

I

NFORMES

TÉCNICOS

EL SISMO DE TEHUACÁN DEL 15 DE JUNIO DE 1999

SERGIO M. ALCOCER
GERARDO AGUILAR
LEONARDO FLORES
DANIEL BITRÁN
ROBERTO DURÁN
OSCAR A. LÓPEZ BÁTIZ
MIGUEL A. PACHECO
CARLOS REYES
CLAUDIA M. URIBE
MANUEL J. MENDOZA

COORDINACIÓN
DE
INVESTIGACIÓN

Área de Ingeniería Estructural
y Geotecnia



CENAPRED
MÉXICO

SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL

COORDINACIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

EL SISMO DE TEHUACÁN DEL 15 DE JUNIO DE 1999

Sergio M. Alcocer

Gerardo Aguilar

Leonardo Flores

Daniel Bitrán

Roberto Durán

Oscar A. López-Bátiz

Miguel A. Pacheco

Carlos Reyes

Claudia M. Uribe

Manuel J. Mendoza

Ingeniería Estructural y Geotecnia

Julio, 1999

CONTENIDO

CONTENIDO	iii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	ix
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS Y ALCANCE.....	1
1.2.1 Amozoc de Mota.....	3
1.2.2 Atlixco	3
1.2.3 Chapulco.....	4
1.2.4 Cholula de Rivadabia.....	4
1.2.5 Ciudad Serdán	4
1.2.6 El Salitre	4
1.2.7 Heroica Puebla de Zaragoza	4
1.2.8 San Andrés Cholula.....	5
1.2.9 San Francisco Acatepec.....	6
1.2.10 San Gregorio Zacapechpan.....	6
1.2.11 San Juan Ahuehuevo.....	6
1.2.12 San Mateo Ozolco	6
1.2.13 San Nicolás de los Ranchos	7
1.2.14 San Pablo de las Tunas.....	7
1.2.15 San Pedro Yancuictlalpan.....	7
1.2.16 Santa María la Alta	8
1.2.17 Tecamachalco	8
1.2.18 Tehuacán.....	8
1.2.19 Tepeaca.....	8
1.2.20 Tlacotepec de Benito Juárez	8
1.3 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	8
CAPÍTULO 2 SISMOLOGÍA.....	11
2.1 INTRODUCCIÓN	11
2.2 EVENTO PRINCIPAL Y RÉPLICAS	11
2.3 ATENUACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL TERRENO	12
2.4 REGISTROS ACELEROGRÁFICOS	13
2.5 INTENSIDAD EN LA CIUDAD DE MÉXICO	16
CAPÍTULO 3 PROBLEMAS GEOTÉCNICOS.....	19
3.1 INTRODUCCIÓN	19
3.2 ESTRATIGRAFÍA Y EFECTOS DE SITIO EN LA CIUDAD DE PUEBLA	19
3.3 LICUACIÓN EN EL ESTADO DE TLAXCALA	20
3.4 DAÑOS DE NATURALEZA GEOTÉCNICA	21

CAPÍTULO 4 LÍNEAS VITALES	23
4.1 INTRODUCCIÓN	23
4.2 ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y DRENAJE.....	23
4.3 REDES DE DISTRIBUCIÓN DE GAS Y PETRÓLEO.....	23
4.4 SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	23
4.5 COMUNICACIONES.....	24
4.6 VÍAS DE TRANSPORTE	24
4.6.1 Carreteras y Puentes.....	24
4.6.2 Ferrocarriles y Aeropuertos	25
4.7 HOSPITALES.....	25
4.7.1 Hospital de Especialidades San José	26
4.7.2 Hospital General San Alejandro.....	27
4.7.3 Hospital de Traumatología y Ortopedia	31
4.7.4 Unidad Hospitalaria Tehuacán.....	34
4.7.5 Conclusiones	34
CAPÍTULO 5 MONUMENTOS HISTÓRICOS	35
5.1 INTRODUCCIÓN	35
5.2 AMOZOC DE MOTA	35
5.2.1 Parroquia de la Asunción.....	35
5.2.2 Convento de Amozoc.....	36
5.2.3 Iglesia de San Antonio de Padua.....	37
5.2.4 Iglesia de la Purísima Concepción.....	38
5.2.5 Iglesia del Barrio de la Preciosa	39
5.2.6 Iglesia del Barrio de San Andrés las Vegas.....	39
5.2.7 Iglesia de Santa Cruz Calera	39
5.2.8 Iglesia del Barrio de San Juan del Santo Ángel.....	40
5.2.9 Iglesia de San José Victoria.....	42
5.2.10 Iglesia de la Sagrada Familia.....	42
5.2.11 Iglesia de San Salvador Tepalcayuca.....	43
5.3 ATLIXCO.....	44
5.3.1 Exconvento del Carmen.....	44
5.3.2 Parroquia de Santa María de la Natividad	45
5.3.3 Palacio Municipal	47
5.4 CHAPULCO	47
5.4.1 Iglesia de Chapulco	47
5.5 CHOLULA DE RIVADABIA	48
5.5.1 Capilla Real	48
5.6 Ciudad Serdán	50
5.6.1 Iglesia de Cosamaloapan	50
5.6.2 Iglesia del Sagrado Corazón de Jesús	51
5.6.3 Iglesia de San Francisco.....	52
5.6.4 Parroquia del Padre Jesús.....	53
5.6.5 Iglesia de Dolores	54
5.6.6 Iglesia de Guadalupe	54
5.7 HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA	55
5.7.1 Edificio Carolino	55
5.7.2 Iglesia de la Compañía	59
5.7.3 Palacio Municipal	61
5.7.4 Museo Universitario o Casa de los Muñecos.....	64
5.7.5 Iglesia de San Agustín	64
5.8 SAN ANDRÉS CHOLULA.....	65
5.8.1 Iglesia de Nuestra Señora de los Remedios.....	65
5.8.2 Iglesia de San Andrés.....	68
5.9 SAN FRANCISCO ACATEPEC	69

5.9.1	Iglesia de San Francisco.....	69
5.10	SAN GREGORIO ZACAPECHPAN	70
5.10.1	Iglesia de San Gregorio	70
5.11	SAN MATEO OZOLCO	71
5.11.1	Iglesia de San Mateo Ozolco	71
5.12	SAN PABLO DE LAS TUNAS	72
5.12.1	Iglesia de San Pablo	72
5.13	SAN PEDRO YANCUICTALPAN	72
5.13.1	Iglesia de San Pedrito	72
5.14	SANTA MARÍA LA ALTA	73
5.14.1	Iglesia de María Concepción	73
5.15	TECAMACHALCO	75
5.15.1	Exconvento Franciscano.....	75
5.15.2	Parroquia de Nuestra Señora de la Asunción.....	75
5.16	TEHUACÁN	76
5.16.1	Iglesia del Calvario.....	76
5.16.2	Iglesia de San Francisco y Exconvento de la Inmaculada Concepción	77
5.16.3	Catedral de Tehuacán	79
5.16.4	Iglesia del Carmen	80
5.17	TEPEACA	81
5.17.1	Parroquia de San Francisco de Asis.....	81
5.17.2	Exconvento y Capilla de San Francisco.....	81
5.17.3	Iglesia de Santa Apolonia	82
5.17.4	Iglesia del Calvario.....	84
5.18	TLACOTEPEC DE BENITO JUÁREZ	84
5.18.1	Iglesia de la Santa Cruz.....	84
5.18.2	Iglesia del Calvario.....	86
5.19	Recomendaciones	86
5.19.1	Descripción de la Estructuración.....	86
5.19.2	Tipo Principal de Daño.....	88
5.19.3	Análisis del Comportamiento	90
5.19.4	Opciones de Rehabilitación	94
CAPÍTULO 6 VIVIENDA.....		99
6.1	INTRODUCCIÓN	99
6.2	ATLIXCO.....	99
6.2.1	Introducción	99
6.2.2	Vivienda Nicolás Bravo	100
6.2.3	Vivienda 4 Norte	100
6.2.4	Unidad Habitacional Infonavit Atlixco.....	101
6.3	CIUDAD SERDÁN	105
6.3.1	Unidad Habitacional Infonavit Anaxa	105
6.4	EL SALITRE.....	108
6.4.1	Introducción	108
6.4.2	Vivienda Miguel Hidalgo	109
6.4.3	Vivienda Iturbide	110
6.5	HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA	112
6.5.1	Unidad Habitacional Infonavit Las Margaritas.....	112
6.5.2	Unidad Habitacional Infonavit Amalucan	113
6.5.3	Condominio 3 Oriente.....	119
6.6	SAN JUAN AHUEHUEYO.....	120
6.6.1	Vivienda Palma.....	120
6.7	SAN MATEO OZOLCO	122
6.7.1	Introducción	122
6.7.2	Viviendas de Muros de Tapia hechos con Tierra.....	123

6.8	Santa María la Alta.....	125
6.8.1	Daño en Vivienda.....	125
CAPÍTULO 7 ESCUELAS E INSTITUCIONES EDUCATIVAS.....		127
7.1	INTRODUCCIÓN	127
7.2	ATLIXCO.....	127
7.2.1	Introducción	127
7.2.2	Escuela Primaria Ignacio Zaragoza	127
7.2.3	Jardín de Niños Los Ángeles	128
7.2.4	Escuela Secundaria Gabino Barreda.....	129
7.2.5	Escuela Secundaria Melchor Ocampo.....	130
7.3	CHAPULCO	137
7.3.1	Escuela Primaria José María Morelos y Pavón	137
7.4	HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA	138
7.4.1	Introducción	138
7.4.2	Facultad de Medicina de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.....	138
7.5	SAN MATEO OZOLCO	140
7.5.1	Escuela Primaria Rural Federal Miguel Negrete.....	140
7.6	SANTA MARÍA LA ALTA	142
7.6.1	Escuela Primaria Ignacio Allende	142
7.7	TECAMACHALCO	143
7.7.1	Escuela Primaria Miguel Hidalgo y Costilla.....	143
CAPÍTULO 8 EDIFICIOS DE USO COMERCIAL.....		145
8.1	INTRODUCCIÓN	145
8.2	ATLIXCO.....	145
8.2.1	Arena Pública del Exconvento del Carmen.....	145
8.3	HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA	145
8.3.1	Conjunto de Edificios de Oficinas	145
8.3.2	Edificio 3 Poniente	146
8.4	TECAMACHALCO	148
8.4.1	Establecimientos en Benito Juárez y 5 Poniente	148
8.5	TEHUACÁN	150
8.5.1	Hotel Madrid	150
8.5.2	Hotel México	151
8.5.3	Cine y Sanatorio Reforma.....	151
8.5.4	Edificio Reforma y Dr. Ricardo Cacho	152
8.5.5	Edificio Reforma y 2 Oriente	153
8.5.6	Edificio Reforma 113.....	153
8.5.7	Edificios Varios	153
CAPÍTULO 9 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL SISMO EN PUEBLA, OAXACA Y ESTADOS VECINOS		155
9.1	INTRODUCCIÓN	155
9.2	ANTECEDENTES	156
9.2.1	Población y área afectada	156
9.2.2	Características de la región afectada.....	156
9.3	Estimación de los daños totales en Puebla, Oaxaca y en otros estados afectados.....	156
9.3.1	Apreciación de conjunto de los efectos directos	156
9.4	ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS TOTALES EN EL ESTADO DE PUEBLA.....	157
9.4.1	Apreciación general y primeras acciones	157
9.4.2	Sector vivienda	158
9.4.3	Infraestructura de salud y educación	160

9.4.4	Monumentos históricos e inmuebles religiosos.....	162
9.4.5	Daño a edificios públicos	163
9.4.6	Infraestructura económica	163
9.5	ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS TOTALES EN EL ESTADO DE OAXACA.....	164
9.5.1	Apreciación general y primeras acciones	164
9.5.2	Sector vivienda	165
9.5.3	Infraestructura de salud y educación	166
9.5.4	Monumentos históricos e inmuebles religiosos.....	168
9.5.6	Infraestructura económica	169
CAPÍTULO 10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		171
10.1	CONCLUSIONES	171
10.2	RECOMENDACIONES	172
ANEXO I INDICADORES SOCIALES DE LOS MUNICIPIOS AFECTADOS		175
ANEXO II FICHAS DE LEVANTAMIENTO DE DAÑO PARA MONUMENTOS HISTÓRICOS DEL INAH EN PUEBLA		181
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA		183
AGRADECIMIENTOS		185

EL SISMO DE TEHUACÁN DEL 15 DE JUNIO DE 1999

RESUMEN

El 15 de junio de 1999 a las 15:41:06 h ocurrió un sismo de magnitud Mw 7.0, con epicentro al suroeste de la ciudad de Tehuacán, Puebla. El sismo tuvo efectos en un amplio radio geográfico que incluye siete estados de la República. Ocasionó algunas pérdidas de vidas humanas. El número de personas damnificadas que debieron refugiarse en albergues fue también moderado, y debieron permanecer en ellos menos de tres días. Los daños totales, valorados fundamentalmente a costo de reposición, ascendieron a algo más de 1.4 millardos de pesos (alrededor de 150 millones de dólares). Más de tres cuartas partes de los daños totales se concentraron en el estado de Puebla, el 15 por ciento de los mismos en Oaxaca y el siete por ciento restante en cinco estados -Morelos, México, Tlaxcala, Veracruz y Guerrero-.

Los efectos destructivos más relevantes se registraron en monumentos históricos, viviendas, escuelas y hospitales. También hubo ciertos daños en carreteras, puentes y líneas vitales. La actividad económica no resultó severamente afectada, salvo la actividad comercial, sobre todo la de pequeños establecimientos. Prácticamente no se registraron daños en la agricultura. Lo anterior hizo que las pérdidas indirectas - producción de bienes y servicios que dejó de generarse por efectos del sismo- hayan sido relativamente pequeñas.

En este informe se presenta de manera resumida las características sismológicas del evento, su impacto económico y las primeras medidas adoptadas por las autoridades para enfrentar sus efectos. Se describen las conclusiones derivadas de visitas a las zonas afectadas de los Estados de Puebla y Oaxaca, relativas al comportamiento de suelos y cimentaciones, líneas vitales, escuelas, viviendas, monumentos históricos y edificios públicos. Finalmente, se presentan las principales conclusiones y recomendaciones que se derivan.

ABSTRACT

On June 15, 1999 at 15:41:06 h, a magnitude Mw 7.0 earthquake occurred with its epicenter located southwest from the city of Tehuacán, Puebla. The earthquake affected a wide geographical area, including seven states. Few casualties were recorded. A moderate number of people had to stay in shelters, but only for less than three days. Total damages valued mainly at replacement costs amounted for a little over 1.4 billion pesos (approximately 150 million dollars). Three-quarters of total damage occurred in the State of Puebla, 15 percent in the State of Oaxaca and only the remaining seven percent in the States of Morelos, México, Tlaxcala, Veracruz and Guerrero.

Historical monuments, dwellings, hospitals and schools were mostly impacted. Some damages were also experienced in roads, bridges and lifelines. The economic activities were not severely impaired, with the exception of trade, especially that of small shops. Agriculture practically did not suffered.

This report summarizes the seismological characteristics of the event, its economic impact and the emergency measures adopted by the authorities. Observations made during several visits to the affected region of Puebla and Oaxaca on the behavior of soils and foundations, lifelines, schools, dwellings, historical monuments and commercial buildings are described. Finally, the conclusions and recommendations derived are presented.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El Servicio Sismológico Nacional (SSN) informó de la ocurrencia de un sismo de magnitud M 6.7 (Mw 7.0) el pasado 15 de junio de 1999 a las 15:41:06 hrs. (Hora local). De acuerdo con el propio SSN las coordenadas focales fueron latitud 18.20°N, longitud 97.47°O y una profundidad de 60 a 80 km. El epicentro se ubica aproximadamente a 20 km al sur-suroeste de la ciudad de Tehuacán, Puebla y también a unos 55 km al noreste de la ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca, donde se registró un temblor de magnitud Mw 7.0 el 24 de octubre de 1980.

El temblor produjo intensidades de moderadas a altas en el epicentro, causando daños de consideración en algunas ciudades y poblados del sur de Puebla y norte de Oaxaca; y en mucho menor medida, en el sur de Morelos y en los estados de Tlaxcala, México, Veracruz y Guerrero. En otras partes los daños fueron muy ligeros.

Dada la extensa área geográfica en que se sintió el fenómeno, se vio afectado un gran número de edificaciones, principalmente iglesias, muchas de ellas consideradas importantes desde el punto de vista del patrimonio colonial cultural de la nación. En efecto, esta región es rica en iglesias, conventos y palacios construidos entre los siglos XVI y XIX, de los cuales más de 1,300 sufrieron daños, exacerbados en algunos casos, por la falta de mantenimiento. Algunos edificios padecían aún de los daños ocasionados en ellos por los sismos de 1973 y 1980. La valorización de estas pérdidas plantea problemas que requieren de consideraciones que van más allá de su mero valor constructivo.

El sismo destruyó o afectó seriamente un número apreciable de viviendas, escuelas, algunos centros de salud y un cierto número de edificios públicos. Los daños más significativos se registraron en las casas de adobe, aunque también se registraron daños importantes en un buen número de edificios de más de un piso, básicamente debido a prácticas constructivas inadecuadas. De acuerdo con el tipo de estructuras que se dañaron, parece ser que las que resintieron en mayor medida fueron estructuras rígidas, generalmente de poca altura.

No fue posible incluir los efectos indirectos, es decir los que tuvieron lugar en la producción de bienes y servicios durante el período de rehabilitación. Sin embargo, se piensa que estos no fueron de consideración ya que los daños en la infraestructura productiva fueron mínimos.

1.2 OBJETIVOS Y ALCANCE

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 Puebla, Morelos y Oaxaca que presentaron diversos niveles de daño después del sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999. El interés se concentró en la determinación del estado de las estructuras en dichos sitios después de la ocurrencia del sismo.

Las localidades visitadas, en orden alfabético, fueron las siguientes: Amozoc de Mota, Atlixco, Chapulco, Cholula de Rivadabia, Ciudad Serdán, Heroica Puebla de Zaragoza, San Andrés Cholula, San Francisco Acatepec, San Gregorio Zacapecpan, San Mateo Ozolco, Nochtitlán, San Nicolás de los Ranchos, San Pablo de las Tunas, San Pedro Yancuictlalpan, Santa María la Alta, Tecamachalco, Tehuacán, Tepeaca y Tlacotepec de Benito Juárez en el estado de Puebla; así como los poblados de El Salitre y San Juan

Ahuehuevo en el estado de Morelos. En la fig. 1.1 se muestra la ubicación de algunas de estas poblaciones en un plano regional de los estados de Puebla y Morelos. En lo que sigue, las poblaciones se presentan en orden alfabético, sin importar al estado de la República al que pertenecen.

Con la presente investigación relativa al sismo mencionado, el CENAPRED comienza a introducir el tema de la valuación del impacto económico de los desastres. Para ello se utilizó la metodología desarrollada por la Comisión Económica para América Latina de la Organización de Naciones Unidas (CEPAL). Se contó para este trabajo con el apoyo temporal de un experto de la CEPAL (D. Bitrán, uno de los autores de este trabajo).

Cabe aclarar que el informe no puede considerarse exhaustivo en cuanto a la recopilación de estructuras dañadas. Por una parte, no se visitaron algunas de las poblaciones donde se han reportado daños, sobre todo las ubicadas en zonas poco accesibles y en especial, en los estados de Oaxaca, Veracruz y Morelos; por otra, en las ciudades visitadas, sólo se evaluaron las edificaciones más importantes y las que eran de particular interés para las autoridades locales y federales. Aun con esas limitaciones se considera que el informe presenta un panorama representativo de los efectos del sismo y permite extraer las principales lecciones para fines de protección civil.

Con objeto de ubicar al lector en el contexto geográfico y cultural de la región, a continuación se describen, de manera muy general, algunas de las poblaciones visitadas. En algunas ciudades se contó con un plano urbano, lo que facilitó la localización de las estructuras con daño. En otras poblaciones fue posible hacer un levantamiento aproximado de la traza urbana para ubicar las estructuras visitadas. Dentro de las descripciones de las poblaciones se incluyen algunos planos que permiten ubicar las estructuras visitadas con mayor precisión. Se presentan planos de las ciudades de Atlixco, Puebla y del poblado de San Mateo Ozolco, uno de los más afectados por el sismo de Tehuacán.

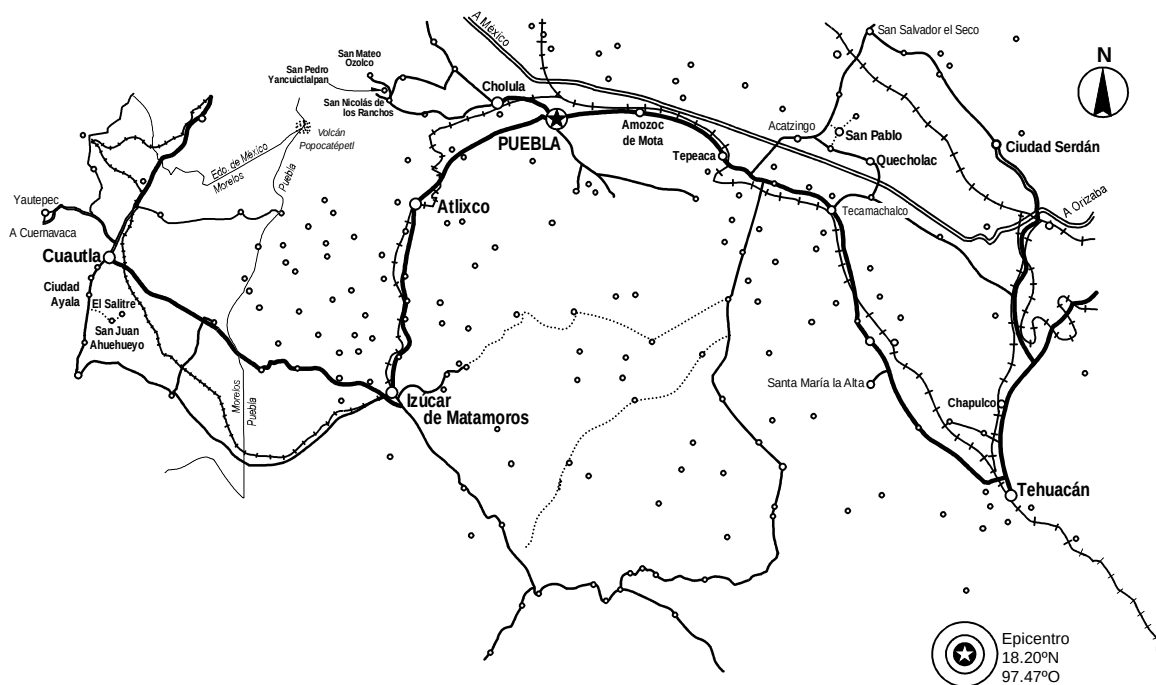


Figura 1.1 - Localización de algunas poblaciones visitadas

1.2.1 Amozoc de Mota

Amozoc de Mota es una cabecera municipal que se encuentra a unos 20 km al oriente de la ciudad de Puebla, en el municipio de Amozoc. Se trata de un antiguo asentamiento nahua en la parte firme de una cordillera baja, lo que dio origen a su nombre, que significa *donde no hay lodo*. El pueblo es famoso por su producción de cerámica y de objetos de metalistería fina, como estribos, machetes y dagas. Todas las estructuras evaluadas en Amozoc corresponden a la categoría de monumentos históricos. Se visitaron la Parroquia de la Asunción, el Convento de Amozoc, y las Iglesias de San Antonio de Padua, de la Purísima Concepción, del Barrio de la Preciosa, del Barrio de San Andrés las Vegas, de Santa Cruz Calera, del Barrio de San Juan del Santo Ángel, de San José Victoria, de la Sagrada Familia y del San Salvador Tepalcayuca.

1.2.2 Atlixco

La ciudad de Atlixco se encuentra en el norponiente del estado de Puebla, en el municipio del mismo nombre. Es una de las concentraciones más importantes del estado por su relevancia industrial y turística. Durante la visita a Atlixco, se contó con el apoyo de la Coordinación Municipal de Protección Civil, que sugirió la asistencia a los lugares que habían exhibido mayores daños.

De acuerdo con la propuesta de la Coordinación, se realizó un recorrido que comprendió el Exconvento del Carmen, la Parroquia de Santa María de la Natividad, el Palacio Municipal, dos viviendas en el primer cuadro de la ciudad, la Unidad Habitacional Infonavit Atlixco, la Escuela Primaria Ignacio Zaragoza, el Jardín de Niños Los Ángeles, la Escuela Secundaria Gabino Barreda y la Escuela Secundaria Melchor Ocampo. En la fig. 1.2 se muestra un plano general de Atlixco en el que se ubican las estructuras que fueron revisadas.

