliza de situación caída, se abrió a la navegación a partir de la 1:00 de la mañana del día 23 de enero de 2003.

Aquí los daños se concentraron en los rompeolas y escolleras, en los muelles se registraron agrietamientos y fisuras, así como un gran número de hundimientos diferenciales en pavimentos y superficie de rodamiento. Asimismo, ocurrieron daños en los muros de los edificios de nombramientos, cuartel de bomberos y oficinas del recinto fiscal, entre otros.

El monto de los daños en el puerto de Manzanillo alcanza la cantidad de 61.5 millones de pesos, los cuales fueron solicitados al Fondo para Desastres Naturales (FONDEN) en calidad de préstamo, considerando que la infraestructura portuaria se encontraba asegurada, y este monto será restituido.

En síntesis, los daños en las carreteras de jurisdicción federal a cargo de la SCT, en las vías de comunicación reguladas por el gobierno del Estado, y los reportados en el puerto de Manzanillo, acumularon un total de daños en todo el sector de comunicaciones y transportes de 69.6 millones de pesos.

13.5.3.4 Daños a edificios públicos, monumentos históricos e inmuebles religiosos

La Secretaría de Desarrollo Urbano del Estado de Colima llevó a cabo el reconocimiento de los daños tanto en la infraestructura urbana como en los edificios y demás lugares de culto religioso. Asimismo participó en la demolición de edificaciones inseguras, en labores de limpieza y remoción de escombros, así como en la rehabilitación de vías terrestres interrumpidas por derrumbes.

El Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), también realizó un levantamiento de los daños en dicha infraestructura. Por estimarse más propios del INAH el manejo y conservación de edificios de valor artístico y religioso, se adoptó como más fidedigna la estimación de daños relativos a estos últimos realizados por dicho Instituto.

Las cifras presentadas en la tabla 13.19 son, por consiguiente, el resultado de adicionar a las estimaciones de la SEDUR relativas a la infraestructura urbana estatal y municipal aquellas del INAH correspondientes a daños en edificios históricos y religiosos.

Como puede observarse, los efectos del sismo del 21 de enero causaron daños de consideración en la infraestructura y edificios públicos, así como en el Patrimonio Cultural y Religioso. Si bien el Estado no cuenta con construcciones importantes de la época colonial, ya que éstas han sido destruidas por sismos anteriores, la intensidad del sismo, las características constructivas y las propiedades del terreno hicieron que se registraran importantes daños consistentes en grietas, cuarteaduras, caída de recubrimientos y hasta el derrumbe de algunas estructuras.

Los daños a edificios históricos, artísticos y religiosos ascendieron a aproximadamente 114.1 millones de pesos, mientras que en el caso de los daños en inmuebles públicos sumaron 76.3 millones. Con lo cual los daños totales del sector sumaron los 156.3 millones de pesos.

Tabla 13.19 Resumen de los daños en la infraestructura y edificios públicos y en el Patrimonio Cultural y Religioso (Miles de pesos)

| Patrimonio artístico a cargo del INAH | Inmuebles dañados | Importe (Miles de pesos) |
|--|-------------------|--------------------------|
| Federal | 16 | 100,874 |
| Estatad municipal | 2 | 9,667 |
| | 4 | 3,560 |
| Subtotal patrimonio artístico y cultural | 22 | 114,101 |
| Daños a edificios e infraestructura públicas | n.d | 42,213 |
| Gran Total | | 156,314 |

Fuente: Delegación del Estado de Colima del Instituto Nacional de Antropología e Historia y Secretaría de Educación Pública del Estado

13.5.3.5 Daños a edificios e infraestructura públicos

Como puede apreciarse en la tabla 13.20 los mayores daños en la infraestructura y edificios públicos urbanos ocurrieron en los municipios de Colima, Tecomán y Manzanillo. Fueron también de cierta consideración en Coquimatlán. Cabe destacar las afectaciones que sufrieron las instalaciones administrativas y deportivas, así como las de los CEREZOS de Colima y Manzanillo y los juzgados en Villa de Álvarez.

Tabla 13.20 Síntesis de los daños en edificios públicos y en la infraestructura urbana (Miles de pesos)

| Municipio | Localidad | Tipo de edificio | Monto |
|------------------------------|---------------------------------|--|---------------|
| Colima | Colima | Diversos | 9,289 |
| Colima | Museo | Comunitario | 108 |
| Villa de Álvarez | Villa de Álvarez | Juzgados | 1,350 |
| Tecomán | Tecomán | Casa de la Cultura y Centro de apoyo para Discapacitados | 655 |
| Manzanillo | Manzanillo | Centro Histórico, Biblioteca Pública, Auditorio, etc. | 3,710 |
| Manzanillo | Manzanillo | Infraestructura urbana diversa | 14,446 |
| Comala e Ixtlahuacan | Comala, Zacualpan e Ixtlahuacan | Casa de la Cultura, Museo, etc. | 283 |
| Colima, Manzanillo y Tecoman | Colima Manzanillo y Tecomán | CERZOS de Colima y Manzanillo y Recl.de Tecoman | 6,875 |
| Colima | Colima | Infr. Seg. Públ. Y Palacio Legislativos | 875 |
| Coquimatlán | Coquimatlán, Jala y Agua Zarca | Pres. Municip., Panteón, y Casas Ejidales, éte | 1,171 |
| Tecomán | Diversas Colonias | Presidencia Municipal, mercados, casa de la cult., etc | 3,451 |
| TOTAL | | | 42,213 |

Fuente: Secretaría de Desarrollo Urbano de Colima.

13.5.3.6 Edificios históricos, artísticos y religiosos

Dentro de este rubro los daños fueron de consideración, aunque en general no ponen en peligro la estabilidad de las construcciones, sobre todo los que ocurrieron en los Templos del Sagrado Corazón de Colima consistentes en daños severos en muros, arcos y desprendimientos de

aplanados, y en el Templo de San Felipe de Jesús, también de Colima, que presentó grietas en la fachada, en la torre y en los apoyos del campanario (véase la figura 13.10).



Figura 13.10 Daños a las cruces de la Catedral, Colima

Mención especial por la gravedad de los daños merece el Templo de San Pedro Apóstol en Coquimatlán. Éste sufrió daños severos en todo el cuerpo, incluso la caída de la torre sur que fue a parar al patio de las instalaciones de la Presidencia Municipal. La otra torre sufrió daño en las columnas de campanario y quedó girada sobre una de sus columnas. Por lo que corresponde al cuerpo de la iglesia, prácticamente todos los muros están severamente dañados, así como todas las cúpulas incluso una de ellas (la ubicada sobre el altar) sufrió colapso parcial. A pesar de todos estos daños, que el INAH valoró en casi 17 millones de pesos, se considera que la estructura se puede reparar. Los datos que se incluyen en la tabla 13.21 se obtuvieron en la delegación del INAH de Colima y de la representación de SEP en Colima.

Tabla 13.21 Daños registrados en templos y edificios históricos (miles de peso)

| Municipio | Área y/o Población Afectada | Recursos Solicitados y Fuente de Financiamiento | | |
|-------------------------------------|--|---|-------------------------|------------------|
| | | Federales | Estatad y/o Municipales | Total |
| Recursos de Origen Federal | | | | |
| Colima | Museo Regional de Historia de Colima | 1,695.0 | - | 1,695.0 |
| Colima | Palacio Federal | 4,520.0 | - | 4,520.0 |
| Colima | Basílica Menor De Guadalupe | 2,825.0 | - | 2,825.0 |
| Colima | Templo del Sagrado Corazón | 11,865.0 | - | 11,865.0 |
| Colima | Templo de Nuestra Señora de La Salud Incluye Monumento Funerario | 2,712.0 | - | 2,712.0 |
| Colima | Templo de San José | 2,147.0 | - | 2,147.0 |
| Colima | Templo de San Felipe de Jesús ó El Beaterio | 14,125.0 | - | 14,125.0 |
| Colima | Templo de Nuestra Señora De La Merced | 1,017.0 | - | 1,017.0 |
| Colima | Ruinas Exconvento de San Francisco de Almoloyan | 150.0 | - | 150.0 |
| Villa de Álvarez | Templo de San Francisco de Asís | 1,017.0 | - | 1,017.0 |
| Comala | Parroquia de San Miguel Arcángel | 904.0 | - | 904.0 |
| Comala | Capilla de La Virgen del Refugio | 1,130.0 | - | 1,130.0 |
| Coquimatlán | Templo de San Pedro Apóstol | 16,950.0 | - | 16,950.0 |
| Cuauhtémoc | Casa Cural del Templo de San Jerónimo de los Santos Ángeles | 500.0 | - | 500.0 |
| Cuauhtémoc | Templo del Sagrado Corazón de Jesús | 508.5 | - | 508.5 |
| Colima | Capilla Virgen de La Asunción, La Estancia | 1,017.0 | - | 1,017.0 |
| | | | Subtotal | 63,082.5 |
| Recursos de Origen Estatal | | | | |
| Colima | Palacio de Gobierno | 118.7 | 276.9 | 395.5 |
| Colima | Teatro Hidalgo | 1,695.0 | 3,955.0 | 5,650.0 |
| Recursos de Origen Municipal | | | Subtotal | 6,045.5 |
| Colima | Panteón Municipal (Área Histórica 40 Tumbas) | - | 356.0 | 1,186.5 |
| Comala | Portal Llerenas | - | 17.0 | 56.5 |
| Comala | Presidencia Municipal de Comala | - | 40.7 | 135.6 |
| Coquimatlán | Portal Coquimatlán calle Jesús Alcaraz | - | 254.3 | 847.5 |
| | | | Subtotal | 2,226.1 |
| Total Daños Directos | | | | 71,354.1 |
| Total Daños Indirectos | | | | 42,746.5 |
| Gran Total | | | | 114,100.6 |

Fuente: Instituto Nacional de Antropología e Historia. Centro Colima y la representante de la SEP en colima

13.5.4 Sectores productivos

Colima contribuyó con el 0.56% del PIB nacional en el año 2002; en una perspectiva de largo plazo (1993-2000) ha observado una tasa de crecimiento promedio anual de 3.6%, ligeramente superior al agregado nacional (3.55 para el mismo período).