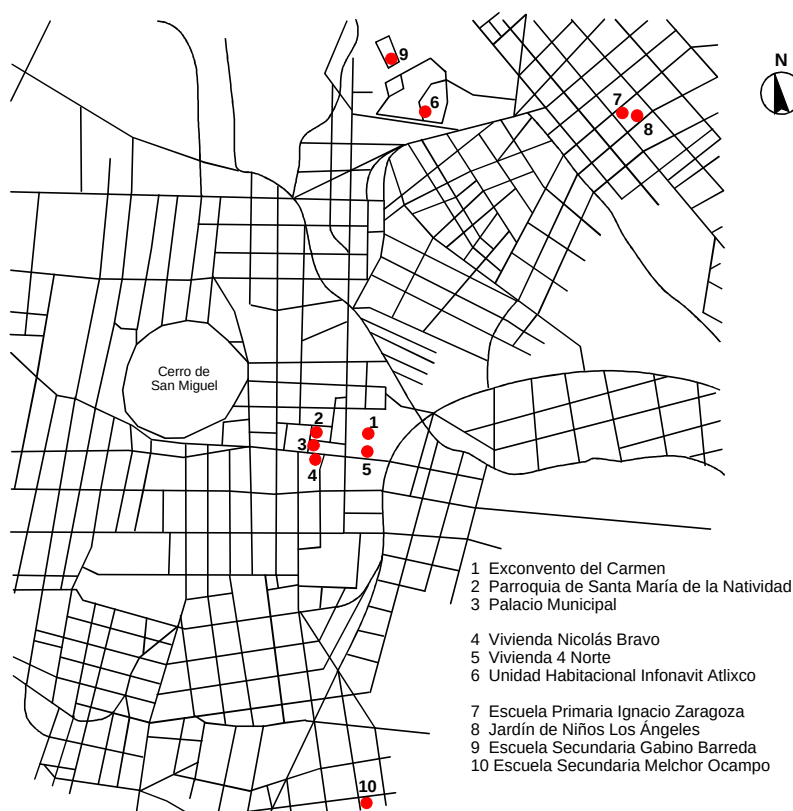


Figura 1.2 - Localización de las edificaciones visitadas en la ciudad de Atlixco

1.2.3 Chapulco

Se trata de una población rural del municipio del mismo nombre que se ubica a unos 20 km al norte de la ciudad de Tehuacán. En este poblado se visitaron dos estructuras con daño: la Iglesia de Chapulco y la Escuela Primaria José María Morelos y Pavón. El resto de las estructuras, dedicadas en su mayoría a vivienda, no presentó daño después del sismo del 15 de junio de 1999.

1.2.4 Cholula de Rivadabia

Comúnmente conocida como San Pedro Cholula, esta población se localiza al poniente de la ciudad de Puebla. Cholula de Rivadabia es la cabecera del municipio de San Pedro Cholula. La importancia de esta concentración radica en sus atractivos turísticos y artesanales. El sismo de Tehuacán provocó daños en algunos monumentos históricos. Únicamente se visitó la Capilla Real.

1.2.5 Ciudad Serdán

Esta concentración urbana se localiza a unos 80 km al oriente de la ciudad de Puebla; es la cabecera del municipio de Chalchicomula de Sesma, cerca del límite con el estado de Veracruz. Entre las actividades que se desarrollan en la zona están la agricultura, la ganadería y el comercio. En Ciudad Serdán se visitaron diversos monumentos históricos como la Iglesia de Cosamaloapan, la Iglesia del Sagrado Corazón de Jesús, la Iglesia de San Francisco, la Parroquia del Padre Jesús, la Iglesia de Dolores y la Iglesia de Guadalupe. Adicionalmente, se evaluaron algunas viviendas de la Unidad Habitacional Infonavit Anaxa.

1.2.6 El Salitre

En atención a una solicitud de la Coordinación Estatal de Protección Civil del Estado de Morelos, se revisaron algunas viviendas de adobe y mampostería en el poblado de El Salitre. Esta población rural de menos de un millar de habitantes, se encuentra en el municipio de Ayala, cerca del límite entre los estados de Morelos y Puebla, a unos 15 km al sur de la ciudad de Cuautla, Morelos.

1.2.7 Heroica Puebla de Zaragoza

La ciudad de Puebla se localiza al norte del estado y municipio del mismo nombre, en la región central de la República Mexicana. En una de las concentraciones urbanas más antiguas de nuestro país, usada como punto de descanso y reabastecimiento en los viajes entre la ciudad de México y la de Veracruz durante los siglos XVI a XVII. Actualmente reúne a más de un millón de habitantes en uno de los polos de desarrollo económico, industrial y turístico más relevantes de México.

Después del sismo del 15 de junio de 1999, se hicieron tres visitas a la ciudad de Puebla. En ellas, por instrucciones de la Coordinación General de Protección Civil, se visitaron estructuras que habían resultado particularmente dañadas por el movimiento. La primera visita contempló once puntos de la ciudad: el Edificio Carolino, la Iglesia de la Compañía, el Palacio Municipal, el Museo Universitario o Casa de los Muñecos, la Iglesia de San Agustín, la Unidad Habitacional Infonavit Las Margaritas, la Facultad de Medicina de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, un conjunto de edificios de oficinas, un edificio en la calle 3 Poniente, un condominio en la calle 3 Oriente y la Colonia América Norte.

La segunda y tercera visitas se concentraron en estructuras hospitalarias y de vivienda. Se visitaron los hospitales San José, San Alejandro y de Traumatología y Ortopedia, todos ellos del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). Adicionalmente se acudió a la Unidad Habitacional Infonavit Amalucan. En la fig. 1.3

se muestra la ubicación de estas estructuras en un plano de la ciudad de Puebla. La numeración de las estructuras corresponde al orden en que se presentarán en este documento.

1.2.8 San Andrés Cholula

San Andrés Cholula se localiza al poniente de la ciudad de Puebla, en el municipio que lleva su nombre. En la actualidad, prácticamente forma parte de la zona conurbada de la ciudad de Puebla. La importancia de esta concentración radica en sus atractivos turísticos y artesanales. Esta población y otras como Cholula de Rivadavia (San Pedro Cholula), que integran la ciudad de Cholula, están entre los asentamientos más antiguos del país. En Cholula destacan cerca de 40 iglesias construidas en el perímetro de la mancha urbana y la Gran Pirámide de la zona arqueológica, considerada como el monumento prehispánico más grande construido en Mesoamérica.

El sismo de Tehuacán provocó daños sólo en algunos monumentos históricos. En San Andrés Cholula se visitaron la Iglesia de Nuestra Señora de los Remedios y la Iglesia de San Andrés.

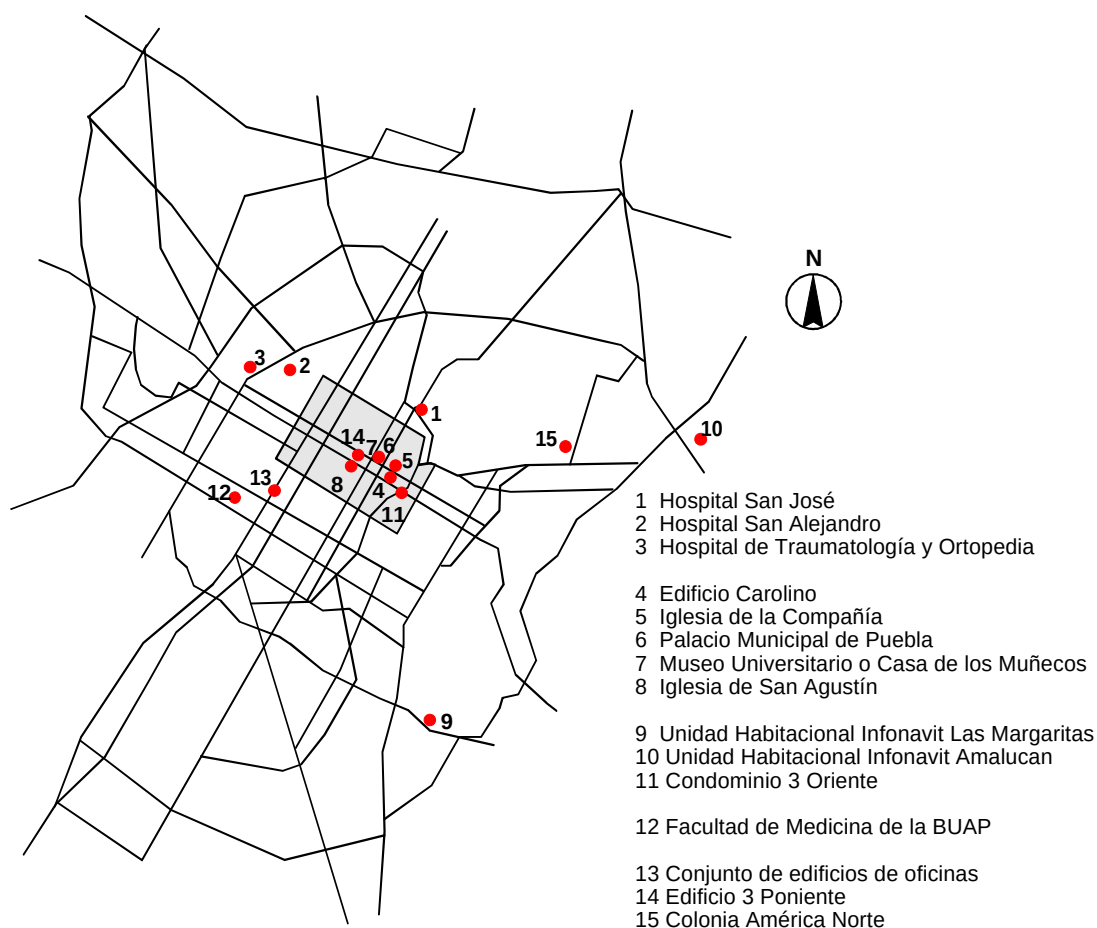


Figura 1.3 - Localización de las edificaciones visitadas en la ciudad de Puebla

1.2.9 San Francisco Acatepec

San Francisco Acatepec se localiza en la parte oriental del estado de Puebla, a 13 km de la ciudad de Puebla por la carretera federal a Atlixco y a 20 km por la recta a Cholula. Esta pequeña población del municipio de San Andrés Cholula se reconoce por poseer una soberbia iglesia de estilo barroco mexicano. Se trata de una concentración rural cuyas construcciones están estructuradas mediante muros de mampostería de tabique de barro y de bloque de concreto, que en ocasiones se confinan, y mediante losas de concreto o techos de teja de barro. Durante el breve recorrido realizado, no se detectaron daños en estas estructuras. La única edificación evaluada fue la Iglesia de San Francisco.

1.2.10 San Gregorio Zacapechpan

Esta población se localiza en la parte oriental del estado de Puebla, en el municipio de San Pedro Cholula. Al igual que otras poblaciones de la zona, la mayor parte de las construcciones están compuestas por muros de mampostería de tabique de barro o bloque de concreto, algunas veces confinados mediante elementos de concreto. El sistema de techo que se usa más frecuentemente es la losa de concreto o a base de teja de barro. Durante el breve recorrido realizado, no se detectaron daños. La única construcción visitada fue la Iglesia de San Gregorio.

1.2.11 San Juan Ahuehuevo

San Juan Ahuehuevo es una población rural del estado de Morelos, localizada a unos 12 km al sur de la ciudad de Cuautla, cerca del poblado de Anenecuilco. La mayoría de las estructuras de esta población, perteneciente al municipio de Ayala, está destinada a vivienda y construida con mampostería confinada y no confinada, tanto de adobe como de tabique de barro recocido y bloque de concreto. En atención a una solicitud de la Coordinación Estatal de Protección Civil del Estado de Morelos se visitó una casa de adobe que resultó dañada.

1.2.12 San Mateo Ozolco

San Mateo Ozolco es, según testimonio de un regidor, una población de alrededor de 3800 habitantes que se encuentra en el municipio de Calpan, en el extremo oriente del Parque Nacional Izta-Popo. Su nombre significa *camino viejo*. A este lugar se accede por la carretera hacia San Nicolás de los Ranchos, aproximadamente a dos horas de camino de la ciudad de Puebla. Este poblado fue uno de los más dañados por el sismo de Tehuacán. El recorrido por San Mateo Ozolco contempló la revisión de algunas viviendas, una escuela primaria y la iglesia. A pesar de no contar con un mapa de la población, se hizo un levantamiento general del lugar. En la fig. 1.4 se muestra un plano general de San Mateo Ozolco. En ésta se ubican esquemáticamente algunas de las viviendas que presentaron daño y que fueron visitadas durante el recorrido.

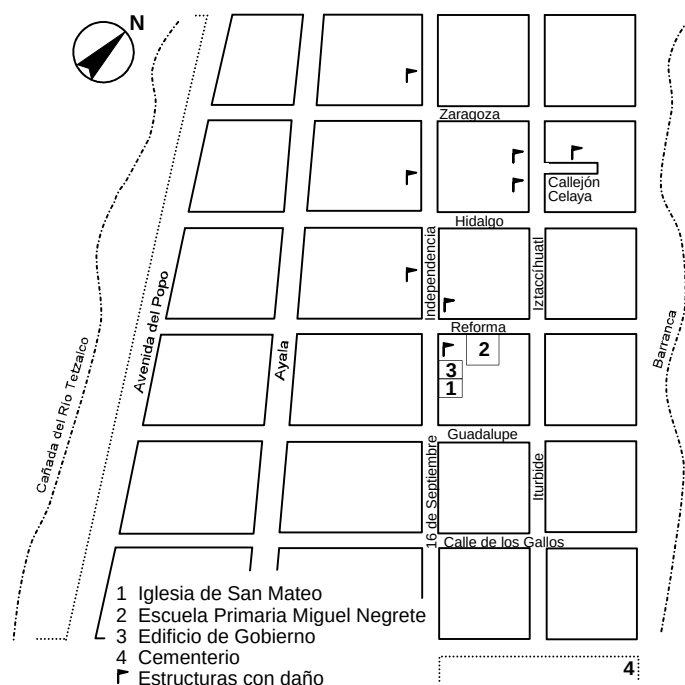


Figura 1.4 - Localización de las edificaciones visitadas en San Mateo Ozolco

1.2.13 San Nicolás de los Ranchos

San Nicolás de los Ranchos es una población rural localizada a unos 40 km al oriente de la ciudad de Puebla, en dirección hacia los volcanes Popocatepétl e Iztaccíhuatl. Es la cabecera del municipio de San Nicolás de los Ranchos. La mayoría de las construcciones está destinada a vivienda y construida mediante muros de mampostería, tanto de adobe y tabique de barro recocido, como de bloques de concreto. En el recorrido que se hizo por el lugar, no se detectaron construcciones con daño.

1.2.14 San Pablo de las Tunas

San Pablo de las Tunas es un poblado rural ubicado a unos 55 km al oriente de la ciudad de Puebla. Es la cabecera del municipio General Felipe Ángeles. La mayoría de las construcciones, destinada a vivienda, no presentó daños. En este poblado se visitó la Iglesia de San Pablo.

1.2.15 San Pedro Yancuictlalpan

La población de San Pedro Yancuictlalpan se localiza en el municipio de San Nicolás de los Ranchos, a unos 40 km al poniente de la ciudad de Puebla, muy cerca del poblado de San Nicolás de los Ranchos. Este poblado se encuentra en el camino hacia San Mateo Ozolco, una de las poblaciones con mayor daño a raíz del sismo de Tehuacán.

La mayor parte de las edificaciones de San Pedro Yancuictlalpan es de uno o dos niveles, estructurada a base de muros de adobe o de mampostería de tabique de barro recocido y bloque de concreto, en algunos casos, confinados mediante pequeños elementos de concreto reforzado. No se observaron daños evidentes en estas estructuras. El único daño evidente en esta localidad se concentró en la Iglesia de San Pedro.

1.2.16 Santa María la Alta

A esta población rural se llega por la carretera federal Puebla-Tehuacán, a unos 100 km de la ciudad de Puebla, en el municipio de Tlacotepec de Benito Juárez. La mayoría de las construcciones del lugar está destinada a vivienda y construida a base de muros de mampostería, ya sea de tabique de barro recocido o de bloque de concreto, con sistemas de techo a base de losas de concreto o de tejas de barro apoyadas en una retícula de rollizos y vigas de madera. No se observaron daños en estructuras de este tipo. Sólo la Iglesia de María Concepción y la Escuela Primaria Ignacio Allende resultaron dañadas.

1.2.17 Tecamachalco

Tecamachalco se localiza a unos 80 km al sureste de la ciudad de Puebla, siendo el comienzo de un corredor avícola de importancia nacional. Es un asentamiento urbano, cabecera del municipio del mismo nombre, que es reconocido por sus atracciones turísticas. En Tecamachalco se visitaron dos monumentos históricos (el Exconvento Franciscano y la Parroquia de Nuestra Señora de la Asunción), la Escuela Primaria Miguel Hidalgo y Costilla y diversos locales comerciales alrededor de las calles Benito Juárez y 5 Poniente.

1.2.18 Tehuacán

La ciudad de Tehuacán se localiza al sureste del estado de Puebla. Es la cabecera del municipio de Tehuacán. Se trata de la segunda ciudad en importancia de la entidad, tanto por sus atractivos turísticos como su desarrollo comercial. Es la concentración urbana más grande cercana al epicentro. En este centro urbano se visitaron hospitales, monumentos históricos, edificios de vivienda y comercios. Las estructuras evaluadas fueron la Unidad Hospitalaria Tehuacán, la Iglesia del Calvario, la Iglesia de San Francisco, el Exconvento de la Inmaculada Concepción, la Catedral de Tehuacán, la Iglesia del Carmen, los hoteles Madrid y México, el Cine y Sanatorio Reforma; así como diversos establecimientos comerciales sobre la calle Reforma.

1.2.19 Tepeaca

A unos 35 km de la ciudad de Puebla, en dirección de Tehuacán, se encuentra Tepeaca. Esta población es cabecera del municipio del mismo nombre. Desde tiempos de la conquista se le reconoce como un punto estratégico en el camino entre el centro del país y las costas del Golfo. Actualmente es reconocida por sus imponentes estructuras coloniales, principales atractivos turísticos. Todas las estructuras visitadas en Tepeaca pertenecen a la categoría de monumentos históricos. Se recorrieron la Parroquia de San Francisco de Asís, el Exconvento y Capilla San Francisco, la Iglesia de Santa Apolonia y la Iglesia del Calvario.

1.2.20 Tlacotepec de Benito Juárez

En la carretera de la ciudad de Puebla hacia la de Tehuacán, a unos 75 km de la primera, se encuentra Tlacotepec de Benito Juárez, cabecera del municipio del mismo nombre. Se trata de una pequeña concentración urbana dedicada fundamentalmente al comercio y a la agricultura. Sólo dos edificios históricos resultaron dañados por el sismo, la Iglesia de la Santa Cruz y la Iglesia del Calvario.

1.3 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

Este documento presenta las observaciones realizadas durante los recorridos y las recomendaciones del CENAPRED a la Coordinación General de Protección Civil. En cada caso se incluye una breve descripción de la estructura, de los daños que exhibe y de las acciones que se recomienda ejecutar.

El capítulo 2 presenta los aspectos sismológicos del temblor del 15 de junio. Se incluye información sobre el evento principal, sus réplicas y el mecanismo focal asociado. También se presentan algunos registros obtenidos por la Red de Observación Sísmica del CENAPRED.

El capítulo 3 se refiere a los problemas geotécnicos reportados a raíz del sismo de Tehuacán. Se tratan temas como formación de fallas superficiales y desplazamiento de taludes. El capítulo 4 trata lo referente a líneas vitales. En él se presentan datos sobre el desempeño de conducciones de agua y drenaje, gas, energía eléctrica, comunicaciones, ferrocarriles, aeropuertos y hospitales.

Los capítulos 5, 6, 7 y 8 presentan los casos particulares de estructuras visitadas durante los recorridos. El capítulo 5 presenta los monumentos históricos, principalmente iglesias, conventos y palacios. El capítulo 6 se refiere a estructuras destinadas a vivienda. El capítulo 7 resume los casos de escuelas e instituciones educativas y el capítulo 8 presenta las estructuras de uso comercial. La presentación de las estructuras se hace siguiendo el orden en que fueron visitadas, después de ordenar alfabéticamente las poblaciones recorridas.

En el capítulo 9 se hace una evaluación del impacto económico del sismo principalmente sobre los estados de Puebla y Oaxaca, y de manera muy sucinta en los estados de Guerrero, México, Morelos, Tlaxcala y Veracruz.

En el capítulo 10 se presentan las conclusiones y recomendaciones al Sistema Nacional de Protección Civil.

CAPÍTULO 2

SISMOLOGÍA

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan algunos aspectos sismológicos del temblor de Tehuacán del 15 de junio de 1999. Se hace una breve revisión histórica de la sismicidad de la zona, así como de las características del evento principal y de sus réplicas. Este capítulo está basado en el informe preliminar preparado por los grupos de sismología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) después del sismo de Tehuacán, con información disponible hasta el 24 de junio.

2.2 EVENTO PRINCIPAL Y RÉPLICAS

Como bien se sabe, los sismos de profundidad media y de fallamiento normal en la zona de subducción de la Placa de Cocos bajo la de Norteamérica han causado daños a diversas ciudades y poblados del altiplano mexicano. Ejemplos de lo anterior son los sismos del 15 de enero de 1931 (M 7.8), del 28 de agosto de 1973 (Mw 7.0) y el del 24 de octubre de 1980 (Mw 7.0), que provocaron daños en los estados de Oaxaca, Puebla y Veracruz. De acuerdo con Singh et al. (1999), desde 1864 hasta la fecha se han presentado diez sismos con magnitud mayor a 6.5 en la región epicentral del sismo de Tehuacán (tabla 2.1). Se puede afirmar, entonces, que el período de retorno medio de temblores de magnitud mayor a 6.5 en la zona es de 20 a 30 años.

Tabla 2.1 - Historia sismológica de la región (Singh et al. 1999)

Fecha	Latitud, °N	Longitud, °O	Profundidad, km	Magnitud
Octubre 3, 1864	18.70	97.40	-	7.3
Mayo 17, 1879	18.60	98.00	-	7.0
Febrero 10, 1928	18.26	97.99	84	6.5
Enero 15, 1931	16.34	96.87	40	7.8
Julio 26, 1937	18.48	96.08	85	7.3
Octubre 11, 1945	18.32	97.65	95	6.5
Mayo 24, 1959	17.72	97.72	80	6.8
Agosto 28, 1973	18.30	96.53	84	7.0
Octubre 24, 1980	18.03	98.27	65	7.0

El pasado 15 de junio de 1999, un temblor de magnitud Richter Ms 6.5 (Mw 7.0) se sintió en la misma área en que se registró el temblor de Huajuapán de León del 24 de octubre de 1980. El epicentro se ubicó en 18.20°N y 97.47°O, con una profundidad de 60 a 80 km. La ciudad más próxima al epicentro fue Tehuacán. El sismo fue registrado por la red del Servicio Sismológico Nacional del Instituto de Geofísica de la UNAM y por algunas estaciones de las redes acelerográficas que actualmente operan en el centro y sur de la República.

El estudio de los sismogramas registrados en Ciudad Serdán, a unos 85 km del epicentro, permite afirmar que las réplicas fueron muy pequeñas, tanto en magnitud como en número. En la semana que siguió al sismo se registraron 33 eventos con magnitud 2.3 a 3.7. Este comportamiento no es inusual en los sismos de mediana profundidad de la zona. En efecto, se sabe que el sismo del 28 de agosto 1973 (Mw 7.0, H=84 km) tuvo pocas réplicas. Sin embargo, el comportamiento anterior no siempre ha sido igual; en los nueve días

siguientes al sismo del 24 de octubre de 1980 (M_w 7.0, $H=65$ km), se registraron cerca de 900 réplicas, 300 de las cuales pudieron ser localizadas.

Singh et al. (1999) han considerado que hubo directividad del movimiento a partir de la fuente hacia el noroeste. Esto significa que la propagación del movimiento siguió este rumbo. La ocurrencia de la directividad del movimiento no se asocia, por lo general, con la ocurrencia de mayores daños (mayor intensidad) en ese mismo rumbo. Sin embargo, como se verá más adelante, las isosistas (curvas de igual intensidad) de este evento sugieren una directividad de la intensidad con rumbo NO-SE.

En la fig. 2.1 se presenta un mapa con curvas de igual aceleración máxima del terreno (curvas de isoaceleración), obtenido por Singh et al. (1999) y en la fig. 2.2 se muestra el mapa de isosistas de la región cercana al epicentro obtenido por Gutiérrez (1999). Es claro el parecido en la forma de las curvas de ambos mapas, lo que indica que mapas de isoaceleración obtenidos a partir de registros instrumentales inmediatamente después de un evento pueden ser útiles para establecer, preliminarmente, las zonas de mayor intensidad. La forma de las curvas en el mapa de la fig. 2.2, alargadas hacia el NO-SE, sugiere directividad de la intensidad adicional a la del movimiento.