La extensión territorial del Estado es una de las menores del país, lo cual se refleja también en su escasa población y en el nivel agregado del producto interno bruto. Sin embargo, su ingreso

por habitante es similar al del promedio es, el séptimo Estado con mayor producción minera, el décimo en electricidad, gas y agua, como puede observarse en la tabla 13.22.

Tabla 13.22 Aportación al PIB nacional por gran división de actividad

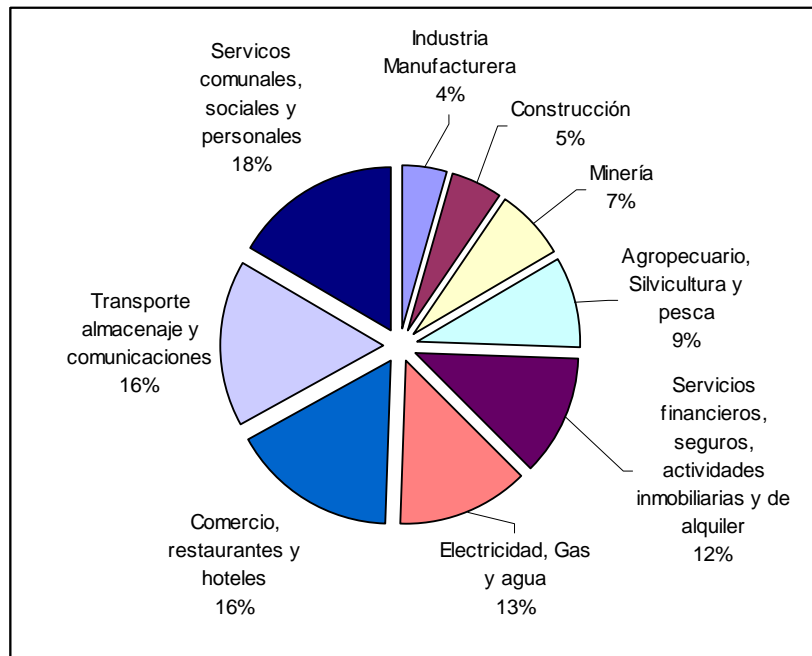
| Gran división de actividad económica | % en el PIB nacional por gran división de actividad | Lugar nacional |
|---|---|----------------|
| Minería | 3.09 | 7 |
| Electricidad, Gas y agua | 4.59 | 10 |
| Transporte almacenaje y comunicaciones | 0.82 | 26 |
| Agropecuario, Silvicultura y pesca | 0.92 | 27 |
| Construcción | 0.66 | 28 |
| Industria Manufacturera | 0.12 | 30 |
| Comercio, restaurantes y hoteles | 0.42 | 31 |
| Servicios financieros, seguros, actividades inmobiliarias y de alquiler | 0.43 | 32 |
| Servicios comunales, sociales y personales | 0.47 | 32 |

Información del año 2000.

Fuente: INEGI. 2003. Cuaderno de información oportuna regional. No. 74. Cuarto trimestre de 2002. <http://www.inegi.gob.mx/difusion/espanol/finfoinegi.html>

En la estructura del PIB estatal predomina el sector servicios (75% del PIB estatal). Entre las actividades de este sector, los servicios personales son los más importantes, seguidos por el transporte, comercio, servicios financieros y de alquiler, como puede verse en la figura 13.11.

El reporte de esta sección se concentra en el sector agrícola y en la respuesta del gobierno a los sectores de comercio, servicios e industria.



Fuente: INEGI. Sistema de cuentas nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa, 1993-2000. México, 2002.

Figura 13.11 Composición del PIB estatal en Colima

13.5.4.1 Agricultura

Los daños directos del sismo afectaron la parte de infraestructura, en particular los sistemas de riego y canales de distribución. Ello generó, como efecto indirecto, una inversión extraordinaria para reparar el distrito de riego 53 (véase la tabla 13.23). La superficie afectada fue de 24,408 hectáreas, pero sólo 242.5 reportaron afectaciones en la producción por falta de agua, lo cual implicó una pérdida para el Estado de 4.076 millones de pesos como se reporta en la tabla 13.24.

Tabla 13.23 Reporte de daños en el sector agrícola

| | Daños | | Total |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Directos | Indirectos | |
| Infraestructura | 21,921.1 | 12,870.0 | 34,791.1 |
| Producción ¹ | | 4,075.9 | 4,075.9 |
| Gran Total | 21,921.1 | 16,945.9 | 38,867.0 |

Fuente: Gobierno del Estado de Colima, Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (Estimación propia con base en las hectáreas afectadas de diferentes cultivos, su rendimiento promedio y precios al productor).

Tabla 13.24 Estimación de pérdidas en cultivos

| Cultivo | Hectáreas | Rendimiento t/ha | Precio por tonelada (pesos) | Valor (miles de pesos) |
|-------------------------------------|--------------|------------------|-----------------------------|------------------------|
| Calabaza | 4.5 | 16.4 | 385 | 28.3 |
| Caña | 150.0 | 78.4 | 236 | 2,524.0 |
| Cilantro | 0.5 | 1.5 | 3,080 | 2.3 |
| Frijol | 8.0 | 0.9 | 8,535 | 59.7 |
| Lima | 4.0 | 11.0 | 1,318 | 58.0 |
| Maíz | 12.0 | 2.5 | 1,650 | 49.5 |
| Maíz/frijol | 2.5 | 1.8 | 1,540 | 6.9 |
| Pepino | 21.0 | 16.8 | 2,120 | 746.6 |
| Plátano | 3.0 | 24.8 | 3,310 | 246.2 |
| Praderas | 4.0 | 77.6 | 206 | 63.9 |
| Preparadas con acolchado y embarado | 30.0 | 31.5 | 269 | 254.5 |
| Sorgo | 2.5 | 2.6 | 1,398 | 9.2 |
| Tomate | 0.5 | 22.7 | 2,345 | 26.7 |
| Total | 242.5 | | | 4,075.9 |

Fuente: Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Colima.

SAGARPA. 2003 Sistema de Información Agropecuaria de Consulta, 1980-2001 (SIACON). México.

SAGAR. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos, 1999. México, 2000.

INEGI, 2001. Anuario estadístico del Estado de Colima.

13.5.4.2 Sector comercio

A consecuencia del sismo se recibieron solicitudes de apoyo de 2,219 empresas que resultaron afectadas por daños en su infraestructura, de las cuales el 94% son microempresas, el 5% pequeñas y el 1% medianas. No se tuvieron datos de los costos en las empresas grandes, pero se estima que éstos fueron mínimos.

El monto de recursos de apoyo solicitados se distribuyó entre el sector comercio (38.0%), servicios (39%), industria (15.5%) y agroindustria (7.3%) (véase la tabla 13.25).

Como fue mencionado anteriormente, el sismo dañó principalmente la infraestructura de las microempresas, cosa que se evidencia por el modesto monto de los créditos solicitados, como puede

verse en la tabla 13.25. Los principales establecimientos afectados fueron los negocios de comestibles, los servicios de arrendamiento, hospedaje y de salud, entre otros

Tabla 13.25 Montos y cantidades de presolicitudes por giro (Miles de pesos)

| Actividad | Monto | Estructura porcentual por monto | Solicitudes | Promedio de crédito por solicitante |
|--|----------------|---------------------------------|--------------|-------------------------------------|
| Comercio | 77,816 | 37.9 | 1,153 | 67.5 |
| Abarrotes, lácteos y ventas de bebidas | 25,258 | 12.3 | 633 | 39.9 |
| Comercio de calzado, ropa y accesorios | 13,301 | 6.5 | 132 | 100.8 |
| Comercio de materiales para la construcción | 10,606 | 5.2 | 44 | 241 |
| Papelería, mercería y regalos | 7,204 | 3.5 | 143 | 50.4 |
| Otros | 21,447 | 10.4 | 201 | 106.7 |
| Industria | 46,796 | 22.8 | 361 | 129.6 |
| Agroindustrias | 14,935 | 7.3 | 40 | 373.4 |
| Industria de Alimentos y bebidas | 14,032 | 6.8 | 165 | 85 |
| Industria de mueble y madera | 4,847 | 2.4 | 39 | 124.3 |
| Industria de papel e imprenta | 2,919 | 1.4 | 24 | 121.6 |
| Industria metálica y de construcción | 6,676 | 3.3 | 60 | 111.3 |
| Industria textil | 3,387 | 1.6 | 33 | 102.6 |
| Servicios | 80,694 | 39.2 | 705 | 114.5 |
| Restaurantes y venta de comida | 10,158 | 4.9 | 145 | 70.1 |
| Servicios automotrices | 7,594 | 3.7 | 85 | 89.3 |
| Servicios de arrendamiento y profesionales | 31,074 | 15.1 | 214 | 145.2 |
| Servicios de computación y fotocopiado | 2,638 | 1.3 | 42 | 62.8 |
| Servicios de esparcimiento, promoción y publicidad | 5,159 | 2.5 | 52 | 99.2 |
| Servicios de hospedaje | 11,623 | 5.7 | 40 | 290.6 |
| Servicios de mantenimiento | 2,130 | 1.0 | 32 | 66.6 |
| Servicios médicos y de salud | 10,318 | 5.0 | 95 | 108.6 |
| Total | 205,307 | 100.0 | 1,153 | 67.5 |