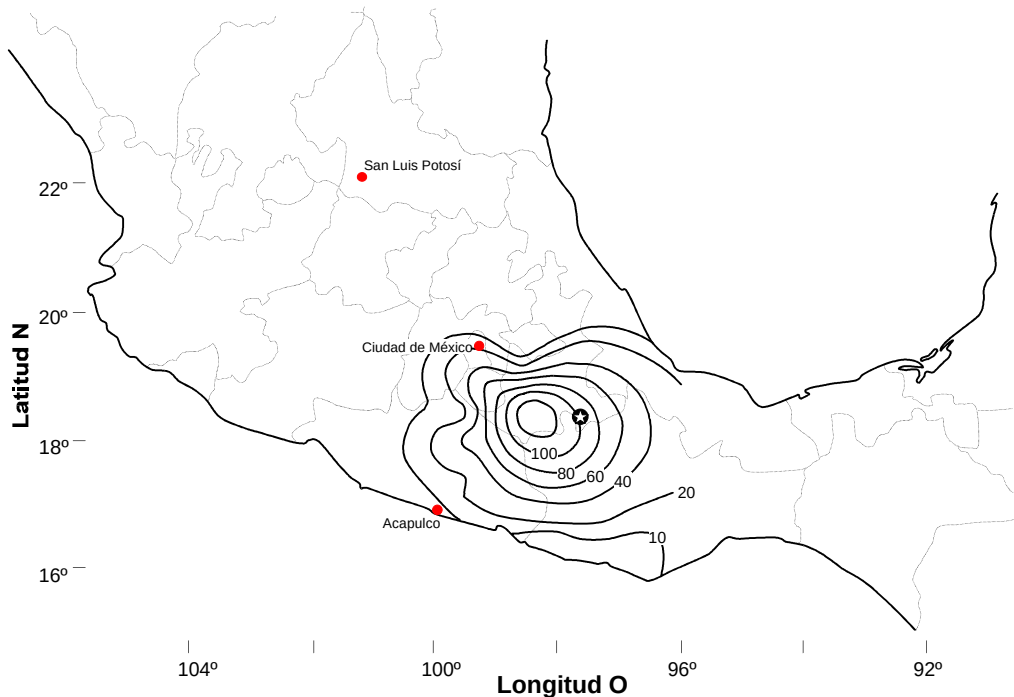


Figura 2.1 - Mapa de curvas de igual aceleración, cm/s^2 (Singh et al., 1999)

2.3 ATENUACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL TERRENO

Por lo que se refiere a la atenuación de la perturbación sísmica, debe señalarse que se conocen razonablemente las relaciones de atenuación para los sismos relativamente someros que se generan por la subducción a lo largo de la costa del Pacífico, mismos que inducen intensidades altas en el valle de México. Por el contrario, no se cuenta con ese tipo de relaciones para sismos mexicanos de mediana profundidad y tierra adentro, como el de Tehuacán. Cuando se grafican los datos disponibles para este sismo y se comparan con leyes de atenuación para sismos costeros de magnitud similar, se concluye que los eventos sísmicos por falla normal (como el de Tehuacán) provocan aceleraciones máximas más altas, a igual distancia, que los eventos sísmicos relativamente superficiales (como los de costa).

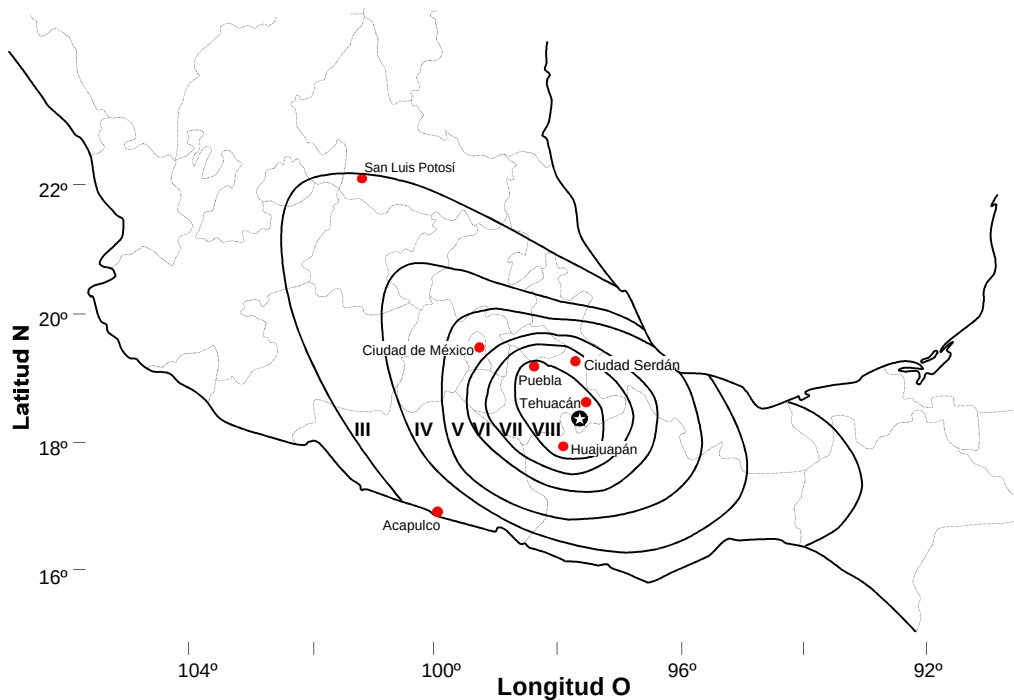


Figura 2.2 - Mapa de isosistas por el sismo de Tehuacán (Gutiérrez, 1999)

Otro aspecto que vale la pena destacar es que aun para distancias focales medias en formaciones rocosas, por el sismo de Tehuacán se registraron aceleraciones máximas relativamente más altas en la dirección vertical, que las que usualmente están relacionadas con los frecuentes sismos provenientes de la costa del Pacífico.

Sin duda, la alta componente de aceleración en la dirección vertical asociada a sismos con mecanismos relativamente profundos, tierra adentro de la zona de subducción en nuestro país, debe ser un aspecto de consideración importante para definir los movimientos de entrada en el análisis sísmico de la estructura y cimentación de las edificaciones de la región.

2.4 REGISTROS ACELEROGRÁFICOS

El sismo de Tehuacán fue registrado por diversas redes de estaciones acelerográficas, administradas por diferentes instituciones, como son las de los Institutos de Ingeniería y Geofísica de la UNAM, la Red de Observación Sísmica del CENAPRED y la Red de Acelerógrafos de la Ciudad de Puebla de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Una descripción de la Red de Observación Sísmica del CENAPRED se puede consultar en López et al. (1999).

De acuerdo con los registros obtenidos en la ciudad de Puebla, la máxima aceleración del terreno se presentó en la estación ubicada en el Parque Habana de la colonia América Norte. En esta estación se registraron aceleraciones de hasta 279 cm/s^2 en dirección NS y de hasta 104.5 cm/s^2 en la dirección EO. De acuerdo con informes del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, esta colonia se encuentra desplantada sobre depósitos aluviales. Como se ha observado en otros sismos, las demandas sísmicas en este tipo de zonas se ven incrementadas por la presencia de depósitos blandos.

La diferencia de magnitudes de las máximas aceleraciones del terreno en direcciones ortogonales es atípica. No se tienen antecedentes de una diferencia tan grande entre las dos componentes ortogonales de un sismo. Es obvia la necesidad de estudiar las razones de esa diferencia, ya que no es del todo creíble que sólo se pueda atribuir a amplificaciones del sustrato de origen aluvial.

En la fig. 2.3 se muestran los espectros de respuesta para pseudoaceleraciones y desplazamientos obtenidos para el registro medido en la estación Parque Habana (Ordaz, 1999). Igualmente, la diferencia de las amplitudes (pseudoaceleración y desplazamiento) para un mismo periodo es anómala. La relación de máximas amplitudes entre las componentes NS y EO es del orden de 3 y 5 para pseudoaceleraciones y desplazamientos, respectivamente. Esto significa que, para una estructura con periodo fundamental de vibración de 1 s, por ejemplo, y que permanezca elástica, la máxima respuesta en aceleración y desplazamiento en la dirección NS sería 5 veces la esperada en la dirección EO.

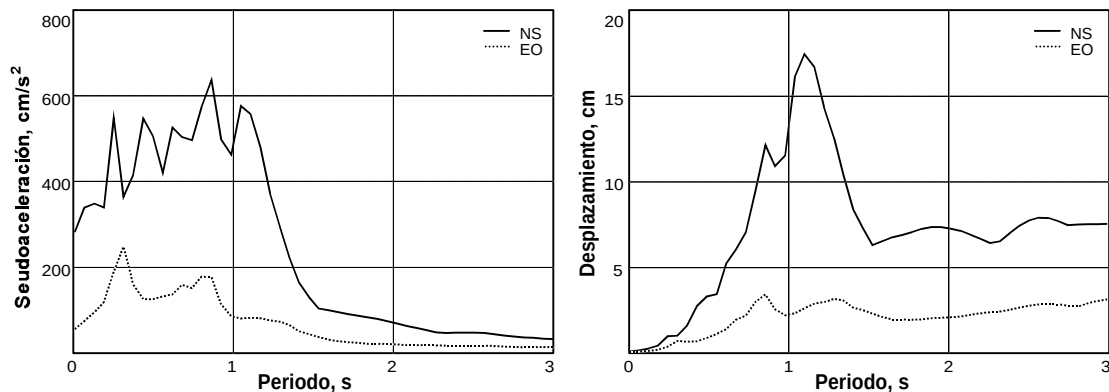


Figura 2.3 - Espectros de respuesta del registro de Parque Habana (Ordaz, 1999)

Dados los valores de aceleración registrados y con objeto de evaluar los posibles daños en la zona, se hizo un recorrido por la colonia América Norte. La zona tiene uso residencial e industrial ligero. En general, las viviendas son de uno o dos pisos, construidas hace algunas décadas. En contraste con el daño que se esperaría para un nivel de aceleraciones como el señalado, no se observó daño estructural ni daño en banquetas (fig. 2.4). Obsérvese la esbeltez de los soportes de la fuente de la fotografía que no tuvo daño.



Figura 2.4 - Acelerómetro ubicado en el Parque Habana

Por la magnitud e intensidad del movimiento en el área de cobertura de la Red de Observación Sísmica del CENAPRED, el temblor pudo ser registrado en todas las estaciones tanto de la Línea de Atenuación como de la ciudad de México. Se obtuvieron casi 30 acelerogramas de tres componentes. En general, los niveles de aceleración fueron menores a los esperados para un evento sísmico de magnitud Mw 7.0. En la ciudad de México, las máximas aceleraciones se registraron en las estaciones Zaragoza y Roma. En ellas, el suelo está compuesto por arcillas blandas de alta compresibilidad.

En las figs. 2.5 a 2.8 se presentan los registros obtenidos en diferentes tipos de suelo de la ciudad de México. Se presentan las estaciones CENAPRED (zona I), IMP (zona II) y Zaragoza y Roma A (zona III), respectivamente. Los registros del resto de las estaciones de la Red de Observación Sísmica del CENAPRED se pueden consultar en la página de Internet del propio Centro (<http://cenapred.unam.mx>). La magnitud de las aceleraciones en suelo blando fue muy similar, de alrededor de 35 cm/s^2 .

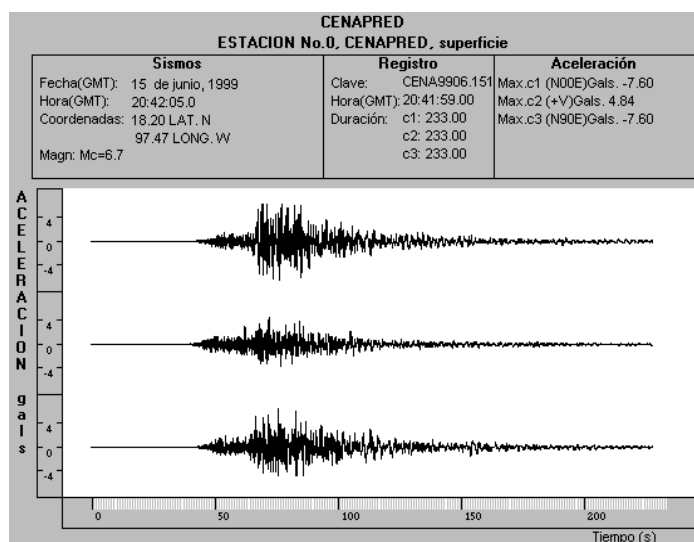


Figura 2.5 - Registro del sismo de Tehuacán en la estación CENAPRED

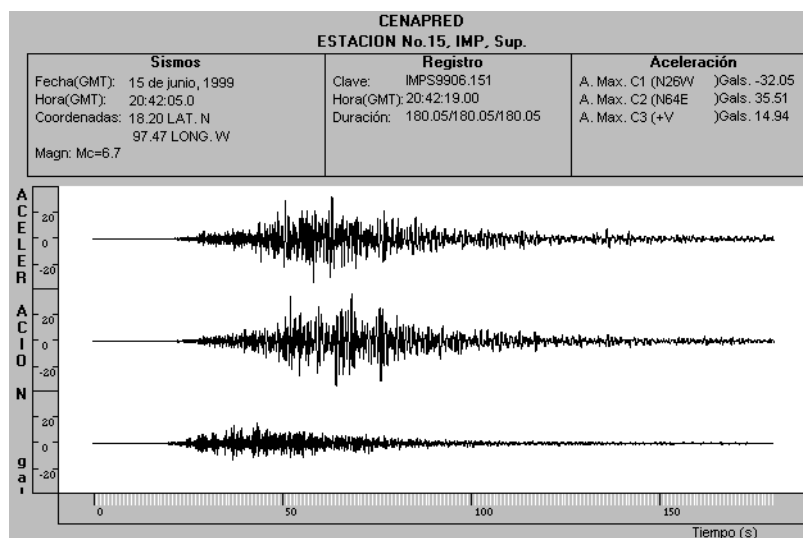


Figura 2.6 - Registro del sismo de Tehuacán en la estación IMP

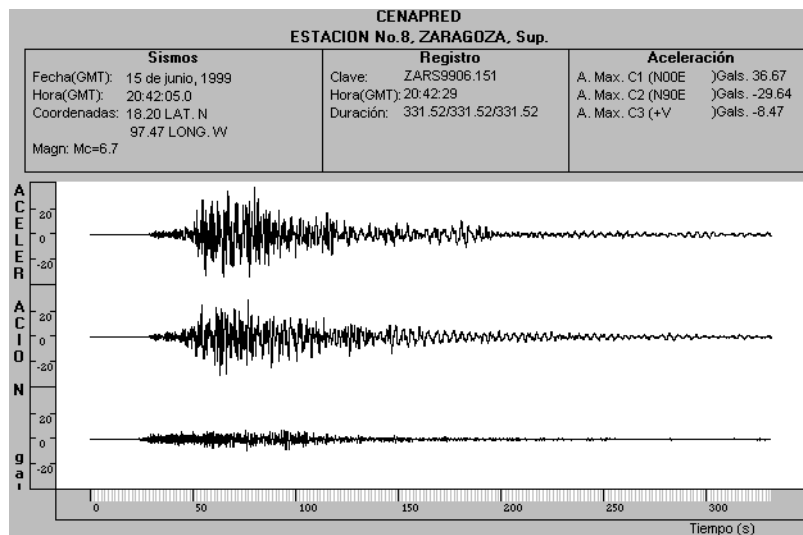


Figura 2.7 - Registro del sismo de Tehuacán en la estación Zaragoza

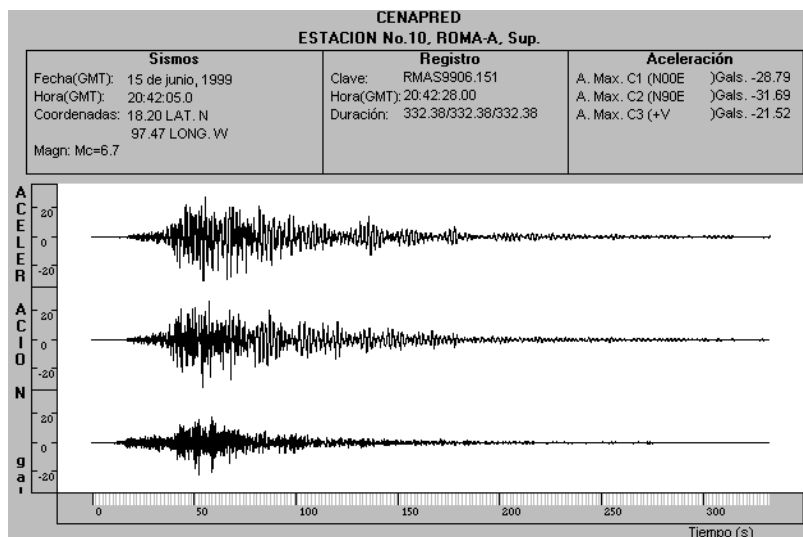


Figura 2.8 - Registro del sismo de Tehuacán en la estación Roma A

2.5 INTENSIDAD EN LA CIUDAD DE MÉXICO

La intensidad del sismo en la ciudad de México fue muy baja. En términos de daños, sólo se informó del volcamiento de una barda pequeña de mampostería; no se conocen daños mayores. No obstante, como ha ocurrido con anterioridad, fue evidente la sobrerreacción de la gente con temor a este sismo, teniendo seguramente en la memoria los acontecimientos de 1985. En la fig. 2.9 se muestran los espectros de respuesta de pseudoaceleración y desplazamiento obtenidos a partir de los registros en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) durante los sismos del 19 de septiembre de 1985 y del 15 de junio de 1999 (Ordaz, 1999). Es evidente la gran diferencia en amplitudes (pseudoaceleración y desplazamiento) para mismos periodos. Así, por ejemplo, para un periodo de 2 s, el cociente entre aceleraciones y desplazamientos en la dirección EO fue del orden de 12. Esto significa que, en estructuras con periodos fundamentales de vibración de alrededor de

2 s (entre 15 y 20 pisos, por ejemplo), la respuesta máxima esperada en el sismo de Tehuacán fue 12 veces menor que la experimentada en 1985. Si bien los valores de los cocientes varían con el periodo (fig. 2.10), las conclusiones son las mismas.

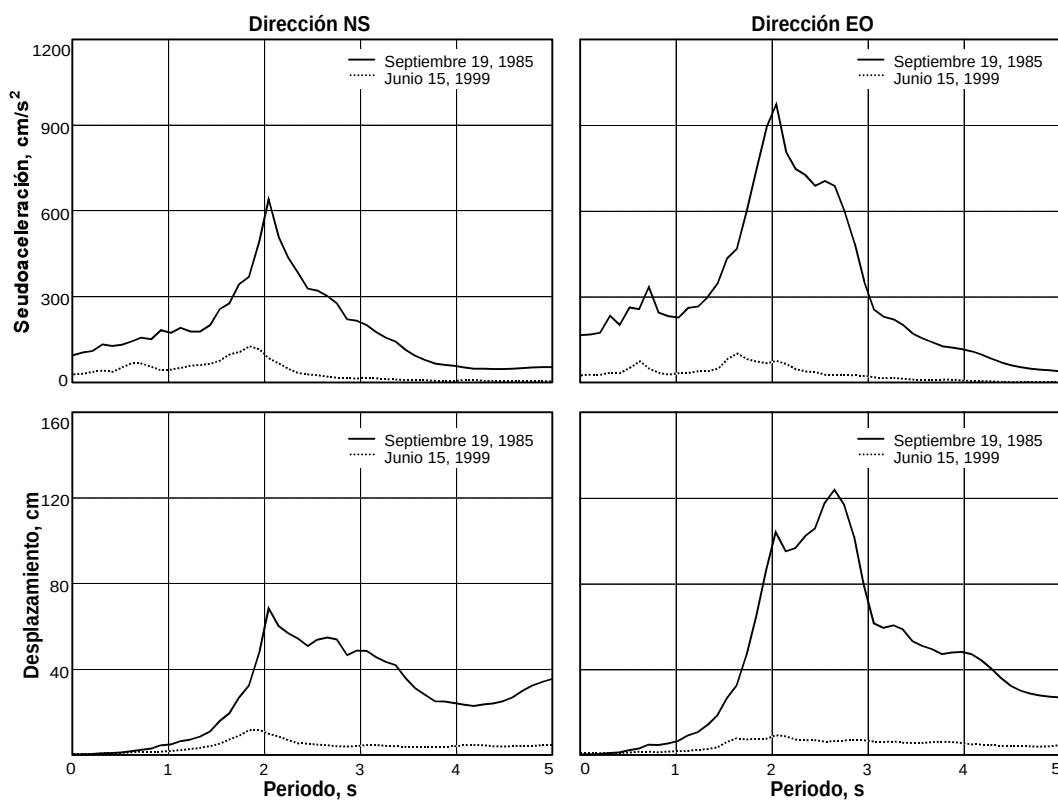


Figura 2.9 - Espectros de respuesta del registro de SCT (Ordaz, 1999)

Varias personas han descrito que este sismo se había sentido un tanto diferente a otros temblores generados cerca de la costa del Pacífico, que son más frecuentes en la ciudad. Ello podría explicarse por el relativamente mayor componente vertical de la aceleración de los sismos de profundidad intermedia, que ya se ha mencionado.

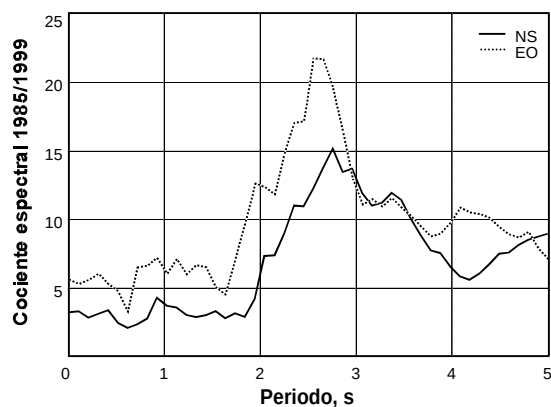


Figura 2.10 - Cocientes espectrales de los registros de pseudoaceleración de SCT (Ordaz, 1999)

Los movimientos debidos al temblor de Tehuacán en la zona nororiente de la ciudad de México se compararon con los del sismo costero de Caleta del 11 de enero de 1997 de magnitud similar (M_w 7.2). Se tomaron los datos del cajón de cimentación del Puente Vehicular Impulsora que tiene instrumentado el CENAPRED. La amplitud máxima en los espectros de Fourier de los registros de estos sismos se presenta, de manera coincidente, a una frecuencia de 0.23 Hz ($T=4.35$ s). Por otro lado, el sismo de Tehuacán indujo amplitudes más altas a frecuencias mayores, en comparación con un sismo típico originado en la costa del Pacífico. Es notable que se alcancen muy similares amplitudes espectrales máximas en estos sismos. El hecho de que estos valores máximos ocurran a la misma frecuencia, pone de manifiesto que en los depósitos arcillosos de la ciudad de México, los movimientos del terreno están fuertemente influenciados por las condiciones locales.

Será interesante confirmar la tendencia de que las mayores amplitudes se presentan a frecuencias altas en las estaciones acelerográficas de Puebla. Esto podría justificar los daños observados en estructuras masivas relativamente rígidas con frecuencias naturales de vibración altas, como son las iglesias.

CAPÍTULO 3

PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

3.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta los problemas geotécnicos observados a raíz del sismo de Tehuacán. Se presentan algunos casos particulares observados en los recorridos, reportados por la población, los medios de comunicación y las diferentes agencias gubernamentales encargadas de la protección civil.

3.2 ESTRATIGRAFÍA Y EFECTOS DE SITIO EN LA CIUDAD DE PUEBLA

Atendiendo a una recopilación geotécnica (Auvinet, 1976) que reunió la información de alrededor de 50 sondeos, el basamento de la ciudad de Puebla está constituido por rocas calizas del Cretácico. Sobre yaciendo a estas rocas, se tienen secuencias de depósitos volcánicos como tobas y sedimentos de origen aluvial (fig. 3.1). Como resultado de la actividad volcánica relacionada con la generación del Cinturón Volcánico Transmexicano, se tiene un cono volcánico que constituye el cerro de San Juan o La Paz, ubicado al oeste dentro de la ciudad; está constituido por escorias basálticas rojizas y otros piroclastos. Así mismo, hacia el sur y oeste de la ciudad se distinguen afloramientos basálticos y tobáceos. Diversos ríos cruzan la ciudad, dejando depósitos aluviales con estratos de gravas y arenas limosas, de compacidad variable; a ellos asociados, se han detectado depósitos palustres orgánicos. Tampoco son extrañas las estratigrafías que alternan depósitos lacustres con aluviones y tobas volcánicas, erráticamente distribuidas en la ciudad.

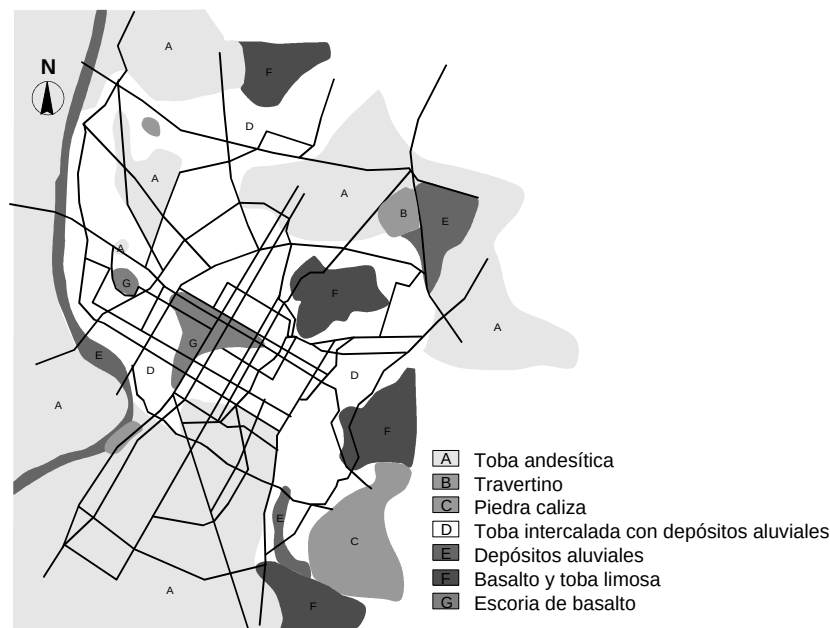


Figura 3.1 - Mapa geológico de la ciudad de Puebla (Chávez-García et al., 1995)

La información geotécnica acerca de la ciudad de Puebla ha sido actualizada recientemente (Azomoza et al., 1998) con la información que han proporcionado del orden de 400 estudios geotécnicos, realizados en

muy diversos sitios de la ciudad y en otros de la zona conurbada en los últimos 14 años. Ahí se enfatiza el crecimiento de la mancha urbana, lo que los lleva a señalar que en la ciudad predominan los suelos tobáceos (localmente conocidos como tepetates) como formación basal, sobre la que yacen diversas unidades estratigráficas. De particular interés para la comprensión de los daños, es la presencia en buena parte de la zona centro de la ciudad de depósitos de suelos aluvio-palustre-lacustres, que se han detectado en espesores hasta de 20 m, generalmente intercalados con mantos de travertino de espesores variables. Llama la atención la presencia de arcillas expansivas al sur y poniente de la ciudad con espesores hasta de 2 m, las cuales cubren a los suelos tobáceos.