Fuente: Gobierno del Estado de Colima
Programa de Apoyo Emergente al Sector Empresarial.
Secretaría de Fomento Económico del Estado de Colima. (SEFOME)

Las solicitudes de apoyo fueron captadas por la Secretaría de Fomento Económico de Colima, implementando el Programa de Apoyo Emergente al Sector Empresarial (PAESE), cuyo objetivo fue “proporcionar apoyo crediticio inmediato a todas las micro, pequeñas y medianas empresas y personas físicas con actividad empresarial de las zonas urbana y rural del Estado, que se vieron afectadas por el sismo”.

La Secretaría de Fomento Económico se dio a la tarea de implementar el programa en coordinación con un grupo de dependencias participantes:

- Secretaría de Economía,
- Secretaría de Desarrollo Social,
- Gobierno del Estado (Secretaría de Fomento Económico, SEDER, y Secretaría de Turismo),
- NAFINSA,
- El Fondo Nacional de Empresas Sociales (FONAES),
- Crece/Instituto Colimense para la calidad,

- FIRA (Banxico),
- Banco de Comercio Exterior (BANCOMEXT) y
- Los H. Ayuntamientos.

El PAESE ha dado cobertura a todas las solicitudes de crédito y ha permitido una adecuada canalización de los apoyos por tipo de programa. Es importante destacar su mecánica de operación, ya que todas las instituciones recibieron las solicitudes, las cuales fueron concentradas y analizadas por un comité integrado por todas las dependencias; posteriormente, se dio la asignación de las solicitudes entre las instituciones para su atención. El gobierno del Estado, a través de la Secretaría de Fomento Económico, sirvió como coordinador de las acciones y como soporte para la cobertura de casos no cubiertos por otros programas.

Proceso y lógica de operación del programa

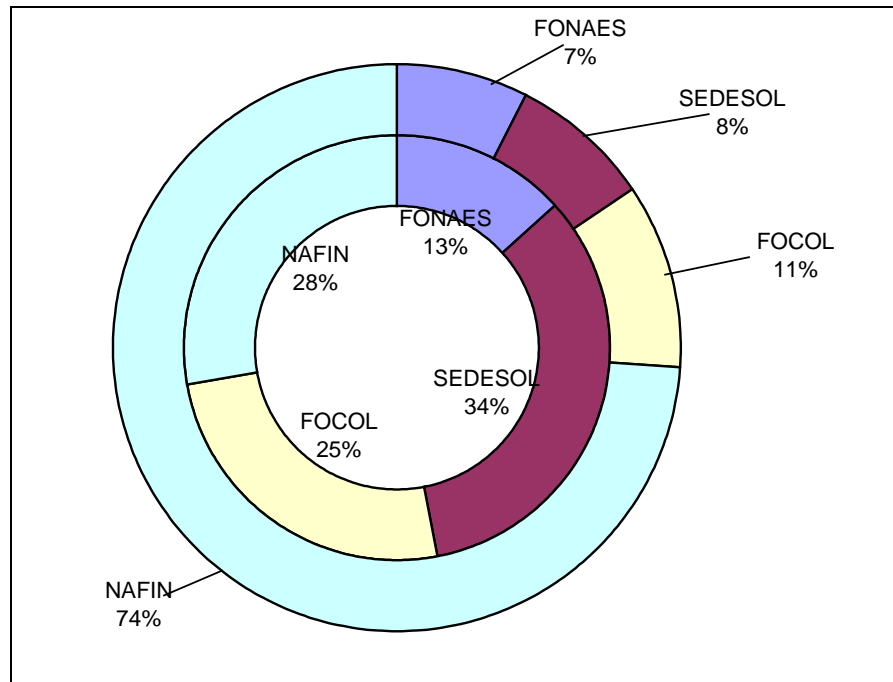
Se instaló una Comisión Permanente con personal de cada dependencia para la captación, valoración y respuesta de la demanda de apoyos financieros.

- 1.- Todas las dependencias gubernamentales y organismos empresariales captaron solicitudes de apoyo financiero en un formato único.
- 2.- Las solicitudes se concentraron en el Centro de Atención e Información Empresarial de la SEFOME.
- 3.- El Centro canalizó las solicitudes a través de la comisión permanente a la dependencia correspondiente, informando al interesado el destino de su solicitud en un plazo no mayor a 3 días.
- 4.- La dependencia receptora contactó al interesado a fin de informarle sobre los requisitos necesarios para tramitar su solicitud.
- 5.- La dependencia procesó la solicitud una vez cumplidos los requisitos y dio una respuesta en un plazo no mayor a 20 días naturales, informando al Centro para su registro.