Pudieron distinguirse efectos de sitio en la ciudad de Puebla, al considerar los acelerogramas registrados en cuatro estaciones superficiales desplantadas en formaciones rocosas, en comparación con los de dos estaciones localizadas en un perfil de suelos. Comparando las aceleraciones máximas del terreno de las estaciones PHPU (Parque Habana, fig. 2.1) y PBPU (Nicolás Bravo) para el sismo de Tehuacán, se obtiene un factor de amplificación de 3. Chávez-García et al. (1995) llevaron a cabo una campaña de mediciones de respuesta a movimientos débiles mediante microtemblores, en 39 puntos de la ciudad. Obtuvieron periodos predominantes T_0 entre 0.5 y 1.1 segundos, y factores de amplificación entre 2 y 7. Con base en el periodo fundamental como información básica, estos autores han propuesto una zonificación sísmica que contempla cuatro zonas. Sin embargo, Romo y Ovando (1995) han llamado la atención de que al periodo natural del terreno, debe agregársele la información acerca de su capacidad para amplificar los movimientos sísmicos, en relación con un punto de referencia perteneciente a un sitio rocoso.

Se han desarrollado varias propuestas de zonificación sísmica de la ciudad de Puebla; sin embargo, no todas ellas son coincidentes ni consistentes. Este hecho, quizá atribuible a la compleja distribución espacial de suelos y rocas, debe corregirse estudiando la información disponible sobre la estratigrafía y características mecánicas, así como obteniendo la faltante.

3.3 LICUACIÓN EN EL ESTADO DE TLAXCALA

En la región sur del estado de Tlaxcala, a unos 20 km y al noroeste de la ciudad de Puebla, se detectó la ocurrencia del fenómeno de licuación. El área afectada corresponde a una zona rural situada a unos 140 km del epicentro, caracterizada por plantíos de maíz, a unos 100 m de la orilla del río Zahuapan, mismo que aguas abajo se conoce como Atoyac y luego Balsas. El efecto de este fenómeno fue prácticamente nulo. Sin embargo, la ocurrencia por sí misma de licuación, es un hecho importante, ya que fue muy interesante constatar que este fenómeno se pueda dar en el Altiplano Central. En efecto, hasta donde se conoce, es la primera vez que se documenta licuación en el valle de Puebla-Tlaxcala.

La arena limosa que salió a la superficie a través de grietas y *volcancitos* es de color oscuro y se identificó como una ceniza volcánica (figs. 3.2 y 3.3). Se presume que este depósito fue generado por alguno de los volcanes cercanos al sitio: el Popocatepetl situado a 42 km al suroeste del sitio; o La Malinche, a 26 km y hacia el este del lugar. Los primeros estudios de tres muestras del material eyectado, que incluyeron granulometrías y densidad de sólidos, nos indican que se trata de arenas finas uniformes con proporción muy alta de granos limosos sin ninguna plasticidad. La fracción fina que pasó la malla no. 200 varió entre el 28 y el 45% del total en peso. La densidad de sólidos alcanzó valores entre 2.65 y 2.71 para diferentes muestras, que denotan la presencia de ciertos ferromagnesianos en su composición mineralógica, además del cuarzo predominante, observado en el microscopio óptico. Se encuentra en curso un programa de ensayos dinámicos en el Laboratorio de Dinámica de Suelos del CENAPRED con estas arenas contaminadas, previa definición de las diferentes condiciones que se impondrán a esos especímenes, a fin de alcanzar ciertas compacidades relativas.



Figuras 3.2 y 3.3 - Evidencias de licuación en un plantío de maíz, al sur del estado de Tlaxcala

3.4 DAÑOS DE NATURALEZA GEOTÉCNICA

La mayoría de los daños ocurridos en la ciudad de Puebla se concentraron en el área del centro. Ahí se registraron aceleraciones máximas del orden de 120 cm/s^2 , en tanto que 50 cm/s^2 parece un valor típico de las aceleraciones en la periferia de la ciudad, principalmente en sitios duros. Por ello, como ha sido observado en la ciudad de México, y en otras ciudades del mundo, la distribución variable del daño en la ciudad de Puebla está asociada, al menos en parte, a los efectos de sitio, determinados por la presencia de materiales térreos o rocosos en un cierto lugar.

Un ejemplo del efecto de sitio en la respuesta estructural lo constituye el colapso total de dos edificios de un conjunto de cuatro, aparentemente iguales, construidos en el centro de la ciudad de Puebla (figs. 3.4 y 3.5). Adicionalmente, hubo daños en la planta baja de los edificios restantes. Esta estructura se presenta en detalle en la sección 6.5.3 de este documento.



Figuras 3.4 y 3.5 - Edificios colapsados en el centro de la ciudad de Puebla

El sitio está relativamente cerca de los depósitos aluviales del antiguo río San Francisco, en cuyo lecho se construyó el bulevar Héroes del 5 de Mayo. En el subsuelo del bulevar corre, entubado, dicho río. La muy probable erraticidad y heterogeneidad de los depósitos lacustres, y posiblemente palustres, sobre los que descansan los cuatro edificios, podría explicar los diferentes comportamientos que experimentaron éstos. La presencia de esos depósitos de suelo determinó sin lugar a dudas la amplificación de las aceleraciones en el sitio. En uno de los edificios colapsados, algunas de sus columnas penetraron en el terreno (fig. 3.6). El tipo de cimentación para estas columnas y su profundidad de desplante se desconocen, pero se presume que sean zapatas aisladas de concreto reforzado, desplantadas aproximadamente a 1 m de profundidad. Se ha especulado que esta penetración podría deberse a una falla de cimentación, para la que se reúnen condiciones propicias tales como un depósito aluvial con un alto nivel freático, y la amplificación sísmica ya comentada por el efecto de sitio. Sin embargo, lo observado podría ser resultado simplemente de la penetración de columnas falladas por corte y/o flexocompresión, que sufrieron cierto desplazamiento lateral. No se apreció ninguna evidencia de licuación en o cerca del sitio de desplante de estos edificios. Se considera que este caso merece atención y debe documentarse y analizarse, en virtud de que puede aportar lecciones importantes para la práctica de la ingeniería de cimentaciones en la ciudad de Puebla.



Figura 3.6 - Penetración en el terreno de una columna de esquina

Los agrietamientos observados en el terreno en localidades cercanas al epicentro, como Acatlán de Osorio, Puebla, deben atribuirse a condiciones estratigráficas locales caracterizadas por suelos o rellenos sueltos. No ha sido observado por pobladores o estudiosos del problema ningún agrietamiento asociado a la ruptura que produjo el sismo; ello apunta a que no ocurrió ninguna perturbación significativa en la superficie del terreno, salvo las vibraciones transitorias. Lo anterior parece justificado por la profundidad a la que sucedió la falla y a la moderada extensión del área fallada, a juzgar por la magnitud del evento.

Salvo el asentamiento de algunos terraplenes de acceso en la carretera 135 cerca de Tehuacán, en otras estructuras térreas no se reportaron daños. En la presa de tierra y enrocamiento Valsequillo de unos 25 m de altura, con taludes relativamente escarpados (pendiente H:V de 2:1), y que se ubica al sur de la ciudad de Puebla, no se apreciaron ni agrietamientos ni deformaciones significativas. Sólo un deslizamiento importante ocurrió en las faldas de La Malinche, interrumpiendo temporalmente el suministro de agua al poblado de Ixtenco, Tlaxcala.

CAPÍTULO 4

LÍNEAS VITALES

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan las observaciones hechas sobre el comportamiento de líneas vitales durante del sismo de Tehuacán. Se incluyen datos provenientes de informes de las unidades estatales de protección civil de Puebla, Oaxaca, Morelos, Veracruz y México. Se presenta información sobre conducciones de agua y drenaje, gas, energía eléctrica, comunicaciones, ferrocarriles, aeropuertos y hospitales. En este capítulo se ha hecho un apartado especial para las instalaciones hospitalarias ya que pertenecen al grupo de estructuras que deben permanecer en funcionamiento durante y después de la ocurrencia de emergencias, como pueden ser los sismos.

4.2 ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y DRENAJE

No se informó de daños de consideración. En el estado de Puebla, el suministro de agua potable se interrumpió temporalmente dada la falta de energía eléctrica para la operación de pozos. Este fue el caso de más de 180 pozos que abastecen la ciudad de Puebla y 16 de Tehuacán. En Tehuacán el abastecimiento se mantuvo gracias a los manantiales de Santa Ana Taloxtoc y de Alhuelican. En la ciudad de Puebla se presentaron algunas fugas; dos días después del sismo, el abastecimiento a las 700 colonias de la ciudad se había restablecido casi por completo. Se entregó agua clorada en pipas en San Mateo Ozolco, Acatlán de Osorio y Tepeji de Rodríguez.

En el estado de Oaxaca se informó de fugas en Santiago Ihuitlan Plumas, así como fisuras en depósitos de agua en los municipios de Coixtlahuaca, San Cristóbal Suchixtlahuaca, El Fortín Alto y Cosoltepec. Además, se registraron daños en 3000 m de infraestructura agrícola y en ocho unidades de riego. Siete pequeños bordos y presas de captación exhibieron daño ligero.

En el estado de México se informó de una fuga en el municipio de Nezahualcóyotl.

No se informó de daños en las redes de drenaje.

4.3 REDES DE DISTRIBUCIÓN DE GAS Y PETRÓLEO

Se tiene conocimiento de fugas en la subestación cercana al CERESO en el municipio de Nezahualcóyotl, México. Asimismo, se atendieron varios casos de fugas en viviendas del municipio de Atlixco, Puebla. En Salina Cruz, Oaxaca se informó de una fuga de petróleo en la colina Vicente Lombardo Toledano, que fue rápidamente controlada.

4.4 SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Durante el sismo se interrumpió el suministro de energía eléctrica en la zona afectada. Se restableció en pocas horas.

4.5 COMUNICACIONES

De acuerdo con información proporcionada por Teléfonos de México, S.A. de C.V. (López, 1999) en la zona mayormente afectada por el sismo existen alrededor de 100 edificios que albergan equipo telefónico. Solamente en la ciudad de Puebla y zona conurbada se tienen 40 edificios de varios niveles. Ninguno de los edificios experimentó daño alguno en los elementos estructurales. En pocos casos se registró daño en muros de fachada en forma de agrietamiento vertical en la unión con las columnas y desprendimiento de acabados de mortero.

Es importante destacar que hasta 1994, Teléfonos de México (Telmex) usó, dentro de su programa de rehabilitación y construcción de nuevas centrales, la regionalización sísmica del Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad. A partir de ese año, se ha empleado el Reglamento de Construcciones para el Municipio de Puebla (GCEP, 1994). De acuerdo con la información proporcionada, se han practicado estudios especiales (en concreto, de obtención de espectros de sitio y de medición del período fundamental de vibración del edificio) en algunas centrales que por su tamaño o importancia así lo requieren. Es práctica común la elaboración de estudios de mecánica de suelos en el predio donde se construirá una nueva central. A partir de 1985, y a raíz de las experiencias de los sismos de Michoacán, Telmex ha instalado en la totalidad de sus centrales telefónicas (tanto antiguas como nuevas) estructuras de soporte de los equipos de telefonía. Estas consisten de una retícula construida con perfiles metálicos tipo monten que está sujeta a la losa superior. La retícula arriestra la parte superior de los equipos de manera de limitar sus desplazamientos horizontales. En el sismo de Tehuacán no se registraron daños en equipos.

Durante el sismo de Tehuacán se informó de la lentitud del servicio telefónico. Ésta fue provocada por la saturación de las líneas debido al excesivo número de llamadas inmediatamente después del evento.

4.6 VÍAS DE TRANSPORTE

4.6.1 Carreteras y Puentes

Se informó de algunos deslizamientos de tierras y bloques rocosos en cortes de carreteras y laderas naturales en la zona epicentral, aunque prácticamente todos ellos con un mecanismo relativamente superficial; ello determinó que el volumen de los caídos fuera limitado y no provocaran afectaciones serias al tráfico de vehículos.

Se informó de algunos daños en puentes y pequeños deslaves en carreteras que, incluso bloquearon el tránsito. En el estado de Puebla, se registraron deslaves en los caminos hacia Los Amalitlanes, de Nealtican a San Mateo Ozolco, de Tehuacán a Telixtlahuaca, de Puebla a Tecamatlán, de Tehuiztzingo a Axutla. En la carretera Puebla-Orizaba se informó de un caído de 30 m³ y deslaves en las Cumbres de Acultzingo. Se registraron daños en los puentes México (Cholula), Azumiatla y Ajalpan.

En Oaxaca se registraron deslaves en el camino de Huajuapán de León a Tlaxiaco. Sobre la autopista Cuacnopalan-Tehuacán-Oaxaca se informó de derrumbes en los cadenamientos 100 km y 115 km, a la altura de Miahuatlán y Coixtlahuaca. Se informó de daños ligeros en los puentes Xochiquetzal, Porfirio Díaz, León y Culebra, en el municipio de Coixtlahuaca.

En Tlaxcala, se deslavó parte del cerro Xochitecatitla, que bloqueó la carretera Nativitas-San Martín Texmelucan. En el estado de Morelos se informó de dos deslaves en los municipios de Jonacatepec y Huitzilac, éste último en la carretera federal a Toluca, a la altura del Parque Nacional Lagunas de Zempoala.

En el estado de México se informó de pequeños derrumbes en el camino Coatepec-Ixtapan de la Sal.

4.6.2 Ferrocarriles y Aeropuertos

En el municipio de Chalco, México, se encontraron vías y durmientes desplazados entre 20 y 80 cm, imposibilitando el paso del ferrocarril.

No se informó de daños o consecuencias en la infraestructura aeroportuaria.

4.7 HOSPITALES

En la ciudad de Puebla, se visitaron tres estructuras del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) de las que se había informado sobre daños de diverso tipo: El Hospital de Especialidades San José, el Hospital General San Alejandro y el Hospital de Traumatología y Ortopedia. En la fig. 4.1 se muestra la localización de los hospitales visitados en el mapa geológico de la ciudad de Puebla tomado de Chávez-García et al. (1995). En la ciudad de Tehuacán, se revisó la Unidad Hospitalaria Tehuacán, que había sido registrada con daños.

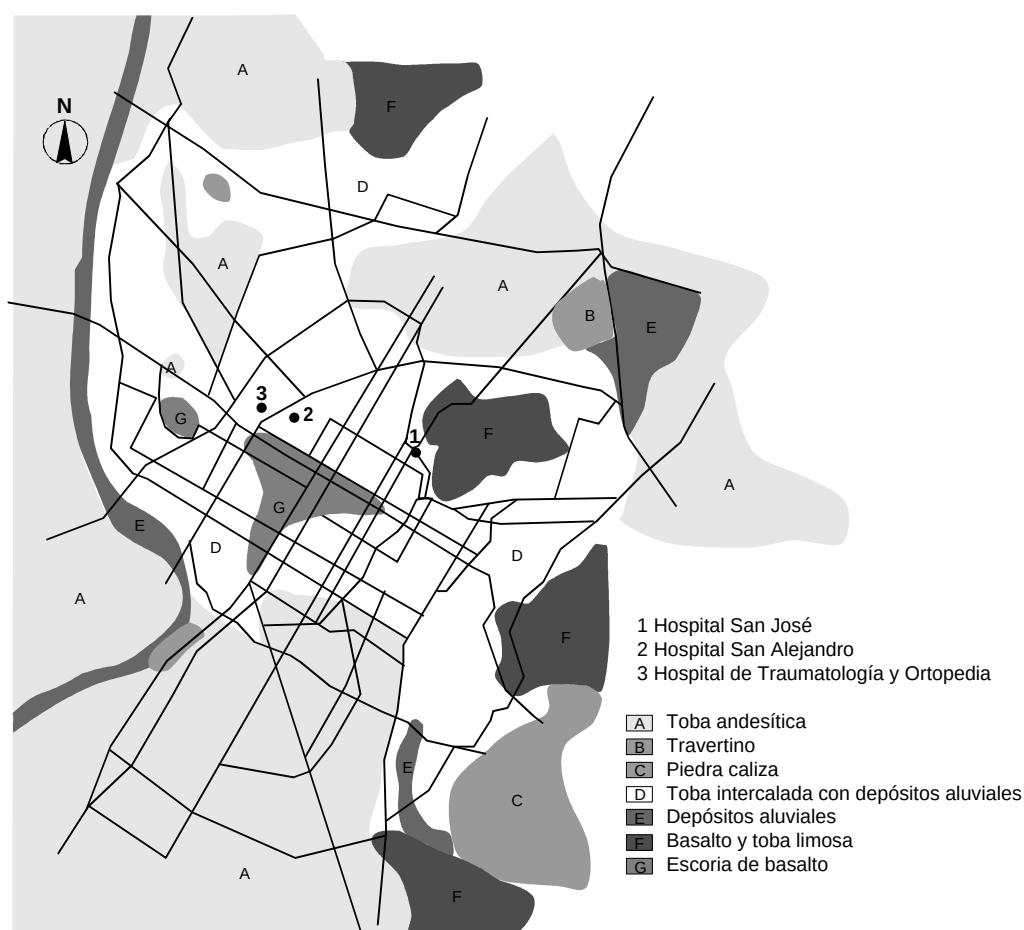


Figura 4.1 - Localización de hospitales visitados en el mapa geológico de Puebla (tomado de Chávez-García et al. 1995)

4.7.1 Hospital de Especialidades San José

Esta edificación se localiza en la calle 18 Oriente, entre las calles 2 y 4 Norte de la ciudad de Puebla. El hospital San José cuenta con 315 camas. Está compuesto por cinco cuerpos de diferente geometría y altura. El daño se concentró en el segundo nivel de la torre de especialidades, de seis niveles sobre el terreno y un sótano, construida hace 41 años (fig. 4.2). Los cuerpos restantes, algunos construidos más recientemente y de menor altura (2 a 3 niveles) sólo presentaron daño en los acabados de fachada. La funcionalidad del hospital no se vio afectada durante ni después del sismo.

La estructura de la torre de especialidades tiene una planta en forma de T constituida por dos cuerpos rectangulares, separados entre sí. Están contruidos a base de marcos de concreto rellenos con muros de mampostería y de losas macizas de concreto apoyadas perimetralmente. La altura de entrepiso es de alrededor de 4 m, común en construcciones destinadas a uso hospitalario. Las columnas de concreto de la torre cambian sus dimensiones, en la dirección corta del edificio, en cada nivel. En el sótano, planta baja y primer nivel se tienen columnas de 80x40 cm, en el segundo de 65x40 cm, en el tercero de 60x40 cm, en el cuarto de 35x40 cm, y en el quinto y sexto de 30x40 cm. En la fig. 4.3 se presenta el aspecto de una de las columnas del segundo nivel a la cual se le había retirado el recubrimiento de azulejo después del sismo. Se puede observar que no existe daño estructural en este elemento. Esta observación se repitió en otros elementos.



Figuras 4.2 y 4.3 - Vista general del Hospital San José y columna de segundo nivel, sin recubrimiento

Los daños que se observaron en el hospital San José corresponden a la categoría de no estructurales. De acuerdo con las autoridades del hospital, no se registraron daños en instalaciones. Se presentaron grietas inclinadas en muros divisorios de mampostería, en la dirección corta de la torre (fig. 4.4), asociadas a la diferencia de rigideces entre los elementos estructurales (columnas y losas) y los no estructurales, así como al acoplamiento de dichos muros a la estructura.

También se presentó agrietamiento en muros aparentemente de mampostería próximos a la zona de la junta constructiva que existe entre los dos cuerpos de la torre (fig. 4.5). Estas grietas pudieron ser producto del roce y golpeteo entre ambos cuerpos durante el movimiento, al no existir una separación suficiente. La separación de cuerpos en la junta, medida a nivel de azotea, fue de 8 cm; sin embargo, se apreció que la misma se encuentra rellena con pedacería de madera y otros materiales. Los sistemas de piso, al nivel de la junta constructiva, también mostraron signos de agrietamiento y aplastamiento. En la fig. 4.6 aparece un

detalle del aplastamiento y desconchamiento del recubrimiento de cantera de la fachada ocurrido entre la torre de especialidades y un cuerpo alargado anexo de dos niveles.



Figuras 4.4 y 4.5 - Agrietamiento en muros divisorios y muros de la junta constructiva entre cuerpos

De la inspección realizada, no se encontró comprometida la estabilidad de la estructura. Sólo es necesaria la rehabilitación de los muros no estructurales de los marcos de concreto. Para evitar el daño en la junta constructiva, e incluso el golpeteo entre cuerpos de la torre, se recomienda limpiarla. Se debe evaluar la conveniencia de ampliar la junta; para ello es necesario determinar los desplazamientos laterales máximos para los sismos de diseño.



Figura 4.6 - Aplastamiento y desconchamiento de la fachada por golpeteo entre cuerpos

4.7.2 Hospital General San Alejandro

Este conjunto se localiza en el número 2721 de la calle 10 Poniente, en la colonia San Alejandro de la ciudad de Puebla. Tiene 23 años de antigüedad y está formado por tres cuerpos de los cuales destaca una torre de nueve niveles sobre el terreno (fig. 4.7).

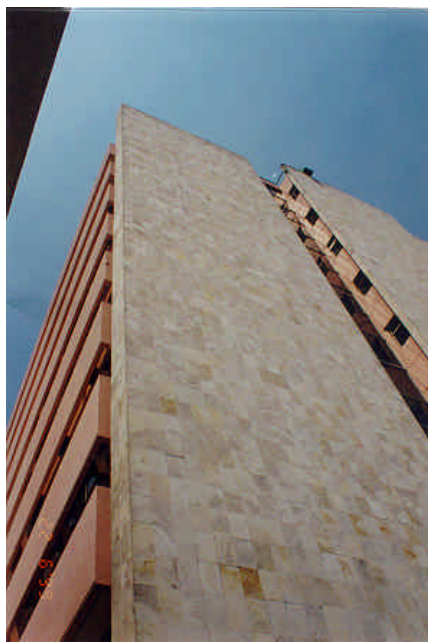


Figura 4.7 - Vista general de la torre del Hospital San Alejandro

En la fig. 4.8 se muestra una planta de conjunto del Hospital San Alejandro. Los edificios A y C fueron evacuados debido a los daños estructurales y no estructurales observados. La torre (edificio B) permaneció funcionando. De acuerdo con un mapa geológico de la ciudad de Puebla, publicado por Chávez-García et al. (1995), el hospital se encuentra desplantado sobre tobas con depósitos aluviales (fig. 4.1).

La cimentación de la torre (edificio B) está constituida por un cajón y pilas circulares de concreto reforzado. El cajón de cimentación tiene una losa de 30 cm de espesor y contratraves de 1.8 m de peralte. Las pilas perimetrales tienen 1.7 m de diámetro, mientras que las interiores tienen 1.3 m de diámetro. Todas ellas tienen 17 m de longitud apoyándose en la capa dura que se encuentra bajo un estrato de arcillas y limos de alta compresibilidad. Esta información fue proporcionada por el ingeniero consultor en mecánica de suelos del proyecto inicial, quien se encontraba en el lugar al momento de la visita. También señaló que en la calle 11 Sur, a unos 200 m al sur del Hospital San Alejandro se encuentra un brote de agua azufrosa.

Tanto los edificios bajos como la torre están estructurados a base de marcos y losas aligeradas (encasetonadas) de concreto reforzado apoyadas perimetralmente en los marcos. En el edificio C y en la torre los claros son de 7.2 m en ambas direcciones; en el cuerpo A son de 9.0 m. Hasta donde se logró apreciar en una cala practicada, el refuerzo longitudinal de las columnas está proporcionado por paquetes de dos barras del no. 10 en las cuatro esquinas y el refuerzo transversal mediante estribos cerrados del no. 4 con una separación de 10 cm. Se detectaron tres geometrías diferentes de columnas. Las de la torre son rectangulares de 95x45 cm; en los cuerpos restantes, las perimetrales son de 60x35 cm, mientras que las interiores son de sección cuadrada de 45 cm de lado. Los edificios cuentan con acabados de azulejo y aplanados de mortero en muros. Los plafones de techo son de metal desplegado entre 2 y 5 cm de espesor.

Según el encargado de los trabajos de rehabilitación en el momento de la visita, el sismo provocó fugas de agua potable en tuberías de cobre en alrededor de seis puntos del edificio, concentrados en los pisos superiores y azotea.

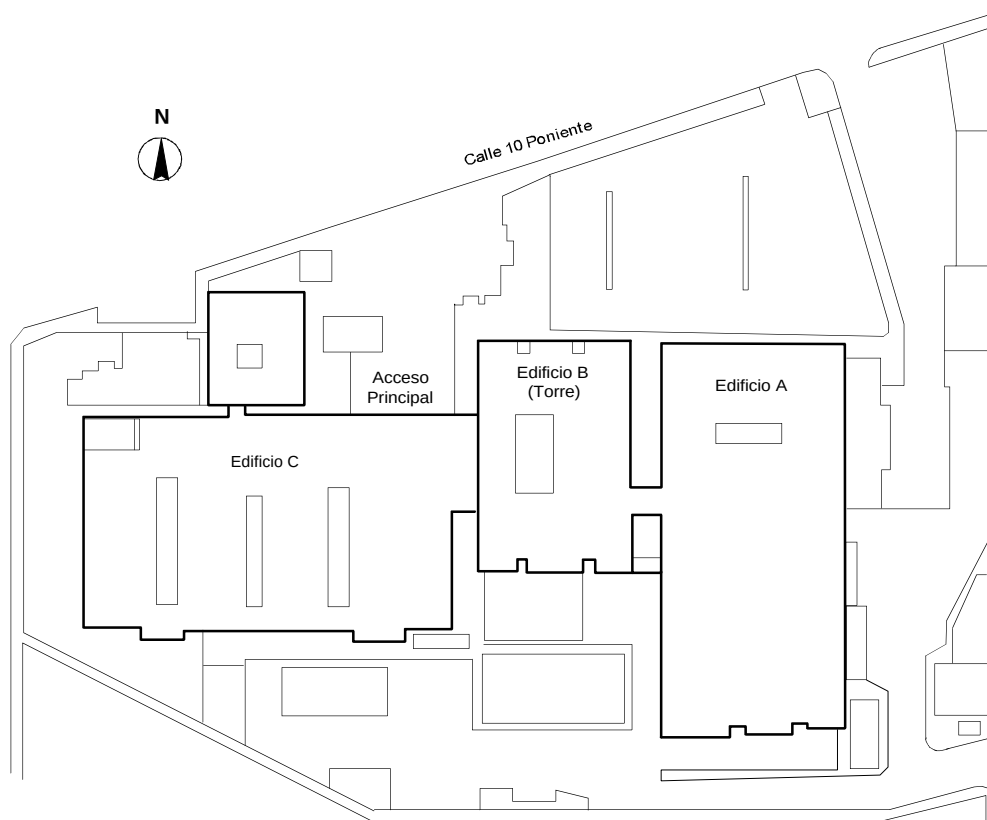


Figura 4.8 - Planta de conjunto del Hospital San Alejandro

El golpeteo entre cuerpos independientes causó el agrietamiento y aplastamiento de las regiones vecinas a las juntas constructivas (fig. 4.9). Sin embargo, el daño parece haberse agravado por la existencia previa de asentamientos relativos entre los diferentes cuerpos del hospital.



Figura 4.9 - Aplastamiento en juntas constructivas

Algunas de las columnas del primer nivel del edificio C presentaron agrietamientos inclinados, aunque sólo en las caras paralelas a la dirección larga del edificio (fig. 4.10). En la columna de la fig. 4.10 se midieron grietas de 0.5 mm a 1.5 mm de anchura. Las columnas que presentaron daño en la primera planta se destacan en la fig. 4.11. Como se aprecia en dicha figura, las columnas dañadas se concentran en los extremos norte y sur del edificio. Dichas columnas están conectadas rígidamente a dos vigas acarteladas en la dirección larga con claros diferentes. La diferencia de claros de las vigas que se conectan a la columna provoca un cortante en la columna necesario para mantener el equilibrio. Se especula que este cortante más la fuerza inducida por el sismo produjo el agrietamiento en la columna, mismo que se observó en la dirección del cortante referido por carga vertical.



Figura 4.10 - Agrietamiento inclinado en columnas del primer nivel del edificio C

Las columnas del edificio C estaban confinadas, en la dirección larga, por muros de mampostería en toda su altura. Este arriostramiento rigidizó a las columnas, de modo que atrajeron una mayor cantidad de fuerza cortante en el intervalo elástico que fue de tal magnitud que provocó el agrietamiento inclinado del concreto de la columna. En una columna en particular, hacia el extremo sur de dicho edificio, fue evidente que uno de los muros no estaba en contacto con ella mientras que el del lado opuesto sí lo estaba. En este caso, el agrietamiento inclinado se orientó de manera de sugerir la formación de un puntal de compresión dentro de la columna hacia el muro en contacto. Este agrietamiento no se formó en la otra dirección, ya que al estar separado el muro de la columna, ésta pudo deformarse lateralmente sin aumentar la rigidez a corte y flexión.

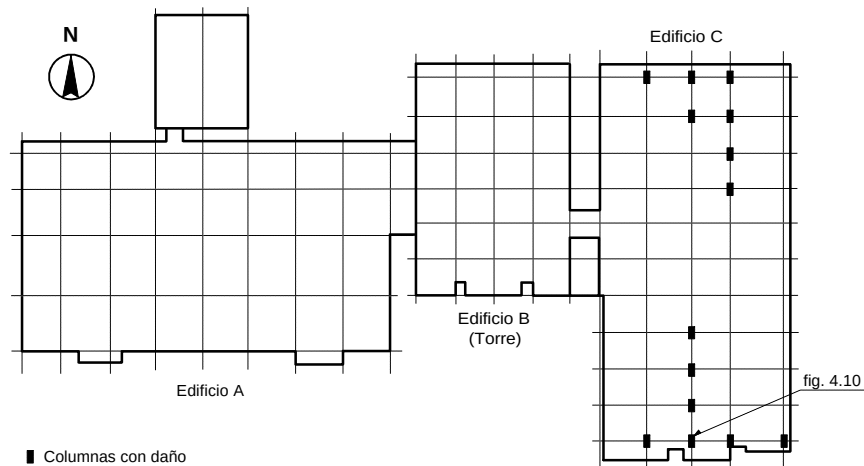


Figura 4.11 - Localización de las columnas con daño por corte en el primer nivel

El tipo y magnitud de los daños observados en el edificio C llaman la atención si se relacionan con la moderada intensidad del sismo de Tehuacán. Los agrietamientos en la estructura, específicamente los inclinados asociados a corte no debieron presentarse. Sin embargo, por las condiciones del subsuelo, no se puede descartar la posibilidad de efectos de sitio. Resulta conveniente revisar el diseño de la estructura original y proponer un esquema de rehabilitación integral que considere no sólo la resistencia del edificio (ausencia de colapso) sino también que establezca como objetivo de desempeño la permanencia de funcionalidad del hospital, incluyendo contenido e instalaciones. En este ejercicio se debe evaluar la posible influencia del suelo en la respuesta de la estructura.

En el recorrido, también se observaron ligeros daños en muros divisorios y en acabados (fig. 4.12). La cimentación de uno de los cuerpos fue inspeccionada y no presentó daño alguno.

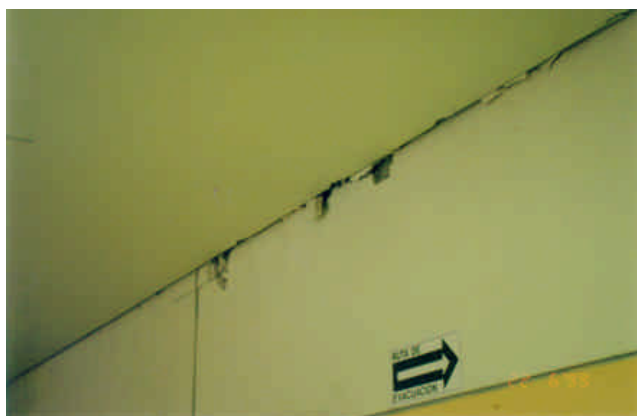


Figura 4.12 - Daño en elementos no estructurales

4.7.3 Hospital de Traumatología y Ortopedia

Este inmueble se encuentra sobre la calle de Diagonal Defensores de la República esquina 6 Poniente, al norte del centro de la ciudad de Puebla. Fue construido hace 12 años, iniciando su operación hace 10. Se encontró desocupado por el daño observado a raíz del sismo de Tehuacán (fig. 4.13). El inmueble está compuesto por cinco cuerpos de uno a cinco niveles, comunicados por pasillos y puentes, con alrededor de 10500 m² de construcción total. Todos los cuerpos son de planta aproximadamente rectangular.



Figura 4.13 - Vista general del Hospital de Traumatología y Ortopedia

De acuerdo con información proporcionada por el ingeniero responsable del mantenimiento, los edificios se encuentran cimentados sobre pilotes de 30 m de profundidad. Por su cercanía al Hospital San Alejandro, es probable que el término pilotes empleado corresponda a pilas; no se pudo verificar la información proporcionada. En uno de los cuerpos existe un sótano ubicado alrededor de 2 m bajo el nivel de calle. La estructuración de los diferentes edificios está resuelta mediante marcos de concreto con muros de relleno. El sistema de piso es de losas aligeradas de concreto reforzado apoyadas perimetralmente. Los acabados son, en la mayoría de los muros, de azulejo de cerámica del tipo denominado *cintilla*, o bien, aplanados de yeso. Las losas están ocultas mediante plafones de tablaroca.

Los daños observados durante la visita fueron del tipo no estructural. Sin embargo, las autoridades del hospital consideraron que la dispersión y tipo de daño afectaban el funcionamiento del mismo y decidieron evacuar a los pacientes, así como al personal médico y administrativo. Se informó de la ruptura de tuberías rígidas de agua potable en cuatro puntos de la instalación.

En la fig. 4.14 se muestra un detalle del daño que fue comúnmente observado en un muro divisorio acoplado a la estructura principal. Este daño se debe a demandas de deformación excesivas para este tipo de elementos y materiales. En algunos casos, el daño se pudo asociar con fallas constructivas o de diseño. En la fig. 4.15 se muestra un detalle del anclaje de la dala intermedia de un muro de mampostería al castillo que lo confina. Se observó que el gancho del refuerzo longitudinal de la dala no está dentro del armado del castillo sino que se interrumpe en su paño interior, lo que provoca que la dala se separe del castillo.



Figura 4.14 - Daño en muros divisorios de mampostería confinada



Figura 4.15 - Detalle de anclaje inadecuado en un muro divisorio de mampostería confinada

Otras zonas dañadas fueron el cubo de escaleras (fig. 4.16) y los quirófanos (fig. 4.17). En estos últimos, el escaso recubrimiento y la reducida separación entre elementos divisorios y estructurales fueron la causa más probable del fisuramiento y desconchamiento. Una de las mesas de cirugía, de unos 300 kg de peso, se volcó en uno de los quirófanos (fig. 4.18). Esto puede ser evidencia de las elevadas demandas de velocidad de deformación a las que se vio sometido el edificio. Afortunadamente, no se registraron víctimas.



Figuras 4.16 y 4.17 - Daño no estructural en cubo de escaleras y zona de quirófanos

La estabilidad del hospital está garantizada. Los daños observados no la comprometen y se limitan a los elementos divisorios no estructurales.



Figura 4.18 - Volcamiento de una mesa de cirugía

4.7.4 Unidad Hospitalaria Tehuacán

Este edificio aparentemente de marcos de concreto con muros diafragma de mampostería de cuatro niveles se encuentra localizado en la calle de Reforma Norte. Su fachada está compuesta prácticamente por cancelería y en los lados restantes muros de mampostería con ventanas. En este edificio se observó agrietamiento inclinado en uno de los muros de tercer nivel (fig. 4.19). No presentaba mayor daño y su funcionamiento parecía normal.

No se considera que la estabilidad del edificio se encuentre en peligro y se recomienda realizar las reparaciones necesarias.



Figura 4.19 - Agrietamiento en muros de mampostería

4.7.5 Conclusiones

A pesar de que la estabilidad de los hospitales visitados no se encuentra comprometida, fueron evidentes daños en algunos elementos estructurales y en elementos no estructurales así como en instalaciones. Es importante recordar que los hospitales pertenecen a la categoría de edificaciones que deben permanecer funcionales ante emergencias urbanas como son los sismos. De este modo, ante sismos moderados e intensos, el hospital (que incluye estructura, contenido y equipamiento) no debe presentar daños que impidan su funcionamiento y, obviamente, la atención de víctimas. Resulta controversial el hecho de que se haga necesario el desalojo de una instalación hospitalaria por daños no estructurales. Este suceso, así como los daños señalados, deben ser tomados como un foco de atención para iniciar una revisión integral del desempeño ante demandas últimas y de servicio, tanto de la estructura, como de su contenido e instalaciones de los hospitales localizados en zonas sísmicas de nuestro país. Resulta curioso notar que, de los cuatro hospitales visitados, el más antiguo experimentó daños mínimos de tipo, incluso, cosmético. Fue este hospital, el San José, el que recibió a los pacientes y personal de otra instalación evacuada, más moderna.

CAPÍTULO 5

MONUMENTOS HISTÓRICOS

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan casos particulares de monumentos históricos que fueron evaluados durante los recorridos hechos a los estados de Puebla y Morelos, después del sismo de Tehuacán. Fundamentalmente se presentan iglesias; sin embargo, también se incluyen palacios de gobierno y conventos. Para cada edificación se presenta una descripción general de la estructura y del daño exhibido. El capítulo concluye con algunas recomendaciones generales que resultan del análisis del daño observado en este tipo de estructuras durante el sismo de Tehuacán.

La presentación de los diferentes casos se hace siguiendo el orden alfabético de las poblaciones. En cada población, las estructuras se presentan en el orden en que fueron visitadas.

5.2 AMOZOC DE MOTA

5.2.1 Parroquia de la Asunción

Esta iglesia se ubica en la plaza principal de Amozoc. El cuerpo principal es de mampostería de piedra teniendo contrafuertes en toda la periferia. Su forma en planta es de cruz latina. La estructura de la fachada tiene dos torres, una de las cuales presenta un cuerpo perforado por ventanas y dos niveles de campanario rematado por una cúpula apuntada perforada; la otra tiene un cuerpo tipo columna y una pequeña estructura de campanario de un nivel. La fachada presenta un contrafuerte al lado del cuerpo de la torre de campanario de dos niveles (fig. 5.1).



Figura 5.1 - Vista frontal de la Parroquia de la Asunción

La iglesia tiene una cúpula esférica. Está perforada por ocho ventanas y descansa en un tambor octagonal; está rematada por una linterna y un cupulín. La cúpula está en la parte central del crucero. La iglesia tiene un frontón formado por dos sectores circulares. La portada está perforada por una ventana de coro y el portón. La iglesia estaba cerrada a la fecha de la visita pero no contaba con acordonamiento en zonas de riesgo de desprendimiento de material. La iglesia está orientada de modo que el rumbo del altar es N90O.

La estructura de la iglesia muestra falta de mantenimiento de consideración, lo que hace difícil distinguir las características y edad de las grietas o daños en la misma. Se observó daño en la estructura del campanario de dos niveles; el daño está concentrado en la parte superior del arco del primer nivel (fig. 5.2). Se considera que el daño puede poner en peligro la estabilidad de los dos niveles de la torre ante cargas laterales sísmicas. Además se observa un desconchamiento de la mampostería en la parte superior del cuerpo de la torre con dos niveles de campanario (fig. 5.2). También se observó daño severo por tensión diagonal en la zona de ventanas de los muros laterales del ábside de la iglesia (fig. 5.3); cabe aclarar que el agrietamiento se observa intemperizado, por lo que resulta difícil afirmar que el daño se debe exclusivamente a los efectos del sismo del pasado 15 de junio.



Figuras 5.2 y 5.3 - Detalle del daño en el campanario y en el ábside de la Parroquia de la Asunción

5.2.2 Convento de Amozoc

Es una estructura de mampostería de piedra, con contrafuertes en toda la periferia. No se pudo tener acceso a la misma, pero de comentarios de los vecinos se pudo conocer que el daño se concentró en la linterna del cupulín de la cúpula central en forma de agrietamiento inclinado (fig. 5.4). En la vecindad inmediata de la estructura de este convento se pudo constatar el buen estado de un muro de mampostería de adobe, no confinado, que no presentó daño alguno (fig. 5.5).



Figuras 5.4 y 5.5 - Vista del daño en el cupulín y muro vecino de adobe, sin daño

5.2.3 Iglesia de San Antonio de Padua

Es una estructura de mampostería de piedra, tabique y adobe. Los muros están repellados con mortero de cemento en ambos bordes de la nave principal. Estos muros probablemente no son originales. La estructura de esta iglesia en planta es de cruz latina con una cúpula en el crucero (fig. 5.6). Las dimensiones aproximadas de la nave principal (bóveda de cañón corrido) son 25 m de largo y 6 m de anchura; presentando cuatro arcos intermedios de medio punto como estructura de la bóveda. La fachada presenta dos torres de campanario, la frontal izquierda tiene cuerpo y dos niveles de campanario, y la frontal derecha tiene una columna y un nivel de campanario. La iglesia está orientada de modo que el rumbo del altar es N90O.



Figura 5.6 - Vista panorámica posterior de la Iglesia de San Antonio de Padua

Se observaron daños ligeros, en forma de agrietamiento longitudinal sobre el espinazo de la bóveda, aunque severo en la zona de la bóveda donde cayó parte del campanario frontal izquierdo (fig. 5.7). El campanario frontal izquierdo está sumamente dañado presentando, incluso, la caída de la cúspide. El daño se concentra en la parte superior de las columnas del campanario, en forma de agrietamiento horizontal. También se observó agrietamiento severo en la base de las columnas del segundo nivel y en la unión del campanario con la parte central de fachada, específicamente a la altura del frontón (fig. 5.8). Se observó agrietamiento vertical que atraviesa las claves de los arcos del primero y segundo niveles del campanario. Asimismo se registraron ligeras fisuras verticales entre la portada y los cuerpos de la torre.



Figuras 5.7 y 5.8 - Daño en la bóveda (zona de colapso del campanario) y detalle de la falla y daño en la torre frontal izquierda

5.2.4 Iglesia de la Purísima Concepción

Es una estructura con un cuerpo principal y cuerpos de las torres hechas de mampostería de piedra. El campanario está construido con tabique de barro y piedra. Presenta una estructura en planta de cruz latina con una cúpula en el crucero. La estructura de fachada presenta un solo campanario, frontal izquierdo, con dos niveles. La fachada está rematada por un frontón que aloja un nicho. Está perforada por una ventana de coro y el portal. Los daños son ligeros y se concentraron en la parte superior de las columnas del segundo nivel del campanario (fig. 5.9). Las grietas son ligeramente inclinadas y atraviesan en arranque de los arcos de las aberturas. La iglesia está orientada de modo que el rumbo del altar es N80O.



Figura 5.9 - Daño en el campanario de la Iglesia de la Purísima Concepción

5.2.5 Iglesia del Barrio de la Preciosa

Es una estructura cuyos cuerpos principal y de torres están hechos de mampostería de piedra, mientras que el campanario es de tabique de barro y piedra. Presenta una estructura en planta de cruz latina, con una cúpula en el crucero. La fachada es muy sencilla y consiste de un muro robusto sobre el que se apoya un nivel de campanario en la parte frontal izquierda. Los daños se resumen en agrietamiento longitudinal en la bóveda de anchura ligera y agrietamiento horizontal de consideración en la parte superior de las columnas del campanario a la altura de la imposta del arco (fig. 5.10).



Figura 5.10 - Daño en el campanario de la Iglesia del Barrio de la Preciosa

5.2.6 Iglesia del Barrio de San Andrés las Vegas

Es una estructura de mampostería de piedra. Su planta es rectangular con nave principal corrida, cubierta por una bóveda de cañón. Es una estructura tipo capilla, al parecer perteneciente a una hacienda. La estructura de fachada presenta una sola torre en campanario, la frontal izquierda, de dos niveles. Los daños se limitan a agrietamiento inclinado en la estructura del cuerpo de la torre de campanario y a agrietamientos en el arranque de los arcos del primer nivel del campanario y de orientación vertical en la clave (fig. 5.11).

5.2.7 Iglesia de Santa Cruz Calera

Es un edificio con estructura irregular, asimétrica, que presenta una cúpula fuera del eje de la nave principal. Presenta una fachada con una sola torre, frontal izquierda, la cual tiene un cuerpo y dos niveles de campanario (fig. 5.12). El campanario está rematado por una cúpula y una linterna. Posee un frontón triangular en la fachada, que está a su vez, perforada por ventana de coro y portón. No se observó daño aparente; sin embargo estaba cerrada al culto.



Figura 5.11 - Daño en el cuerpo de la torre de la Iglesia del Barrio de San Andrés Las Vegas



Figura 5.12 - Fachada de la Iglesia de Santa Cruz Calera

5.2.8 Iglesia del Barrio de San Juan del Santo Ángel

Es una estructura con una nave principal de 5 m de frente por 30 m de largo que presenta una planta en forma de cruz latina. La estructura de la sacristía está ubicada en la parte derecha de lo que podría

considerarse el crucero. El crucero únicamente presenta la parte derecha y sobre la misma hay una cúpula esférica de concreto reforzado (figs. 5.13 y 5.14).



Figuras 5.13 y 5.14 - Fachada y vista general de la Iglesia del Barrio de San Juan del Santo Ángel

En la estructura de la fachada se tiene una sola torre de campanario en la parte frontal izquierda, la cual cuenta con dos niveles de campanario; se tiene un contrafuerte en la parte lateral del cuerpo de la torre. El crucero está rematado en una cúpula esférica, con cupulín y linterna, que se apoya en un tambor octagonal perforado por ocho ventanas. Los daños que se observan son severos en la base del segundo nivel del campanario. Se presentó agrietamiento horizontal y una posible rotación de la parte superior del campanario respecto a la inferior (fig. 5.15).



Figuras 5.15 y 5.16 - Daño en la base del segundo nivel del campanario y en el arco soporte de la cúpula central

También se observó agrietamiento incipiente en las claves de los arcos que soportan la cúpula central; este agrietamiento está intemperizado por humedad y filtraciones (fig. 5.16). Se observaron agrietamientos menores en gran parte de los muros, incluso de la estructura lateral de la sacristía. Se observó agrietamiento de ligero a medio a lo largo del espinazo en las bóvedas de la nave principal. No se considera que este daño pone en peligro la estabilidad de las mismas ante acciones sísmicas.

5.2.9 Iglesia de San José Victoria

Es una estructura cuyos cuerpos principal y de torres están hechos de mampostería de piedra, y el campanario de tabique y piedra. Tiene forma de cruz en planta, con una cúpula en el crucero. La fachada presenta una sola torre, la frontal izquierda, con dos niveles de campanario y un pequeño cuerpo de torre en el lado derecho. La portada está rematada por un frontón de sección circular. Está perforada por una ventana de coro y un portón (fig. 5. 17). La iglesia está orientada de modo que el rumbo del altar es N90O. Los daños son ligeros y se concentraron en la clave del arco del primer nivel del campanario (fig. 5.18). Este daño al parecer es previo al sismo y es probable que únicamente fuera acentuado por el efecto de las fuerzas laterales incidentes.



Figuras 5.17 y 5.18 - Fachada de la Iglesia de San José Victoria y daño en el campanario, aparentemente previo al sismo

5.2.10 Iglesia de la Sagrada Familia

Es una estructura de mampostería de piedra y bloque de concreto. Tiene una forma en planta de cruz latina, con nave principal y crucero. La fachada posee una torre conformada por cuerpo y dos niveles de campanario en la parte frontal izquierda, y una columna con un nivel de campanario en la parte frontal derecha. La portada está rematada por una balaustrada y un frontón compuesto por tres antepechos triangulares con almenas. Tiene una cúpula en la parte central del crucero (fig. 5.19). El daño en esta edificación se observó únicamente en la clave del arco del primer nivel del campanario frontal izquierdo. El daño puede considerarse ligero y no pone en peligro la estabilidad de la torre (fig. 5.20).



Figuras 5.19 y 5.20 - Fachada de la Iglesia de la Sagrada Familia y daño en el campanario izquierdo

5.2.11 Iglesia de San Salvador Tepalcayuca

Es una estructura de planta rectangular con nave principal y una cúpula en la parte posterior. La estructura de fachada cuenta con dos torres, la frontal izquierda de un solo nivel de campanario y no sobresaliente del frontón, y la frontal derecha de tres niveles. Ambas están rematadas por cúpulas en forma de campana (figs. 5.21 y 5.22). La torre alta se construyó aproximadamente hace 40 años. La iglesia está orientada de modo que el rumbo del altar es N80O.



Figuras 5.21 y 5.22 - Fachada y vista posterior de la Iglesia de San Salvador Tepalcayuca

Los daños se presentaron en las torres de campanario. Se registró agrietamiento en la unión entre la torre frontal izquierda y la parte central de fachada (fig. 5.23). Este puede considerarse como daño medio o severo por la tendencia de la grieta a propagarse diagonalmente hacia abajo y afuera. En la torre de tres niveles se observa daño únicamente en la clave del arco del primer nivel (fig. 5.24). El daño puede considerarse como ligero y no pone en peligro la estabilidad de la torre.



Figuras 5.23 y 5.24 - Daño en la unión del campanario izquierdo con el frontón y daño ligero en el campanario de tres niveles

5.3 ATLIXCO

5.3.1 Exconvento del Carmen

El Exconvento del Carmen fue construido en 1550 bajo la orden de las Carmelitas Descalzas. Tres siglos después fue utilizado como cuartel militar. El exconvento se localiza en el costado oriente de la Presidencia Municipal. El conjunto original, que incluía edificios, la iglesia y atrio, está limitado por la Av. Constitución al norte, las calles Nicolás Bravo al sur y 4 Norte al poniente, así como las vías del ferrocarril al oriente.