El proceso anterior tuvo la ventaja de integrar un sistema coordinado para la asignación de los recursos, por lo que se evitaron duplicidades en el procesamiento de información, se eliminó el riesgo moral de que un agente solicitara crédito a diferentes instituciones y con ello redujera el monto de los apoyos disponibles. Cada programa operó bajo criterios y normas de operación específicas, por lo cual pudo enfocarse en su población objetivo.

Como puede verse en la figura 13.12, los créditos de Nacional Financiera S.A. representaron el 74% del monto total y sólo 28% de la atención a solicitudes, lo cual refleja su papel como banca de segundo nivel. Por otra parte, el monto de crédito aportado por SEDESOL es el 8% del total, pero cubre a un 34% de las solicitudes, puesto que su atención está enfocada a personas de escasos recursos sin acceso al crédito bancario; los montos de crédito aportados por la SEDESOL fluctúan entre 5,000 y 30,000 pesos. Cabe destacar que este programa incluye crédito a la palabra y los créditos son reintegrados a un fondo de ahorro del que el beneficiario es socio.

El gobierno del Estado de Colima instauró un techo de 5 millones en el Fondo para la Creación y Apoyo de Microempresas en el Estado (FOCOL) cuya finalidad fue ofrecer una alternativa a las empresas afectadas por el sismo del 21 de enero. Dicho apoyo será destinado a la rehabilitación, reubicación o construcción de infraestructura, capital de trabajo y adquisición de activos. La aportación del FOCOL al monto total de crédito es del 11% y cubrió el 25% de las presolicitudes.



Fuente: Gobierno del Estado de Colima. Secretaría de Fomento Económico. Programa de Apoyo Emergente al Sector Empresarial

Figura 13.12 Participación por institución en asignación de crédito y atención de solicitudes

En la figura 13.12 el anillo externo representa la participación de la institución en el monto total de crédito conferido y el anillo interno, la cobertura del total de solicitudes.

13.6 COMENTARIOS FINALES

Colima tiene múltiples fuentes de riesgo, incluyendo sismos, inundaciones y huracanes. El Sistema Estatal de Protección Civil ha jugado un papel activo en formar y entrenar equipos especializados para responder a eventos desastrosos. En efecto, Colima es una de las áreas sísmicas más activas en el mundo, y como se vio, ha experimentado varios sismos de gran magnitud en el siglo pasado que han producido daños significativos, y han causado pérdidas socioeconómicas relevantes. Según las autoridades de Protección Civil, mucho se ha aprendido de aquellos acontecimientos, y se ha avanzado en la instrumentación de mejoras a las normas y procesos constructivos.

De los tres Estados afectados por el sismo de magnitud 7.8 del 21 de enero de 2003, Colima fue; sin duda, el que recibió, por mucho, el mayor impacto socioeconómico. Provocó pérdidas de vidas humanas a 21 personas en dicho Estado y el total de daños directos e indirectos registrados ascendió a casi 993 millones de pesos, aproximadamente, es decir, unos 90 millones de dólares. Este monto representó algo más que el 3% del producto interno bruto del Estado del año 2002, una de las proporciones más elevadas provocadas por un fenómeno natural en cualquier Estado de la República Mexicana en años recientes.

Sobre el papel del gobierno local en la atención de la emergencia se puede comentar:

- Un factor clave para la atención de la emergencia radicó en el funcionamiento fluido de la comunicación interna entre las oficinas de gobierno al interior del Estado ya que el gobierno de Colima se singulariza dentro de la República Mexicana por presentar un alto grado de modernidad en sus procesos de información y comunicación (Colima cuenta con una red de enlace mediante un sistema de comunicaciones de onda corta) entre otros un sistema de información geográfica que permitió conocer con gran detalle la ubicación y magnitud de los daños en la infraestructura urbana.
- El Sistema de Planeación para el Desarrollo (SIPLADE) demostró los beneficios de contar con una unidad central que reúna y coordine la información existente sobre la evaluación de los daños. En efecto, el SIPLADE ha desarrollado un sistema de información georreferenciada, lo cual le permite un grado de detalle a nivel de casas afectadas por manzana en las principales localidades urbanas (Colima, Villa de Álvarez y Manzanillo). El sistema opera a tiempo real con un mínimo de infraestructura y personal. Sin embargo, ha mejorado la logística y atención a la población afectada al aportar elementos de selección, información y control.
- Hubo coherencia en la respuesta de los varios niveles del gobierno mexicano, en particular del Sistema de Protección Civil Nacional, lo que hizo posible que se adoptaran las medidas iniciales y se arbitraran los medios para mitigar los efectos del sismo sobre la población y para cuantificar sus efectos.
- Se atendió a toda la población que solicitó apoyo o sufrió algún tipo de afectación, no sólo a aquella amparada bajo los criterios del Fondo de Desastres Naturales. Finalmente,
- A diferencia de otros Estados en los que han ocurrido recientemente fenómenos naturales, el nivel y calidad de vida del Estado de Colima se ubica en un nivel medio en el contexto nacional; quizás este hecho explica que la proporción de viviendas y, en general de construcciones muy precarias, no sea tan elevado como en aquellos.