Los edificios del exconvento se ubican a lo largo del costado poniente del predio. En el costado oriente, en lo que antiguamente era el atrio, se encuentra una arena pública. Al centro del conjunto se encuentran los edificios de las salas y celdas del convento. Estos no poseen techos ni sistemas de piso (fig. 5.25). Únicamente los muros exteriores están en pie. Los edificios son de planta rectangular. Están contruidos con mampostería de piedra con algunas adiciones; así como dinteles de puertas y ventanas hechos de tabique de barro recocido.

Durante el recorrido se observó agrietamiento vertical en la esquina sureste del edificio sur. Si bien parece que el origen del agrietamiento data de tiempo atrás, según testimonios de vecinos y personal de la Coordinación Municipal de Protección Civil, éste se extendió y aumentó su anchura con el sismo de Tehuacán. En el edificio norte de habitaciones no se observó daño atribuible al sismo.



Figura 5.25 - Vista de una de las salas del Exconvento del Carmen

Actualmente, la iglesia del exconvento no está destinada al culto religioso, se encuentra en proceso de restauración a través de un patronato asesorado por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). La planta de la iglesia tiene forma de cruz latina. El altar estaba orientado en dirección N30E. Los muros de las naves de la iglesia están hechos de mampostería de piedra, mientras que la portada está hecha de mampostería de piedra y pedacería de tabiques de barro. Adicionalmente, existen cúpulas aproximadamente esféricas y bóvedas circulares que forman el sistema de techo en el cuerpo de la iglesia.

La portada tiene una traza en planta con forma de V, con dos contrafuertes rectangulares en sus extremos. Durante la breve inspección realizada se observaron varias grietas longitudinales en la bóveda de coro, así como grietas en la cúpula que siguen paralelos. Destaca un par de grietas inclinadas anchas en la portada (fig. 5.26), mismas que inician en la imposta del arco de la bóveda de coro. En la superficie de la portada, se observaron rastros de lechada de cemento o similar derramada durante los trabajos de obturación de la grieta anteriores al sismo. Dado el fisuramiento existente, no fue posible identificar con claridad daño alguno atribuible al sismo de Tehuacán.

5.3.2 Parroquia de Santa María de la Natividad

Esta edificación es uno de los principales atractivos turísticos de Atlixco. Se ubica en el primer cuadro de la ciudad, al costado norte de la Presidencia Municipal. Se trata de una estructura antigua muy bien conservada. No se encontraron evidencias de humedades ni filtraciones en el recorrido. De acuerdo con el personal de la Coordinación Municipal de Protección Civil, hace menos de un año fue pintada totalmente por el exterior (fig. 5.27).

La Parroquia de Santa María de la Natividad tiene planta de forma aproximadamente rectangular, una fachada sencilla perforada por dos ventanas que es coronada con un frontón. La fachada cuenta con una torre de campanario de dos niveles en su lado derecho. La torre del campanario está rematada con una linterna perforada en cuatro puntos y cupulín. El sistema de techo está resuelto mediante bóvedas esféricas y nervadas, aparentemente de mampostería de barro recocido. Al momento de la visita, la iglesia se encontraba cerrada.



Figura 5.26 - Detalle del daño en la fachada de la Iglesia del Exconvento del Carmen

El daño en la Parroquia de Santa María se concentró en la torre del campanario. Se apreciaron grietas, aparentemente por corte, en una de las columnas de esquina del primer nivel (fig. 5.28). La orientación del daño permite asociarlo a posibles movimientos de torsión de la parte superior de la torre. Adicionalmente, se observaron agrietamientos ligeros en algunas de las cúpulas. En algunos casos, dichos agrietamientos seguían la traza de las nervaduras de las cúpulas (a lo largo de los meridianos).



Figuras 5.27 y 5.28 - Vista panorámica y detalle del daño en la torre del campanario de la Iglesia de Santa María de la Natividad

5.3.3 Palacio Municipal

La Presidencia Municipal se encuentra en el lado oriente de la Plaza de Armas de Atlixco. Ocupa un edificio de dos pisos con un patio central. El edificio tiene una planta rectangular y ocupa una manzana. El exterior del edificio es sencillo; solamente tiene un remate con un reloj y una campana (fig. 5.29). Está decorado con losetas de barro y azulejo tipo talavera. El interior del edificio está decorado con azulejo tipo talavera así como con pasamanos y barandales de hierro forjado. Durante la inspección sólo se observó un fisuramiento horizontal de fracciones de milímetro de anchura en la columna de la esquina noroeste. La fisura corresponde a la altura del sistema de piso del nivel superior. Se presume que se debió al desplazamiento horizontal del sistema de piso que provoca demandas de flexión en las columnas, como era de esperarse en un sismo de esta intensidad. Adicionalmente, se observó el desprendimiento de algunos recubrimientos en la zona del reloj, en el frontón del edificio. El resto del edificio no exhibió daño alguno. Los daños no comprometen la seguridad estructural del inmueble.



Figura 5.29 - Vista general del Palacio Municipal

5.4 CHAPULCO

5.4.1 Iglesia de Chapulco

La iglesia se encontraba cerrada al momento de la inspección, por lo que no se tuvo acceso. La planta tiene forma de cruz latina y su eje longitudinal se encuentra orientado en dirección EO. En el cuerpo de la nave principal se tienen adosados unos contrafuertes de piedra de forma rectangular. No se pudo observar si la cubierta de la nave era una bóveda. Del crucero arranca un tambor octagonal perforado con ventanas donde descansa la cúpula. La fachada está formada por el pórtico, una ventana de coro y un frontón compuesto por dos figuras geométricas, en la parte baja por un trapecio y en la parte alta un cuadrado con reloj. Además, tiene dos torres de las cuales sólo sobre el cuerpo de la torre sur sobresale un campanario de dos niveles con tambor donde remata un cupulín (fig. 5.30).

Los daños observados fueron agrietamiento horizontal de las columnas que forman el tambor del campanario, grietas inclinadas en el cuerpo de la torre sur, además de grietas que parten de la intersección de esta torre y la parte media de la fachada. Una de estas grietas baja verticalmente hasta la ventana inferior y las demás grietas inclinadas dejan ver el movimiento del campanario en dirección NS. El cuerpo de la torre del lado norte, presentó una grieta inclinada que posiblemente siga la rampa de la escalera que se encuentra dentro de este cuerpo. En toda la longitud de la base del frontón se apreció una grieta horizontal. También se observaron algunas grietas reparadas en algunos contrafuertes, producidas en otros eventos sísmicos (fig. 5.31).



Figuras 5.30 y 5.31 - Vista frontal de la Iglesia de Chapulco y daño en campanario

Resulta interesante notar que los dos niveles del campanario no experimentaron daño alguno. Fue clara la presencia de columnas y arcos presumiblemente de concreto que fueron adosados al interior de las columnas y arcos del campanario. Sin duda, esta técnica de refuerzo, seguramente practicada a raíz de sismos previos, evitó el daño en esos niveles. Llama la atención que la torre del lado norte tiene un cuerpo exactamente igual al del sur, pero carece de campanario. Es posible que éste colapsara o fuese demolido después de otro sismo.

Se recomienda que se asegure la estabilidad del tambor y cupulín del campanario por el riesgo que existe para los feligreses. Se debe apuntalar y sujetar para su reparación o en su defecto se recomienda su demolición. Por lo que corresponde al resto de la iglesia se considera que no está en riesgo la estabilidad y sólo se deberán realizar las reparaciones necesarias.

5.5 CHOLULA DE RIVADABIA

5.5.1 Capilla Real

Esta capilla forma parte del exconvento de San Gabriel y es una de las principales atracciones turísticas del lugar por su imponente arquitectura (fig. 5.32). Se localiza en la esquina de la Av. 4 Norte y la calle 6 Oriente, en San Pedro Cholula. Esta edificación tiene ocho crujías en una dirección y nueve en la otra. Los claros, de alrededor de 8 m, están salvados mediante arcos de medio punto en ambas dirección. El sistema de techo está resuelto mediante cúpulas deprimidas de mampostería de planta aproximadamente circular. Las columnas que soportan los arcos tienen fuste, basamento y capitel de piedra. Adicionalmente, existen catorce muros de adobe colocados en la dirección transversal de la iglesia, siete en cada lado, que funcionan como contrafuertes en dicha dirección y que forman capillas interiores. Durante el recorrido se encontró evidencia de reparaciones de algunas cúpulas (fig. 5.33).

El daño observado se concentra en el ábside. Se registró el colapso de una cúpula en una de las crujías de la fachada posterior (fig. 5.34) y el agrietamiento de prácticamente todas las cúpulas que se localizan en la

periferia, próximas a los muros que refuerzan la estructura en el sentido transversal (fig. 5.35). En la fig. 5.36 se muestra una planta general de la Capilla Real en la que se destacan las cúpulas con daño.



Figuras 5.32 y 5.33 - Vista panorámica de la Capilla Real y reparaciones en cúpulas mediante relleno de grietas

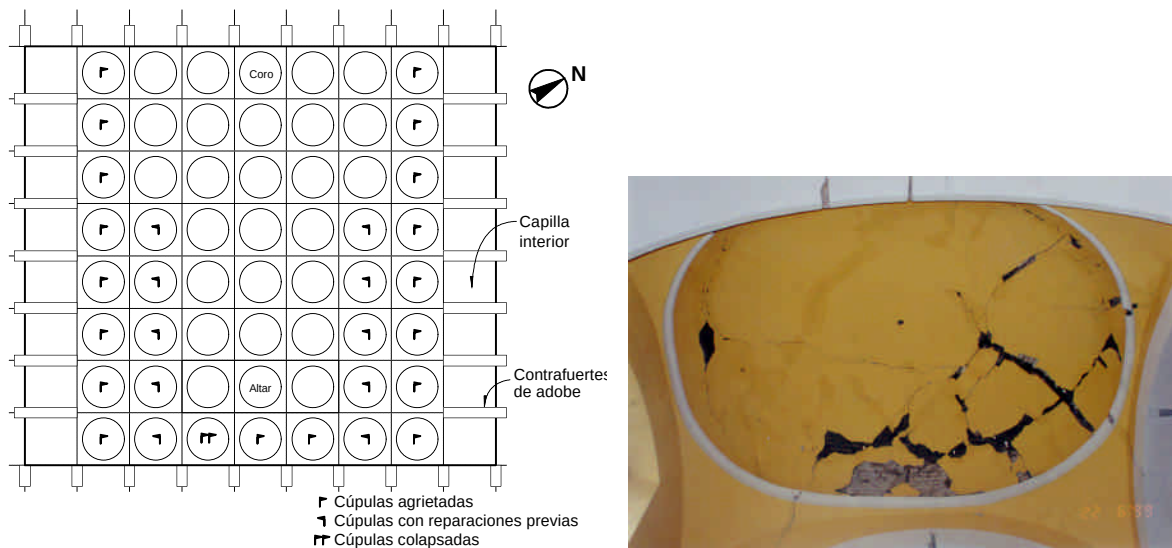
El conjunto de contrafuertes internos y externos, tanto en las direcciones transversal como longitudinal, forma un importante tubo rígido y resistente. Sin embargo, las columnas interiores son más flexibles lateralmente. Muy probablemente, la demanda de deformaciones relativas entre el tubo rígido y el sistema columnas-arcos-cúpulas provocó el daño en arcos y cúpulas de la periferia.

El daño típico de las cúpulas consistió en el agrietamiento en dos direcciones. Se observaron algunas grietas que dibujan “gajos” hacia el centro de la cúpula siguiendo meridianos y otras que siguen paralelos (fig. 5.37).



Figuras 5.34 y 5.35 - Colapso de una de las bóvedas y agrietamiento de otras en crujeas interiores

La estabilidad de la estructura en su conjunto, no se encuentra comprometida.



Figuras 5.36 y 5.37 - Distribución del daño en cúpulas y daño típico de las mismas

5.6 CIUDAD SERDÁN

5.6.1 Iglesia de Cosamaloapan

Se ubica sobre la carretera que llega de Tehuacán. Tiene la forma básica de cruz latina en planta, con el cuerpo de la torre izquierda y un contrafuerte simulando el cuerpo de torre derecha vista desde la fachada. La torre izquierda posee dos niveles de campanario. A lo largo de la nave se tienen tres crujías, la nave crucero, y el ábside. La fachada es sencilla, perforada por un portón y una ventana de coro; está rematada por un frontón lobular (fig. 5.38). El altar se orienta hacia el este.



Figura 5.38 - Iglesia de Cosamaloapan

Se observó el colapso de la estructura de la linterna y el cupulín sobre el campanario, así como agrietamientos inclinados hacia abajo y afuera en el cuerpo de la torre y en el contrafuerte de la fachada. En la fig. 5.39 se muestra un esquema del daño observado desde el exterior. Las columnas de los campanarios no aparentan tener daño alguno. Cabe hacer notar que en las aberturas de los campanarios se aprecia lo que probablemente es un esquema de refuerzo que fue observado posteriormente en otras iglesias de la ciudad. Este consiste en un arco de concreto reforzado adosado al interior de las aberturas.

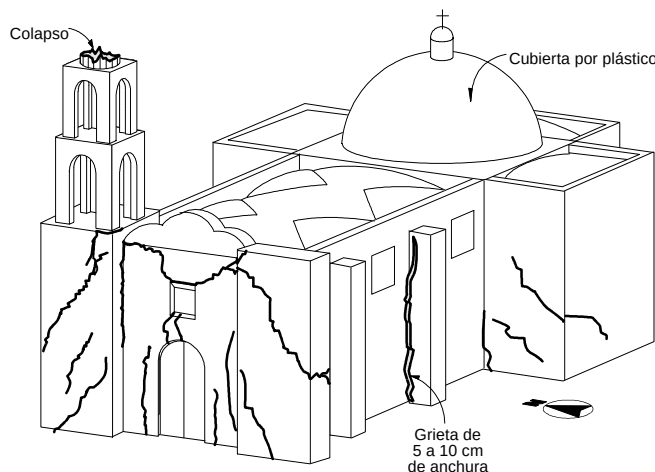


Figura 5.39 - Esquema del daño exterior

En la fachada se presentó agrietamiento horizontal en la base del frontón, y vertical entre la ventana del coro y el portón, así como grietas verticales a cada lado del portón y entre el cuerpo de la torre y el resto de la fachada. Se observó agrietamiento vertical en la unión de uno de los contrafuertes con los muros de la nave principal, con aberturas de grieta entre 5 y 10 cm. Se encontró también agrietamiento diagonal en uno de los muros laterales del ábside desde una ventana hacia la esquina inferior del muro, al igual que en los contrafuertes del crucero. La cúpula estaba cubierta por un plástico por lo que no se pudo apreciar el daño, aunque parece obvio que sí existe ya que se trata de evitar la entrada del agua de lluvia.

5.6.2 Iglesia del Sagrado Corazón de Jesús

Se ubica en la esquina de las calles 7 Oriente y 3 Sur. En planta tiene forma de cruz latina como base, sin embargo, los lados de la nave están cerrados con muros (en la zona de los contrafuertes), para aprovechar el espacio, con lo que cubre un área aproximadamente rectangular en planta. La fachada da hacia un estrecho atrio con el acceso lateral hacia la calle. La fachada es simple, con frontón semicircular, portón y ventana del coro. Posee dos torres con campanario de un nivel, más un tambor octagonal rematado por una cubierta en forma de pirámide de base octagonal. Sobre el crucero se tiene un elevado tambor cilíndrico con ocho ventanas y una cúpula ligeramente ojival rematada por una linterna. La inspección se hizo desde el exterior del inmueble.

El daño se caracterizó por agrietamiento horizontal rodeando la base de las columnas del campanario, y grietas que arrancan de la cornisa, en la base del campanario, y bajan verticalmente hasta cierta altura del cuerpo de la torre izquierda. Por la fachada se observan grietas diagonales en el cuerpo de las torres que corren hacia abajo y afuera. Otros agrietamientos y daños se tuvieron entre la fachada y el cuerpo de torre derecha, y grietas verticales sobre el portón y ventana del coro (figs. 5.40 y 5.41).



Figuras 5.40 y 5.41 - Daño en la cúpula y cuerpo de la torre

En las columnas del tambor, (o tramos de muro entre ventanas) se presentaron grietas horizontales. Se generó una grieta principal en la cúpula del crucero, arrancando de la clave del arco de una de las ventanas del tambor y siguiendo zigzagueante un meridiano de la cúpula hasta llegar a la linterna. En la fig. 5.42 se presenta un esquema de la distribución del daño exterior.

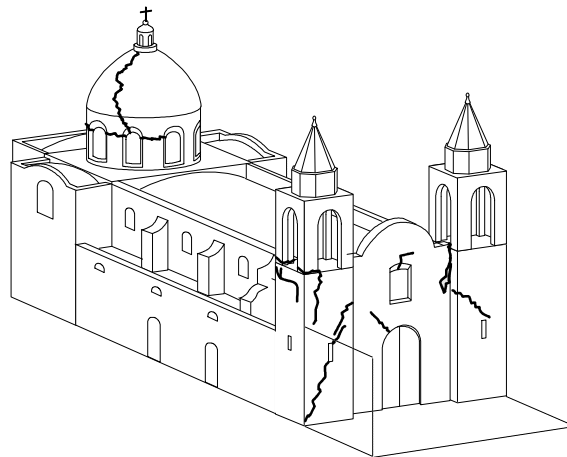
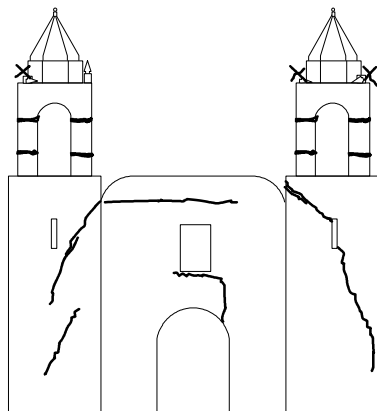


Figura 5.42 - Esquema del daño exterior

5.6.3 Iglesia de San Francisco

Se ubica en la Avenida 2, entre B. Zetina y 16 de Septiembre. Su forma en planta es de cruz latina, pero con algunas estructuras ocupando algunos cuadrantes laterales. Se observa poco mantenimiento dado el aspecto exterior del inmueble. Su fachada es sencilla; cuenta con un portón y una ventana del coro. La iglesia de San Francisco posee dos torres con campanario de un nivel, cilindro y cubierta piramidal; estos últimos con base octagonal. En las cuatro esquinas de las torres había almenas como ornamento. La cúpula principal descansa sobre un tambor octagonal con ventanas en cada cara del tambor. El altar está orientado hacia el norte.

El daño principal fue en forma de agrietamiento horizontal en la base de las columnas de campanario, así como en sus extremos superiores donde arrancan los arcos de las aberturas (figs. 5.43 y 5.44). Se ve un deterioro importante del recubrimiento de la torre así como alrededor de las grietas horizontales y las grietas en la clave de los arcos del campanario. La mayoría de las almenas sobre el campanario se volcaron, y la cruz de una torre y de la cúpula, perdieron el concreto dejando sólo una varilla de acero.



Figuras 5.43 y 5.44 - Esquema del daño exterior y detalle del daño en la torre izquierda

Los cuerpos de las dos torres muestran agrietamiento inclinado hacia abajo y afuera; la torre derecha tiene una grieta con abertura de 3 cm, aproximadamente. Hay también grietas sobre el portón y en la base del frontón. Las grietas en las torres aparentan haber sido resanadas con anterioridad y que se volvieron a abrir. En los contrafuertes del crucero se aprecian grietas inclinadas siguiendo la tendencia general observada hacia fuera y abajo. En el tambor de la cúpula principal se distinguen algunos agrietamientos inclinados que suben hasta las ventanas, en donde se observa algo de deterioro probablemente causado por la falta de mantenimiento más que por sismos.

5.6.4 Parroquia del Padre Jesús

Se encuentra en la plaza central de Ciudad Serdán, y posee una planta de cruz latina, con construcciones anexas a los costados de la nave con sus respectivas cúpulas y que sirven como capillas y oficinas. Su fachada está ornamentada con columnas y cornisas que apoyan esculturas de ángeles. Posee un frontón circular y los cuerpos de las dos torres. El de la izquierda tiene dos niveles de campanario, un nivel de tambor octagonal y una cubierta en forma de campana (fig. 5.45). Cada nivel de campanario tiene dos ventanas en cada cara. El cuerpo de torre derecha tiene un reloj en su parte superior. La transmisión de los coceos de la bóveda se hace por tímpanos hacia los contrafuertes. La orientación del altar es hacia el este.

El daño se presentó en forma de grietas tanto verticales como inclinadas en la parte superior del cuerpo de la torre izquierda (fig. 5.46), agrietamiento vertical en la fachada sobre la ventana del coro y agrietamiento inclinado en los contrafuertes del crucero, partiendo de las esquinas de las ventanas hacia abajo. Además, grietas en muros de los cuerpos anexos, en los tambores de las cúpulas de estos mismos y daño en las linternas de remate sobre estas cúpulas secundarias.



Figuras 5.45 y 5.46 - Parroquia del Padre Jesús y detalle del daño en la parte posterior de la torre

Es interesante hacer mención de que no se presentaron daños en las columnas de los campanarios como en la mayoría de las iglesias visitadas. Esto probablemente se debe a que tiempo atrás se rehabilitó la estructura con unos arcos de concreto reforzado que rodean el intradós de las ventanas del campanario. Otro dato curioso es que todos los postes de iluminación del atrio de la iglesia están inclinados hacia el lado izquierdo (norte). Estos postes se sujetan por cuatro tornillos en su base de fierro fundido.

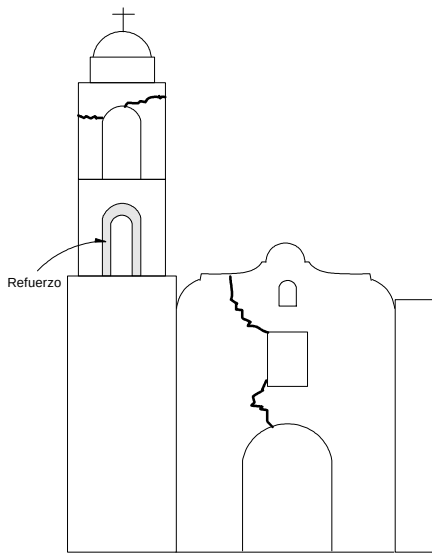
5.6.5 Iglesia de Dolores

Está ubicada en la calle 5 Poniente. Es una pequeña construcción con planta de cruz latina. Su fachada tiene una ventana de coro y un nicho, este último debajo del remate del frontón. Posee una torre del lado izquierdo, con dos niveles de campanario y un cupulín. Del lado derecho posee un contrafuerte de sección cuadrada pero de dimensiones mucho menores que la torre izquierda, con una almena en su parte superior. El altar está orientado hacia el norte.

La estructura estaba en proceso de mantenimiento durante el sismo. Recientemente se le había colocado un aplanado de mortero en su exterior. Se observó un agrietamiento sensiblemente vertical bajando por el frontón y terminando en la esquina superior izquierda de la ventana del coro. A partir de la esquina inferior izquierda de esta ventana se observó una grieta que llegó a un costado de la clave del portón. Además presentó agrietamiento horizontal en la parte superior de las columnas del segundo nivel de campanario, grietas que se extendían hasta la clave de los arcos de las aberturas. El primer nivel del campanario no tuvo daño. Es probable que se haya debido al refuerzo de los arcos en su interior mediante arcos adosados de concreto reforzado (figs. 5.47 y 5.48).

5.6.6 Iglesia de Guadalupe

Se ubica en las calles 6 Oriente y 2 Norte. Es una estructura con planta en forma de cruz latina. Los contrafuertes están formados por estructuras cilíndricas en pareja, conectadas a los muros de la nave. El frontón es aproximadamente semicircular. La fachada está adornada con la ventana de coro, así como por columnas y nichos.



Figuras 5.47 y 5.48 - Esquema del daño exterior y detalle del daño en la torre izquierda

La iglesia tiene dos torres; la izquierda tiene un doble nivel de campanario rematado por un tambor octagonal y cupulín. La cúpula se proyecta sobre el crucero y descansa en un tambor octagonal con ventanas tipo *ojo de buey* en los cuatro lados principales. El altar se orienta aproximadamente hacia el este.

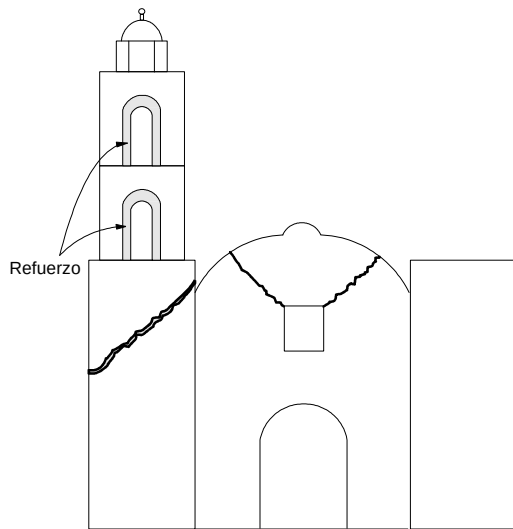
Los principales daños fueron agrietamiento inclinado en el cuerpo de la torre izquierda y un par de grietas inclinadas en el frontón que parte de las esquinas superiores de la ventana del coro. Se observó que los dos niveles de campanario están reforzados por arcos de concreto reforzado adosados al intradós de los arcos y columnas. Esto puede explicar por qué no se tuvo daño en el campanario. Bajo las ventanas del tambor de la cúpula principal se formaron grietas inclinadas que se extienden hacia la base del tambor (figs. 5.49 y 5.50).