A raíz de este sismo, una vez más se puso en evidencia la relación directa que guarda la vulnerabilidad estructural con el tipo de materiales utilizados, las técnicas de construcción y los efectos locales por las condiciones del subsuelo en que se encuentran asentadas las edificaciones.

13.6.1 COMENTARIOS SOBRE LA CÉDULA DE INFORMACIÓN SOCIOECONÓMICA Y VERIFICACIÓN DE DAÑOS

Debe subrayarse como factor clave la “Cédula de Información Socioeconómica y Verificación de Daños” elaborada de forma conjunta por SEDESOL, IVECOL y SIPLADE. Para tener acceso a los recursos del FONDEN deben cubrirse un grupo de características que están determinadas en una cédula de SEDESOL. La cédula diseñada en Colima tiene 14 campos extra los cuales pueden ser considerados en cuatro grupos.

- 1) Variables de cruce o control, tales como:
 - La clave única del registro de población (CURP) del jefe del hogar y el cónyuge. Estos datos sirven como variable llave para la base de datos y evita duplicidades en las solicitudes por causas fortuitas o intencionales.
 - La clave catastral, que identifica al predio afectado.

- Un número telefónico de contacto, indispensable para contactar a las personas que sufrieron pérdida total.
 - Ingreso total en el hogar y un desglose por número de personas que colaboran en él.
- 2) Variables socioeconómicas más específicas:
- La ocupación del jefe de familia incluye tres opciones adicionales: i) Empleado de Gobierno, ii) Jubilado y iii) Pensionado. Estos datos adicionales permiten hacer cruces con otros campos y de esta forma determinar el programa de atención más adecuado para el afectado.
 - Tipo de uso del inmueble: i) habitacional, ii) comercial, iii) mixto, iv) edificio y v) otro. Este campo permite determinar el tipo de apoyo e institución relevante.
 - Casa catalogada por el INAH: Si o No. Los daños al patrimonio cultural se incluyen en una partida separada.
 - Vivienda escriturada: Si o No. Con este campo se determina la situación jurídica del inmueble.
- 3) Instrumentos de control y rendición de cuentas.
- La cédula tiene una sección desprendible que incluye un folio, fecha y nombre del verificador. Esto aumenta la certidumbre en el afectado y permite dar seguimiento a las acciones de gobierno.
 - La cédula es firmada por un representante del comité de vivienda y el jefe de familia, pareja o concubina.
 - La cédula es firmada por la autoridad municipal, el representante del Instituto de la Vivienda del Estado y del funcionario de SEDESOL
- 4) Datos adicionales sobre vivienda y descripción de daños:
- Tipo de vivienda: 1) Rústica, 2) Económica, 3) Media y 4) Superior. Un campo similar está presente en la cédula de Jalisco, pero las categorías cambian: 1) Popular, 2) Económica, 3) Media, 4) Residencial.
 - Superficie aproximada de construcción antes del siniestro en m²
 - Superficie aproximada del terreno
 - Fractura en elementos estructurales (columnas, travesaños, otros): Si o No
 - Desprendimiento de acabados: Si o No. El formato de SEDESOL incluye solo techo.
 - Fractura o flexión de la estructura de entresuelo/techo
 - Fractura o derrumbe parcial de la estructura de entresuelo/techo (hasta 35%)
 - Clasificación por daño: 1) Daño total, 2) Daño parcial ó 3) Daño menor

El formato es más general, pero las preguntas permiten hacer cruces para verificar la información y confirmar la pertinencia del programa. Como parte de las labores de verificación se tomaron fotografías de la vivienda después del siniestro, al término de las labores de limpieza y al final de las labores de reparación/reconstrucción.

BIBLIOGRAFÍA

Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL (2002), “Manual para la Evaluación del Impacto Socioeconomico y Ambiental de los Desastres”, (versión preliminar) (LC/MEX/L.519/E), mayo de 2002.

Secretaría de Gobernación (2003), “El Sismo de Tecomán, Colima del 21 de enero de 2003, Daños en el Estado de Colima”, Informe Técnico para Sustento de la Declaratoria de Desastre Natural, México, enero 2003.18 pp.

CAPÍTULO 14

CONCLUSIONES

Carlos Reyes

Del análisis y evaluación de los efectos del sismo de Tecomán, Colima del 21 de enero de 2003 aquí presentados, se derivan algunas conclusiones y propuestas que se exponen a continuación.

14.1 CONCLUSIONES

El sismo tuvo efectos en un radio geográfico, que incluye principalmente a los estados de Colima, Jalisco y Michoacán. Ocasionó algunas pérdidas de vidas humanas.

En lo que respecta a los sistemas estatales de Protección Civil, en especial el del estado de Colima, su respuesta fue coherente.

Los daños totales, valorados fundamentalmente a costo de reposición, ascendieron en el estado de Colima, a aproximadamente a 1100,000 millones de pesos. Los daños en los estados de Jalisco y Michoacán fueron sustancialmente menores.

Los efectos destructivos más relevantes se registraron en el sector vivienda, escuelas, industria y comercio y el suministro de electricidad.

En el rubro de vivienda, fue evidente que un alto porcentaje de los daños se debieron al uso de muros de carga de mampostería deficientemente confinada.

Por el papel crucial que juegan frente a los desastres, llama la atención el tipo y severidad del daño en escuelas y hospitales, sobre todo en aquellas instalaciones que presumiblemente habían sido diseñadas estructural y arquitectónicamente siguiendo criterios de mayor exigencia.

Aunque los daños que provocaron los efectos de tipo geotécnico no causaron daños severos, deben destacarse los problemas de licuación y hundimiento del suelo que se observaron.

En lo que se refiere a monumentos históricos, el sismo de Tecomán, tuvo efectos dañinos de significación en un radio geográfico relativamente limitado, a diferencia de estos como Oaxaca y, principalmente, Puebla, la zona afectada no se caracteriza por la existencia de una gran densidad de iglesias y conventos.

14.2 RECOMENDACIONES

En el caso de escuelas y hospitales, debería estudiarse explícitamente las demandas ante sismos moderados y la consiguiente capacidad estructural y no estructural, así como el desempeño de su contenido. Por lo general, en la práctica establecida de diseño de hospitales sólo se revisan las capacidades resistente y de deformación de la estructura ante el sismo de diseño.

Se han desarrollado recientemente metodologías de evaluación de la vulnerabilidad de hospitales, así como guías de rehabilitación dentro del programa *Hospital Seguro* promovido por la Organización Panamericana de la Salud. Sin embargo, éstas últimas son sólo indicativas y cualitativas. Dado el riesgo sísmico que enfrenta un gran número de hospitales en el país, sería indispensable iniciar la elaboración o adaptación de guías de rehabilitación que tomen en cuenta las características de los establecimientos que existen en el país.

Para ello se recomienda adoptar criterios de diseño que consideren al hospital como un sistema, es decir que se basen no sólo en el desempeño del sistema estructural sino también de las instalaciones y del contenido. Naturalmente tales criterios deben tomar en cuenta el costo de las inversiones necesarias con relación a un nivel de riesgo “aceptable”.

De manera análoga a los hospitales, las escuelas para niños, adolescentes y discapacitados, deben satisfacer objetivos de desempeño más estrictos, e incluso amplios, que para estructuras comunes, como oficinas o viviendas. Aquí vale también la serie de recomendaciones hechas para hospitales de emprender programas de reducción de la vulnerabilidad de la infraestructura escolar del país.

En suma, debería impulsarse la realización de estudios de vulnerabilidad en las infraestructuras de salud y educación en las regiones cuya exposición a desastres naturales es elevada.

En el caso de las viviendas, para el proceso de reconstrucción se deben introducir mejoras en las prácticas constructivas y en el tipo de materiales utilizados. Una cabal aplicación de los reglamentos vigentes, y sobre todo un control más estricto de las autoridades en esta materia permitiría mitigar los efectos en la población de futuros fenómenos de la magnitud del referido, e incluso superiores.

En este campo existe una vasta información y experiencia técnica en el análisis de la vulnerabilidad y de la rehabilitación estructural (reparación y refuerzo). Es recomendable adaptar esta información y experiencia para difundirla, tanto entre las autoridades de protección civil como entre la población que vive en zonas de alto y moderado peligro sísmico.

Adicionalmente se deben emprender programas, con la participación de instituciones como universidades locales, colegios de ingenieros, autoridades locales, entre otras, con el fin de detectar viviendas vulnerables en comunidades rurales para posteriormente emprender programas de mitigación.

AGRADECIMIENTOS

Un reconocimiento especial a los directores de Protección Civil de los estados de Colima, Michoacán y Jalisco, quienes colaboraron y proporcionaron las facilidades necesarias para que el personal del CENAPRED pudiera recorrer las zonas afectadas por el sismo de Tecomán.



Coordinación General de Protección Civil
Centro Nacional de Prevención de Desastres
Av. Delfín Madrigal No. 665,
Col. Pedregal de Sto. Domingo,
Deleg. Coyoacán,
México D.F., C.P. 04360
www.cenapred.unam.mx