5.7 HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA

5.7.1 Edificio Carolino

El Edificio Carolino se ubica en la calle 3 Oriente, entre las calles 4 y 6 Norte, a espaldas de la Iglesia de la Compañía, en el Centro Histórico de la ciudad de Puebla. Actualmente, este edificio aloja diversas instalaciones administrativas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Se trata de un conjunto de edificaciones del período barroco que fue construido durante la presencia jesuita en Puebla. Alguna vez, este edificio y la Iglesia de la Compañía estuvieron comunicados mediante pasillos que actualmente están cerrados mediante muros de mampostería.

A pesar de tener una planta rectangular más o menos regular, la distribución estructural del Edificio Carolino es muy compleja. Presenta tres patios alrededor de los cuales se ubican corredores y salones de diversos tamaños y alturas. Se apreciaron diversas modificaciones efectuadas a la estructura original. Los cambios más notables son el relleno de arcos mediante muros de mampostería para formar nuevas salas y la construcción tanto de nuevos entresijos con objeto de aprovechar las grandes alturas originales, como de accesos y escaleras a los mismos. También se detectaron reparaciones menores mediante repellados de mortero o cal.



Figuras 5.49 y 5.50 - Esquema y vista general del daño exterior

El daño del Edificio Carolino se concentra en la zona del llamado tercer patio, hacia el extremo este de la estructura (fig. 5.51). En los corredores perimetrales del tercer patio se presentaron desprendimientos de grupos de piezas de mampostería en las claves de bóvedas y arcos tanto en la planta baja como en el primer nivel (figs. 5.52 y 5.53).

Adicionalmente, existen grietas longitudinales en dirección EO en el piso del primer nivel del corredor norte del tercer patio (fig. 5.54) que hacen suponer que los corredores perimetrales presentaron movimientos hacia el centro y hacia fuera del patio provocando el trabajo por flexión de los arcos que, al carecer de una restricción lateral adecuada, condujeron a la separación de los ejes de columnas interiores y al daño sobre el espinazo de las bóvedas de los corredores.



Figura 5.51 - Vista general del tercer patio del Edificio Carolino

Cercano al tercer patio se encuentra el Salón Melchor de Covarrubias. En este salón se observaron agrietamientos en las claves de bóvedas y arcos, desprendimiento de material de ornato de yeso y algunas grietas en muros y claves de puertas (figs. 5.55 y 5.56). En el extremo norte del tercer patio se encuentran

algunos accesos a un tercer nivel que fue construido con objeto de aprovechar las dobles alturas originales del edificio.



Figuras 5.52 y 5.53 - Corredor perimetral del tercer patio (plantas alta y baja, respectivamente)

En esta región del edificio se hicieron patentes algunos agrietamientos que siguieron la traza de los arcos originales (fig. 5.57). Asimismo, la construcción de nuevos entrepisos agregó restricciones laterales a los arcos originales formando *arcos cortos* que transmitieron mayores fuerzas a nivel de los entrepisos contruidos. Las modificaciones al sistema estructural original son una probable causa del daño en las claves de bóvedas y arcos en dichas zonas (figs. 5.58 y 5.59).



Figura 5.54 - Piso del corredor norte



Figuras 5.55 y 5.56 - Agrietamiento en bóvedas y muros del Salón Melchor de Covarrubias

En el recorrido por el Edificio Carolino no se encontró daño aparente en el segundo patio ni en sus zonas vecinas. Sin embargo, se observaron ligeros agrietamientos alrededor del primer patio. El daño se concentra en la parte posterior del Auditorio y en las claves de las cúpulas que forman el entrepiso perimetral del primer patio (fig. 5.60). Adicionalmente, se registraron agrietamientos en el muro de colindancia con la Iglesia de la Compañía. Nuevamente, estos agrietamientos siguen la traza de antiguos arcos que fueron cerrados.



Figura 5.57 - Agrietamiento que sigue la traza de un arco relleno con muro de mampostería

De acuerdo con lo observado, no se considera que la estabilidad general de la estructura esté comprometida. Se debe diseñar, sin embargo, un esquema de reparación y rehabilitación que contemple la recuperación, en lo posible, del esquema estructural original.



Figuras 5.58 y 5.59 - Daño en cúpulas por la formación de arcos cortos

5.7.2 Iglesia de la Compañía

La Iglesia de la Compañía se localiza sobre la calle de Juan de Palafox y Mendoza, a espaldas del Edificio Carolino del cual formó parte durante la presencia jesuita en Puebla. Se trata de una bella estructura del período barroco.



Figura 5.60 - Agrietamiento en la bóveda nervada del primer patio

La Iglesia de la Compañía tiene una planta rectangular. En el sentido corto presenta dos torres de alrededor de 20 m de altura alojadas en dos crujías exteriores de unos 6 m de claro. La crujía central tiene alrededor de 8 m de longitud (fig. 5.61). En la dirección larga existen cuatro crujías de unos 6 m de longitud y una mayor, que aloja al altar, de alrededor de 12 m de longitud. En la estructuración de esta edificación destaca el portal de fachada que soporta ambas torres con sus campanarios y que se encuentra fuera de la traza del cuerpo principal formado por la iglesia y el edificio vecino (Edificio Carolino). Como ya se estableció en la sección 5.7.1, durante algún tiempo la Iglesia de la Compañía y el Edificio Carolino estuvieron comunicados. Actualmente se encuentran separados por muros de mampostería que rellenan antiguos arcos.



Figura 5.61 - Portal de la Iglesia de la Compañía

De acuerdo con las indicaciones del sacerdote responsable de la iglesia, personal del Instituto Nacional de Antropología e Historia había hecho una visita previa y había prohibido la entrada dadas las condiciones de la estructura. Sin embargo se pudo hacer una inspección general por el exterior y observar el daño interior desde la sacristía, atrás del altar.

El daño en la Iglesia de la Compañía se localiza en dos regiones específicas. Una es el portal de fachada y la segunda en las crujías longitudinales ubicadas hacia el norte, paralela a la calle de Juan de Palafox y Mendoza. El daño en el portal se observó en forma de agrietamiento y desconchamiento de la mampostería a lo largo del espinazo de las bóvedas y en uno de los costados de la torre norte (fig. 5.62).



Figura 5.62 - Daño en la torre norte

Asimismo, se observaron agrietamientos inclinados en uno de muros laterales cercanos al portal. En la dirección larga de la iglesia, los daños se concentraron en claves de arcos y bóvedas de la crujía norte (fig. 5.63) y central. Puesto que no se tuvo acceso al interior de la iglesia, no se pudo conocer su estado con mayor precisión. En algunos de los arcos dañados se observaron señales de reparaciones previas. Aparentemente la baja rigidez lateral del portal de fachada ocasionó que se presentaran movimientos que lo desacoplaron del conjunto iglesia-edificio, de mucha mayor rigidez lateral.



Figura 5.63 - Agrietamientos en bóvedas y arcos de la crujía norte

No es suficiente la inspección exterior de la Iglesia de la Compañía para establecer el riesgo de colapso. Con las limitadas observaciones hechas desde la sacristía, se puede concluir que es conveniente apuntalar los principales elementos resistentes a carga vertical para, posteriormente, efectuar un estudio más detallado. Debido al comportamiento exhibido por la estructura se sugiere considerar el desacoplamiento definitivo del portal de fachada del cuerpo de la iglesia.

5.7.3 Palacio Municipal

El Palacio Municipal se encuentra en el zócalo de la ciudad de Puebla. Es una estructura construida en el siglo XVII y modificada hacia principios de este siglo. Es un edificio de planta rectangular de unos 60 m de largo y unos 30 m de anchura. En él se encuentran las oficinas del gobierno municipal (fig. 5.64). La estructuración del palacio está basada en uno de los esquemas tradicionales de la época: una serie de salones ubicados alrededor de un patio central. Se aprecia que, para la adecuación de espacios se han realizado diversas modificaciones arquitectónicas a la distribución original.

El daño en el Palacio Municipal se localizó en dos de las crujías interiores, hacia el sur del patio central. El daño consistió en el colapso de los corredores tanto del primero como del segundo nivel. De acuerdo con la inspección realizada, la causa del colapso fue la caída de alrededor de media docena de almenas de piedra de forma piramidal y de un tramo de balaustrada de alrededor de 15 m de longitud. Debido a la forma de las almenas, éstas penetraron la losa de azotea causando el colapso progresivo de los corredores. En forma secuencial, el colapso de la losa de azotea (techo del segundo nivel) condujo a una sobrecarga de la losa de primer nivel y a su posterior colapso (figs. 5.65 y 5.66).

El sistema de piso de ambos niveles estaba formado por losas artesonadas. Éstas fueron hechas de láminas acanaladas en forma de bóveda apoyadas sobre viguetas de acero en el sentido corto de las losas. Las láminas reciben un artesonado de tabiques de barro y un relleno de tierra para nivelar (fig. 5.67). En distintos puntos de la estructura se pudo observar la falta de mantenimiento al sistema de piso. Las viguetas y láminas se encontraban con altos niveles de corrosión y las láminas acanaladas habían reducido su superficie de apoyo sobre las primeras (fig. 5.68).

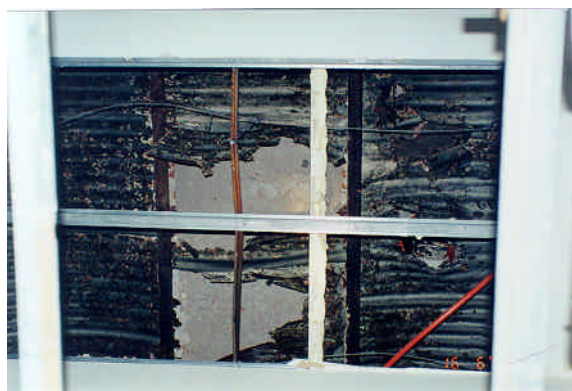


Figura 5.64 - Fachada del Palacio Municipal

En otros puntos de la estructura se detectaron desplazamientos, giros y caídas de otras almenas; sin embargo, éstas no lograron penetrar las losas (fig. 5.69). En la fachada del Palacio, se observaron ligeros desconchamientos en la zona vecina al reloj (fig. 5.70). Es importante señalar que en el costado oeste del Palacio se encuentra el Pasaje Hidalgo, enmarcado por un vitral que no sufrió daño alguno (fig. 5.71).



Figuras 5.65 y 5.66 - Almenas y balaustrada desplomadas; colapso de la losa del segundo nivel



Figuras 5.67 y 5.68 - Detalle del sistema de piso del Palacio Municipal y estado del mismo

De la inspección practicada al Palacio Municipal, se puede concluir que su estabilidad no está comprometida. Se recomienda la reconstrucción de los pisos afectados. La reparación y rehabilitación deberá incluir, desde luego, la revisión de los mecanismos de sujeción de la ornamentación del edificio y del frontón con el reloj.



Figuras 5.69 y 5.70 - Estado de almenas y detalle del daño en el frontón del reloj



Figura 5.71 - Vitral del Pasaje Hidalgo, sin daño

5.7.4 Museo Universitario o Casa de los Muñecos

El edificio se encuentra localizado en la calle 2 Norte esquina con Av. Reforma, en el Centro Histórico. El edificio fue construido en el siglo XVIII. Este edificio cuenta con dos niveles y está construido, en su totalidad, por muros de mampostería y bóvedas. Las fachadas presentan ornatos de talavera y barro; así como figuras de cantera.

Los daños consistieron principalmente en el agrietamiento de algunos muros en el interior del edificio. Las grietas observadas seguían la traza de antiguos arcos que habían sido cerrados mediante muros de mampostería para crear nuevos espacios. En la parte exterior, el daño presentado fue provocado por el golpeteo con la edificación vecina con lo que se observó desprendimiento de acabados (figs. 5.72 y 5.73).

De la inspección realizada, no se considera afectada la estabilidad de la estructura.



Figuras 5.72 y 5.73 - Daño en la fachada del Museo Universitario o Casa de los Muñecos

5.7.5 Iglesia de San Agustín

Esta edificación se encuentra sobre la calle 5 Sur, entre 5 y 3 Poniente. Se trata de una edificación de planta aproximadamente rectangular de gran valor histórico. Debido al estado que presentó después del sismo del 15 de junio, no fue posible el ingreso al lugar.

La inspección exterior del inmueble permitió observar el colapso casi completo del cupulín del campanario y el aplastamiento de uno de los muros longitudinales en la región de apoyo del contrafuerte que restringe el desplazamiento de la torre (figs. 5.74 y 5.75). La estabilidad de la porción de cúpula que se observa en pie es reducida; se recomienda su demolición.



Figuras 5.74 y 5.75 - Torre de la iglesia de San Agustín

5.8 SAN ANDRÉS CHOLULA

5.8.1 Iglesia de Nuestra Señora de los Remedios

De acuerdo con las placas conmemorativas que se observaron en el lugar, esta iglesia franciscana fue construida entre los años 1594 y 1666; derrumbada en 1864, presumiblemente por el sismo ocurrido el 3 de octubre; reconstruida en 1873 y vuelta a reconstruir un siglo más tarde en 1973, después del sismo del 28 de agosto. Esta iglesia se ubica justo sobre la pirámide más alta de la zona arqueológica de San Andrés Cholula (fig. 5.76). Dado que la edificación se encontraba cerrada al momento de la visita, las observaciones se basan en el recorrido realizado por el atrio y los patios que la rodean.



Figura 5.76 - Vista panorámica de la Iglesia de Nuestra Señora de los Remedios

La iglesia tiene una planta en forma de cruz latina de unos 40 m de largo y alrededor de 25 de anchura. Cuenta con dos torres de campanario de dos niveles, rematadas por cupulines y perforadas por ventanas. La portada tiene un par de aberturas al centro. Apparently, el cuerpo original fue construido con mampostería simple de tabique de barro recocido. Posteriormente se agregaron dos apéndices a los lados de las torres, en la

fachada. El sistema de piso de los apéndices es de losas abovedadas (tipo catalana) apoyadas en arcos perimetrales y niveladas con mampostería de tabique. Uno de los apéndices colapsó parcialmente; mientras que el otro resultó severamente dañado y se encontró estabilizado mediante puntales de madera (fig. 5.77).



Figura 5.77- Vista general del daño

El daño de la estructura se observó solamente en la fachada, ya que como se mencionó, no se tuvo acceso al interior. Se observaron grietas inclinadas de hasta 15 cm de anchura en las torres (fig. 5.78). La dirección de estos agrietamientos permite suponer que fueron causados por un efecto combinado de corte y compresión. Apparently, el coqueo del sistema de techo por carga vertical fue incrementado por las demandas sísmicas. Esta fuerza, que debe ser resistida por las torres, provocó el agrietamiento inclinado. Además, se observaron grietas horizontales a la misma altura en ambas torres (fig. 5.79). Estas pueden deberse a juntas constructivas sin una adecuada preparación para proporcionar continuidad estructural o a un movimiento torsional de cuerpo rígido de la parte superior de las torres.



Figuras 5.78 y 5.79 - Agrietamiento inclinado y horizontal en torres de fachada

A ambos lados de las torres de fachada se encontraban sendos anexos que se vieron fuertemente dañados (figs. 5.80 y 5.81). La concentración del daño en estos puntos puede ser explicada por la diferencia

de materiales. Mientras que el cuerpo principal de la iglesia fue aparentemente construido con tabique de barro recocido, los apéndices fueron construidos con adobe.



Figuras 5.80 y 5.81 - Colapso del apéndice derecho y apuntalamiento del izquierdo

En contraste con el daño observado en la fachada de la Iglesia de Nuestra Señora de los Remedios, la parte posterior, constituida por el cuerpo principal, no sufrió daño alguno (fig. 5.82).



Figura 5.82 - Parte posterior de la iglesia, sin daño

De los daños causados por el sismo de Tehuacán, esta iglesia exhibió uno de los niveles más elevados. Lo anterior se debe, probablemente a un efecto de amplificación del movimiento por efectos topográficos, en este caso debidos a la pirámide que soporta a la estructura.

Como se indicó, durante la visita se observó que los trabajos de apuntalamiento ya habían sido iniciados. Se recomendó completarlos a la brevedad con objeto de asegurar provisionalmente la estabilidad general de la edificación y dar inicio a los trabajos de reconstrucción. La secuencia de daño-reparación de esta iglesia en el decurso del tiempo sugiere hacer un estudio detallado de su evolución para conocer con precisión

las causas de las diferentes intervenciones que ha sufrido. Asimismo, se debe evaluar la eficacia de las mismas.

5.8.2 Iglesia de San Andrés

La Iglesia de San Andrés es también una de las principales atracciones turísticas de San Andrés Cholula. Se ubica en la calle 5 de Mayo, entre Ávila Camacho y 3 Oriente. Se trata de una edificación histórica de planta aproximadamente rectangular de unos 20 m de altura. Los muros perimetrales son de mampostería de piedra. La fachada tiene un par de torres con campanario de alrededor de 30 m de altura. En la dirección larga, la estructura cuenta con cuatro cúpulas aproximadamente elípticas apoyadas en arcos torales de medio punto en sus cuatro orillas. En la dirección corta se tiene una crujía principal rigidizada y reforzada lateralmente mediante contrafuertes (fig. 5.83).

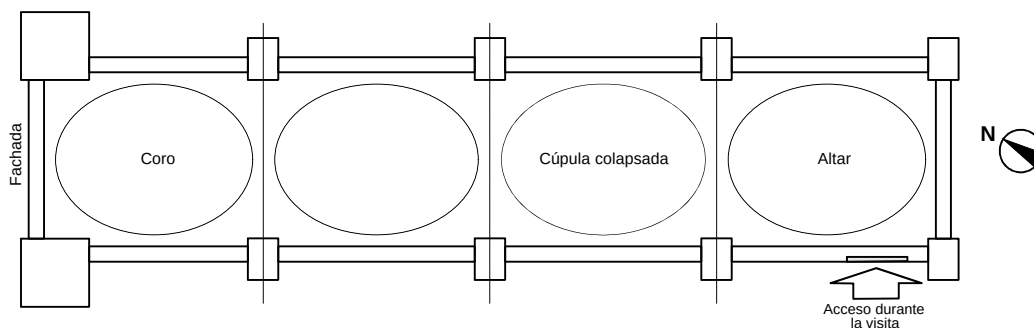


Figura 5.83 - Esquema de la planta principal de la Iglesia de San Andrés Cholula

La iglesia se encontraba desocupada al momento de la visita. El fiscal de la iglesia permitió el ingreso momentáneo para una inspección general. El propio fiscal refirió que, al momento del sismo, dos trabajadores se encontraban haciendo reparaciones y arreglos ornamentales en una de las cúpulas cercanas al coro.

El daño se concentró en dos puntos específicos de la estructura: en una de las cúpulas y en las torres de fachada. De manera similar a otras iglesias, una de las torres del campanario en la fachada presentó grietas inclinadas que arrancaron del contacto entre la torre y la imposta de la cúpula-arco y que terminaron en la base del campanario (fig. 5.84).

El segundo punto de concentración de daño fue una de las cúpulas próximas al altar, que colapsó prácticamente en su totalidad (fig. 5.85). Se observaron grietas que siguen la traza de la directriz elíptica de la cúpula y otras, de tendencia radial, desde las aberturas de la cúpula hacia su cúspide.

No se observaron daños en otros puntos de la estructura. Sin embargo, se perdieron aplanados decorados (frescos) con aplicaciones de laminilla de oro y de yeso en diversos puntos de las cúpulas. A pesar de que el colapso de la cúpula no compromete la estabilidad general de la estructura, se sugirió la colocación de una malla para retener el material suelto que continuaba cayendo desde la bóveda, para dar inicio a los trabajos de recuperación.

De acuerdo con los comentarios del fiscal de la iglesia, la estructura ha sufrido daños en sismos previos y ha sido reparada mediante el relleno de las grietas. Convendrá hacer una revisión detallada de la efectividad de tales reparaciones para decidir sobre los posibles métodos que se emplearán para rehabilitar la estructura.



Figuras 5.84 y 5.85 - Agrietamiento de una de las torres de fachada y colapso de una de las cúpulas

5.9 SAN FRANCISCO ACATEPEC

5.9.1 Iglesia de San Francisco

Esta iglesia se encuentra en la intersección de dos carreteras federales, en el poblado de San Francisco Acatepec. Se trata de una edificación de estilo churrigüesco decorada con mosaico de barro y de talavera. La construcción está rodeada por un muro, aparentemente de mampostería de piedra y tabique de barro (fig. 5.86).



Figura 5.86 - Iglesia de San Francisco Acatepec

A pesar de que no se tuvo acceso al atrio, una inspección a distancia evidenció que no existieron daños estructurales significativos. El estado que exhibe la fachada permite suponer que cuenta con un adecuado

mantenimiento. La fig. 5.87 muestra el único daño evidente. Se trata de un agrietamiento del arco de la pequeña torre izquierda. Este daño no compromete la estabilidad estructural y puede ser reparado de manera relativamente fácil.



Figura 5.87 - Detalle de la fachada

5.10 SAN GREGORIO ZACAPECHPAN

5.10.1 Iglesia de San Gregorio

La edificación se encuentra en el centro de la población, en la esquina de las calles Hidalgo e Iturbide. Se trata de una iglesia sencilla decorada con motivos pintados. La planta es relativamente regular y cuenta con una torre en el extremo izquierdo del portal de fachada. Aparentemente, el sistema resistente a cargas gravitacionales y laterales son muros de adobe recubiertos con mortero (fig. 5.88).



Figura 5.88- Iglesia de San Gregorio

No se tuvo acceso al interior del inmueble. La inspección exterior evidenció que no existieron daños estructurales significativos. La figura muestra el único daño evidente. Se trata de un agrietamiento aproximadamente vertical en el contacto entre la torre del campanario y el cuerpo bajo de la fachada (fig. 5.89). Nuevamente, parece ser el inicio del agrietamiento inclinado que mostraron muchas otras torres de iglesia. Probablemente un sismo mayor hubiera causado grietas más evidentes en la torre, como son los casos de la Iglesia de Nuestra Señora de los Remedios (figs. 5.78 y 5.79) y de la Iglesia de San Andrés, en Cholula (fig. 5.84).

El daño observado exteriormente parece deberse a la diferencia de rigideces ante cargas laterales de cuerpos de diferente altura en la fachada. Sin embargo, dicho agrietamiento no compromete la estabilidad general de la estructura.



Figura 5.89 - Detalle del daño en la fachada

5.11 SAN MATEO OZOLCO

5.11.1 Iglesia de San Mateo Ozolco

No se tuvo acceso al atrio de la iglesia. Sin embargo, se recorrió el perímetro con objeto de identificar algún daño en la iglesia. La iglesia es una pequeña construcción de mampostería de piedra con contrafuertes exteriores. La planta tiene forma de cruz latina con una cúpula rematando el crucero. El altar está orientado sensiblemente al sureste.

La portada es sencilla, con una torre y campanario en el lado oriente, y un frontón simple rematado por un reloj. El cuerpo del reloj está arriostrado en su plano por dos arbotantes de concreto reforzado y presumiblemente apoyado en dos contrafuertes de piedra. La cúpula, arriba del crucero, está apoyada directamente sobre los muros que definen la forma de la planta, sin tambor. Está perforada por ventanas y rematada, a su vez, por una linterna. La cúpula y el cupulín están cubiertos por azulejo. No se observó daño alguno (fig. 5.90).

El portal del atrio exhibió agrietamiento horizontal en el arranque del dintel de la puerta. Se atribuye el daño a demandas en el plano y fuera de él. Al momento de la visita el remate del dintel estaba arriostrado con polines de madera. Si bien el daño es reparable, conviene reforzar el portal para prevenir un desprendimiento parcial o total en sismos futuros.



Figura 5.90 - Iglesia de San Mateo Ozolco

5.12 SAN PABLO DE LAS TUNAS

5.12.1 Iglesia de San Pablo

La fachada de esta iglesia es extremadamente asimétrica. En el lado izquierdo posee una torre con un nivel de campanario y un cubo a modo de tambor para el cupulín. Del lado derecho presenta una estructura como torre pero de menores dimensiones que la del lado izquierdo, y un arco para una campana en la zona correspondiente al frontón. La iglesia experimentó agrietamiento inclinado en el cuerpo de la torre izquierda, y una grieta horizontal en una de las esquinas superiores de la torre derecha (fig. 5.91).

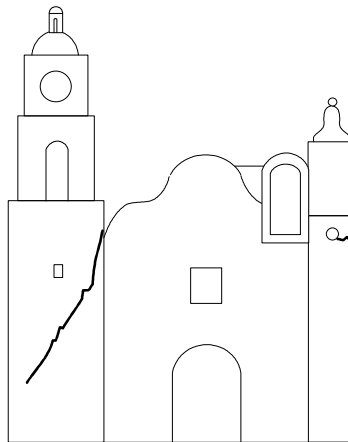


Figura 5.91 - Esquema del daño exterior de la Iglesia de San Pablo de las Tunas

5.13 SAN PEDRO YANCUICTLALPAN

5.13.1 Iglesia de San Pedrito

Esta iglesia tiene una planta aproximadamente rectangular, con algunos cuerpos anexos a su alrededor que presumiblemente alojan los servicios eclesiásticos. Cuenta con una cúpula central y una sola torre con

campanario de doble nivel; la altura de la torre era de unos 10 m (fig. 5.92). Aparentemente, su estructura está compuesta por muros de mampostería de piedra y por muros de adobe. No se logró tener acceso al inmueble, por lo que la observación se limitó a un breve recorrido exterior. El daño se localizó en la torre del campanario. No se observaron daños en los cuerpos anexos.

El daño apareció en forma de grietas inclinadas. El agrietamiento inicia en la interfaz del cuerpo bajo de la fachada con la torre y se prolonga hacia abajo aumentando su inclinación hasta hacerse prácticamente vertical en la base de la torre (fig. 5.93). La orientación de este agrietamiento sugiere una combinación de demandas de cortante y compresión.



Figuras 5.92 y 5.93 - Vista general y agrietamiento de la torre de la Iglesia de San Pedrito

El recorrido exterior llevado a cabo no permite juzgar con certeza las condiciones de estabilidad general de la estructura; sin embargo, ésta parece no estar comprometida. Se recomendó apuntalar la torre del campanario con objeto de hacer una revisión detallada que permita diseñar el método de reparación más adecuado para este tipo de daño.

5.14 SANTA MARÍA LA ALTA

5.14.1 Iglesia de María Concepción

Es una estructura de mampostería de piedra y tabique de barro cuya estructuración en planta tiene forma de cruz latina. La fachada presenta dos torres a los costados, conformadas por cuerpos y campanarios de dos niveles. El primer nivel es de gran altura; el segundo, que puede ser confundido con el tambor de la cúpula, aloja espacio para relojes. Los campanarios están adornados con almenas. La portada está perforada por una ventana rectangular de coro y un portón. Está rematada por un frontón semicircular. En la parte central del crucero se tiene una cúpula con un tambor de dimensión en altura prácticamente igual a la flecha de cúpula. El tambor es octagonal y está perforado por ventanas. La estructura de la nave principal tiene un número reducido de contrafuertes externos distribuidos en toda la periferia.

Los daños observados en este inmueble son de nivel medio a severo en todos los elementos estructurales. Presenta agrietamiento inclinado severo en el cuerpo de la torre frontal izquierda, agrietamiento horizontal severo en la base y parte superior de las columnas del campanario en ambas torres. También se observó agrietamiento vertical ligero y medio en la interfaz de las dos torres con la parte central de fachada; así como horizontal en el frontón de la misma (figs. 5.94 y 5.95). La cúpula presenta agrietamiento severo generalizado y multidireccional. El tambor presenta agrietamiento ligero a medio con forma inclinada a través de los muros alojados entre las ventanas (fig. 5.96). En el muro del ábside se observó agrietamiento medio a severo en la parte superior y en la vecindad de los contrafuertes (fig. 5.97).



Figuras 5.94 y 5.95 - Vista general y detalle del daño en la torre izquierda de fachada

No se pudo acceder al interior de la iglesia pero el daño en los elementos principales es tal que pone en peligro la estabilidad de la estructura y se constituye como zona de gran riesgo la vecindad de la misma por la posibilidad de caída de materiales y elementos estructurales ante nuevos sismos.



Figuras 5.96 y 5.97 - Daño severo en el muro del ábside y de la cúpula central

5.15 TECAMACHALCO

5.15.1 Exconvento Franciscano

Se trata de una sólida estructura del siglo XVI, compuesta por una iglesia principal y una serie de construcciones anexas. La inspección se hizo por el exterior. La iglesia tiene una fachada sumamente sencilla con ornatos alrededor del portón y rematada por almenas en forma de pirámide cuadrada. Posee una ventana de coro. Tiene una torre con un primer nivel del campanario sin aberturas, un segundo nivel y un tambor o tercer nivel que recibe un cupulín. La estructura de dos niveles sobre arcos del lado derecho carece de sistema de piso y muestra el deterioro de los años, mientras que los arcos al lado izquierdo de la iglesia se encuentran rellenos por mampostería. El altar se orienta hacia el sureste.

Se determinó, por informes de los vecinos, que el campanario perdió la linterna y la cruz (fig. 5.98). Se encontró cierto grado de deterioro y falta de mantenimiento; incluso en la cúspide de la torre se observó crecimiento de plantas en la zona de la falla lo que hizo pensar inicialmente que el daño era previo. Se informó también que se presentaron agrietamientos en la nave principal. Se observó que la estructura en sí es suficientemente robusta ya que tiene una densidad de muros y elementos resistentes adecuada para las solicitaciones sísmicas; sin embargo, se tendrá que verificar si se presentó daño en otras partes de la construcción.

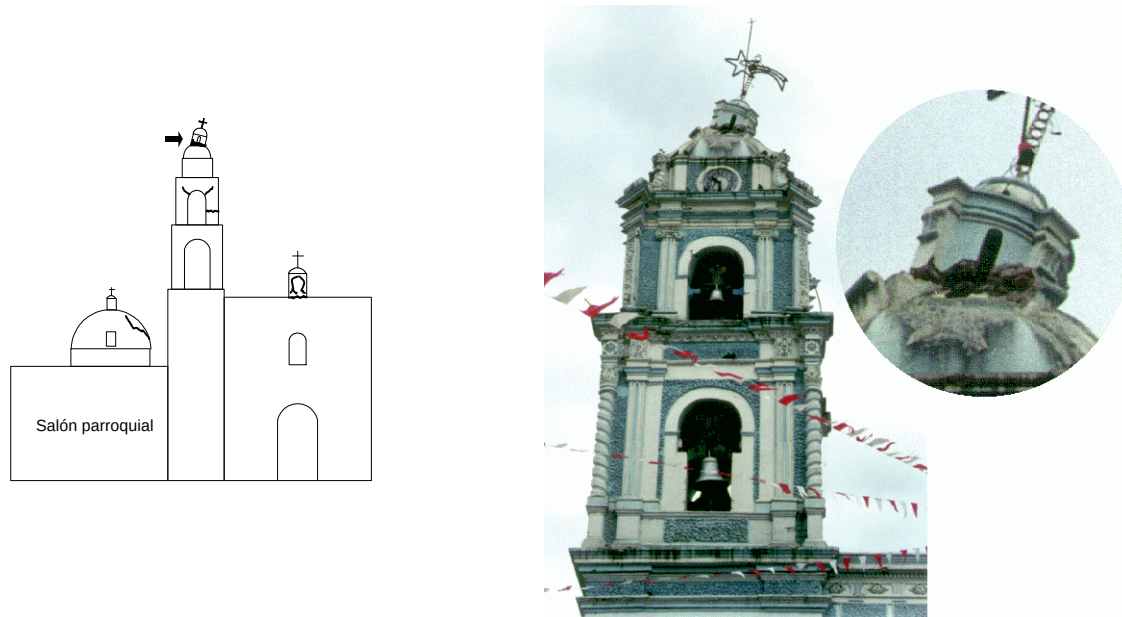


Figura 5.98 - Vista general y detalle del daño en el Exconvento Franciscano

5.15.2 Parroquia de Nuestra Señora de la Asunción

Esta iglesia, construida en 1901, tiene una fachada compuesta por portón, ventana de coro y un remate (almena) que soporta una cruz. Posee una sola torre al lado izquierdo de la fachada. Del lado izquierdo de la iglesia, como estructura anexa, está el salón parroquial que posee una cúpula perforada con cuatro ventanas, soportada por un tambor octagonal. El campanario se forma por dos niveles más un tercer nivel a manera de cilindro del cupulín; sobre éste se tiene una pequeña estructura de linterna. El altar se orienta hacia el este. La estructura está cubierta de un aplanado decorativo. La linterna dañada aparenta estar hecha de tabiques de mampostería.

Se observó la falla total de la linterna sobre la torre; este remate totalmente quedó aplastado en su base e inclinado hacia un lado lo que la deja en condición inestable (figs. 5.99 y 5.100). Se formaron grietas en la imposta del arco del segundo nivel del campanario, así como una grieta horizontal que rodea completamente la columna del campanario a la derecha de la ventana mencionada. La almena de la fachada presentó una grieta horizontal alrededor de su base.



Figuras 5.99 y 5.100 - Esquema del daño exterior y detalle de la torre

En la estructura anexa se pudo observar el daño de la cúpula con una grieta que corre aproximadamente a 45° respecto a meridianos y paralelos y que termina en una de las ventanas.

5.16 TEHUACÁN

5.16.1 Iglesia del Calvario

La Iglesia del Calvario se encontraba cerrada al momento de la inspección, por lo que no se tuvo acceso. Esta iglesia se encuentra ubicada al sur de la ciudad, al inicio de la avenida 3 Sur y su eje longitudinal está orientado en dirección EO. Su forma en planta es en cruz latina. La nave principal tiene dos contrafuertes distribuidos a lo largo de su eje longitudinal. En el crucero se encuentra una cúpula rebajada que remata con una linterna y cupulín. La cúpula está apoyada en un tambor perforado por ventanas. La fachada cuenta con una torre en la parte norte y una almena en la parte sur. Tiene una ventana con arco ojival al nivel de coro y un frontón con un reloj (figs. 5.101 y 5.102). La torre tiene un nivel de campanario y está rematado con un cupulín en forma de campana.

Los daños observados en la Iglesia del Calvario fueron grietas diagonales en el muro del lado norte de la iglesia (lado que se podía observar desde la calle) entre el contrafuerte y el cuerpo de la torre. Se apreciaron grietas en diferentes sentidos en los arcos que se encuentran en el campanario. Las grietas horizontales que se observaron en la fachada norte, coincidían con la dirección y altura de la viga utilizada para soportar la campana. El remate que se encontraba en la cúspide del campanario se destruyó. En la cúpula no se observaron grietas, no así en el cupulín y linterna que resultaron dañados en sus bases.

El frontón presentaba agrietamiento y desprendimiento de material en su base, así como algunas grietas diagonales en diferentes lugares. La almena que se encuentra en el lado sur, presentaba cizalleo en su base, aunque permanecía todavía en su lugar. En la fachada principal se produjo una grieta vertical que partía de la base del frontón y bajaba hasta la clave del portón atravesando la ventana del coro (fig. 5.103).



Figuras 5.101 y 5.102 - Vistas frontal y lateral de la Iglesia del Calvario

A un costado de la Iglesia del Calvario, se encontraban otras tres construcciones del siglo XVII. Una de ellas estaba en proceso de remodelación. Según lo que se pudo apreciar, ésta consistía en un aplanado de yeso para recibir el acabado con pintura. En el muro del coro en la fachada se apreció una grieta inclinada. En las iglesias restantes aparecieron grietas que marcaban la interfaz de las columnas y la portada de fachada (fig. 5.104).

Se considera que el riesgo que presenta la iglesia no es alto. Sin embargo, se recomienda tomar las medidas de seguridad necesarias antes de realizar las reparaciones correspondientes. Se debe mejorar la estabilidad de la almena del lado sur.

5.16.2 Iglesia de San Francisco y Exconvento de la Inmaculada Concepción

La iglesia y el exconvento se encuentran en la calle 1 Oriente frente a la calle Cacho. La iglesia tiene forma rectangular en planta y su eje longitudinal está orientado en dirección EO. Su fachada es muy sencilla; tiene una ventana en el coro y la remata un frontón de forma semicircular. La torre norte tiene un campanario de un solo nivel; en el lado sur la torre está rematada por un cuerpo con arco que puede ser considerado como un campanario simple. No se pudo observar si existía una bóveda o cómo era la forma de la parte superior de la iglesia, ni tampoco se observó si tenía contrafuertes.

Por otra parte, la forma en planta del exconvento es en cruz latina y su orientación es igual que la Iglesia. La nave principal cuenta con tres contrafuertes del lado en donde se tuvo acceso (lado norte), una bóveda y una cúpula de crucero apoyada en un tambor. Esta construcción cuenta con dos entradas, la principal

que es por la calle de Cacho y una segunda que comunica con el atrio del exconvento. En la fachada se tiene un frontón de forma semicircular.



Figuras 5.103 y 5.104 - Grietas en fachada y vista general de las iglesias anexas

Los daños observados fueron, en la Iglesia de San Francisco, grietas en la base del frontón así como desprendimiento de material. Se presentó daño en el apoyo de la columna del *campanario* que se encuentra en el lado sur. También se pudieron observar algunas grietas en el arranque de los arcos del campanario y una más que partía de la base de éste y que bajaba de forma vertical hasta la mitad de la altura de la torre. Se apreció que el material de la construcción era piedra y lodo y que, por falta de mantenimiento y por intemperismo, su calidad era baja (figs. 5.105 y 5.106).



Figuras 5.105 y 5.106 - Vista de la fachada principal y detalle del daño en frontón

Por lo que corresponde al exconvento, se observaron grietas en los muros de los contrafuertes del crucero, apreciables dentro y fuera de la construcción (figs. 5.107 y 5.108). La cúpula presentaba algunas grietas que partían de la base y se proyectaban a la parte superior de la cúpula siguiendo un meridiano. En la bóveda también se observaron grietas que seguían la dirección del espinazo.



Figuras 5.107 y 5.108 - Vistas interior y exterior del muro de crucero

5.16.3 Catedral de Tehuacán

No se tuvo acceso a la Catedral de Tehuacán; sin embargo, de la inspección que se realizó en los alrededores se observó lo siguiente. La catedral se localiza en la parte sur del zócalo de la ciudad y su eje longitudinal está orientado en dirección NS. La planta es en forma de cruz latina y cuenta con cuatro contrafuertes de forma trapezoidal formando cinco crujías. En el crucero se desprende el tambor donde descansa la cúpula y sobre ésta remata un cupulín. El tambor, de planta circular, está perforado por ocho ventanas. La fachada cuenta con ornatos de cantera labrada, nichos, una ventana y un frontón con un reloj. Tiene dos torres de igual altura con sendos campanarios de dos niveles. Los campanarios están rematados por cúpulas que descansan en un tambor octagonal, mismo que está perforado por cuatro ventanas (fig. 5.109).



Figura 5.109 - Vista general de la Catedral de Tehuacán

De la revisión ocular se observó que las torres presentan daño en diferentes lugares. En el campanario del lado este (lado izquierdo vista de frente de la fachada), se observaron grietas verticales en la clave del arco del primer nivel así como grietas horizontales en el arranque de los arcos del segundo nivel (fig. 5.110). Por lo que corresponde al campanario del lado oeste (lado derecho), se presentaron grietas inclinadas en lo que se puede considerar el riñón de los arcos que dan a la fachada principal en el primero y segundo nivel del campanario.

También se observaron grietas verticales y horizontales en la parte oeste de la cúpula (siguiendo paralelos y meridianos), así como desconchamiento del acabado. Tanto en los contrafuertes del crucero como en los que se encuentran ligados a la nave principal se presentaron algunas grietas de diferentes anchuras (fig. 5.111).



Figuras 5.110 y 5.111 - Agrietamientos en el lado oriente del campanario y en el lado poniente de los muros del contrafuerte de crucero

De lo anterior, se considera que la estabilidad de la catedral no se encuentra en peligro, y se recomienda que se realicen las reparaciones necesarias.

5.16.4 Iglesia del Carmen

La Iglesia del Carmen se encuentra localizada en la esquina de las calles 2 Oriente y Reforma Norte; se encontraba cerrada al momento de la visita (fig. 5.112). La forma en planta de la iglesia es de cruz latina y su eje longitudinal está orientado en dirección EO. En los extremos presenta contrafuertes que forman tres crujeas. Del crucero arranca el tambor donde descansa la cúpula. Su fachada está compuesta por un pórtico, ventana de coro, frontón y una torre del lado izquierdo (lado norte) integrada por un cuerpo y dos niveles de campanario. El lado derecho (lado sur) sólo cuenta con el cuerpo de la torre.

De la revisión exterior realizada se observó una serie de grietas en la fachada. Una que comenzaba en la parte alta del frontón y bajaba hasta la clave de la entrada principal. Una más en toda la altura, que sigue la interfaz del cuerpo de la torre del lado sur y la portada. Se observaron grietas inclinadas en los muros del contrafuerte del crucero y desconchamiento de material en la interfaz del frontón con el cuerpo de la torre del lado sur.

De lo anterior, se considera que la estabilidad de la Iglesia del Carmen no se encuentra en peligro y se recomienda se realicen las reparaciones necesarias.



Figura 5.112 - Vista frontal de la Iglesia del Carmen

5.17 TEPEACA

5.17.1 Parroquia de San Francisco de Asís

Se ubica en la plaza central de Tepeaca. La inspección se realizó por el exterior del inmueble. La fachada se compone de pórtico, frontón y una sola torre al lado derecho, integrada por cuerpo, dos niveles de campanario, un tambor y cupulín rematado por una linterna. Se pudo observar la cúpula principal con su linterna. La portada está rematada por una balaustrada, un par de almenas y una figura de un santo en la cúspide del frontón (fig. 5.113). En la parte superior de la torre se aprecia balaustrada y almenas en las esquinas. La fachada es sencilla y está recubierta por aplanado de mortero.

La estructura no presenta daño aparente. Cabe mencionar que las columnas del campanario son relativamente robustas, aunque las linternas de torre y cúpula tienen la esbeltez que en otras iglesias provocaron su colapso. No hubo daño en los remates de la fachada que son elementos frágiles.

5.17.2 Exconvento y Capilla de San Francisco

La inspección se realizó por el exterior del inmueble. No se apreció daño alguno provocado por el reciente sismo, sin embargo el inmueble presenta deterioro importante por falta de conservación.

El edificio tiene planta en cruz latina. El crucero está cubierto por una cúpula principal, con cuatro pequeñas ventanas a sus lados; ésta descansa sobre un tambor octagonal y está rematada por una linterna en su cúspide. Los muros y contrafuertes están hechos de mampostería de piedra natural unidos con mortero pobre. La nave está arriostrada fuera del plano por contrafuertes rematados por almenas y otros adornos (fig. 5.114).



Figura 5.113 - Parroquia de San Francisco de Asís

5.17.3 Iglesia de Santa Apolonia

La fachada se compone de un pórtico, frontón semicircular y una sola torre al lado derecho, integrada por cuerpo, un nivel de campanario, un tambor y cupulín rematado por una estructura cilíndrica tipo linterna. En el arranque del tambor, el campanario tiene almenas de ornato en sus esquinas. La configuración en planta es en cruz latina, con la cúpula principal cubriendo el crucero. El altar está orientado hacia el oeste. La fachada tiene un aplanado de mortero. Los muros laterales de la nave y los contrafuertes están descubiertos por lo que se observa que está construido con mampostería de piedra natural unida con mortero. Aparentemente, algunas grietas en los contrafuertes habían sido reparadas con anterioridad (fig. 5.115).



Figura 5.114 - Capilla del Exconvento de San Francisco

Se observó agrietamiento en el extremo superior de las columnas del campanario, y el desprendimiento total del cilindro que corona la torre. El mismo se encontró girado casi 90° alrededor de su eje vertical y

ligeramente desplazado de su base, pero aún dentro del tercio medio lo que le da precaria estabilidad (fig. 5.116). La parte superior del campanario, arriba del arranque de los arcos, parece haber girado en sentido horario visto en planta.



Figuras 5.115 y 5.116 - Agrietamientos previos en los contrafuertes y detalle del daño en la torre

En la bóveda se observó un agrietamiento que corre sobre el espinazo y que continúa después de la cúpula. Tres de los cuatro contrafuertes del crucero presentan agrietamientos ligeramente inclinados que los corren de arriba hacia abajo y hacia fuera como se presenta esquemáticamente en la fig. 5.117.

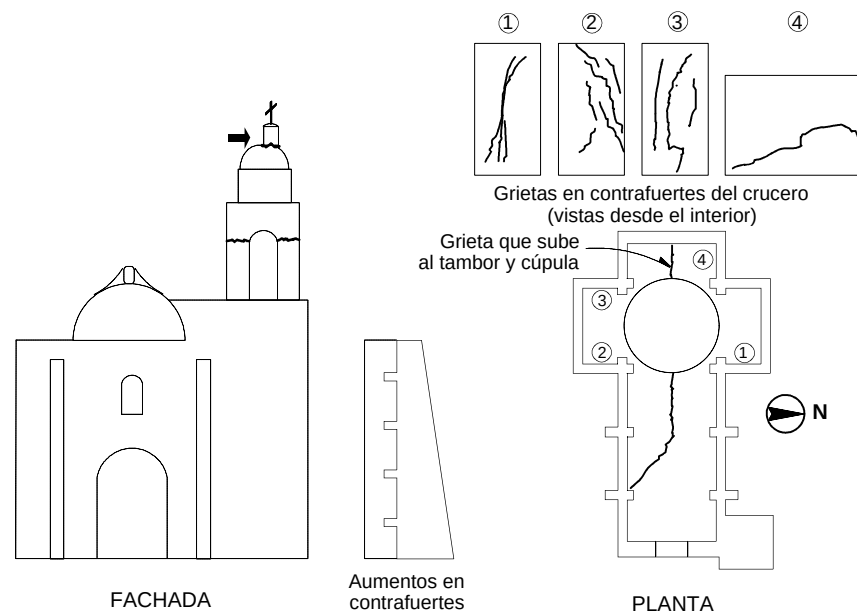
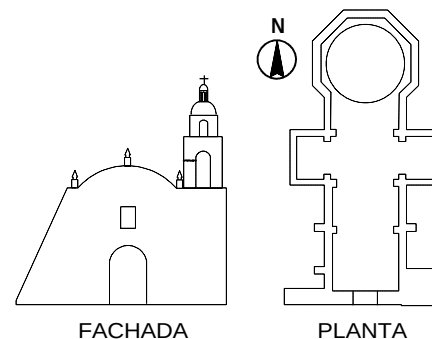


Figura 5.117 - Esquema de los agrietamientos observados

Según los vecinos de la colonia, la estructura tiene aproximadamente 50 años de construida. Hace aproximadamente 40, se aumentó el tamaño de los contrafuertes usando piedra similar a la estructura original, acoplando el elemento nuevo al contrafuerte original con llaves de corte de la nueva mampostería dentro de la original. Además se informó que esta estructura fue dañada por el sismo de 1973, con agrietamientos en los contrafuertes, mismos que fueron reparados con mortero. Se pudo constatar que la reparación cumplió con su finalidad al no abrirse nuevamente estos agrietamientos a pesar de que las demandas de deformación pudieron ser suficientemente elevadas ya que provocaron nuevas grietas pero en diferente posición.

5.17.4 Iglesia del Calvario

La inspección se hizo por el exterior del inmueble que se ubica en la calle 6 Poniente. La fachada se integra por una torre al lado derecho y un contrafuerte inclinado a la izquierda. La cúpula principal no cubre el crucero sino el ábside. El cuerpo del ábside es octagonal y recibe como tambor a la cúpula (fig. 5.118). Algunas ventanas y puertas con arco en este cuerpo octagonal fueron cerradas con mampostería tiempo atrás. El altar está orientado hacia el norte. La estructura completa tiene recubrimiento con aplanado de mortero. En la fig. 5.119 se presenta un esquema general de la Iglesia del Calvario.



Figuras 5.118 y 5.119 - Vista general y esquemas de fachada y planta de la Iglesia del Calvario

Se encontró dañado el campanario con agrietamiento horizontal en una de las columnas posteriores del campanario. La cúpula principal muestra señas de grietas anteriormente reparadas. Sin embargo, no experimentó daño en este sismo.

5.18 TLACOTEPEC DE BENITO JUÁREZ

5.18.1 Iglesia de la Santa Cruz

Esta iglesia se encuentra en el centro de la población, posee forma de cruz latina en planta y tiene dos torres simétricas a los lados de la fachada. La fachada tiene una ventana de coro y dos nichos en el tercio medio. Está rematada por un frontón sobre el cual se instaló una cruz. Las torres se componen de cuerpo, dos niveles de campanario y un tercer nivel o base para el cupulín. En el segundo nivel de campanario de la torre derecha se rellenaron las ventanas en todas las caras. El altar se orienta hacia el sureste.

La cúpula principal cubre el crucero y se apoya sobre un tambor cilíndrico perforado por ocho ventanas. Los contrafuertes laterales son rectangulares en su mitad superior y se ensanchan en la inferior. Algunas estructuras menores se alojan entre los contrafuertes en la parte externa de la nave incluso con

pequeñas cúpulas. En las aristas de la torre derecha se observa un acabado decorativo mediante mampostería de piedra, mismo que no se observa en la torre izquierda.

El daño principal se manifiesta por un agrietamiento en el cuerpo de la torre izquierda, tanto por el frente como por la parte posterior de la misma. Éste empieza aproximadamente horizontal y continúa inclinado hacia abajo y hacia fuera, con tamaños de grieta de 1 y 2 cm que aparentan ser mayores por la caída del aplanado alrededor de la grieta. En las figs. 5.120 y 5.121 se muestran la fachada y la parte posterior de la torre. Se pudo observar agrietamiento y aplastamiento horizontal en el lado derecho superior del cuerpo de la torre referida, producto de la flexión y cortante que generaron la grieta inclinada. Se observó también una grieta vertical entre la parte posterior del cuerpo de la torre y el resto de la nave, dando la impresión de que el cuerpo de la torre tratara de desprenderse de los muros longitudinales de la nave.



Figuras 5.120 y 5.121 - Vista de la fachada y de la parte posterior de la torre

La estructura superior de la torre derecha (tercer nivel de campanario o base del cupulín) sufrió agrietamiento horizontal de una de las columnas. En algunos de los contrafuertes se detectaron grietas verticales que corren entre el cuerpo recto del contrafuerte y el aumento inferior. En algunos contrafuertes del crucero se generaron grietas que terminaban en las ventanas.

También se encontró agrietamiento horizontal que corre a todo lo largo de la base del frontón, posible evidencia de desplazamientos fuera del plano que provocaron demandas de deformación por flexión superiores a la tensión resistente de la mampostería. Esta grieta se conecta con grietas horizontales de la parte superior del cuerpo de la torre derecha. Finalmente se apreció el agrietamiento entre las ventanas del tambor de la cúpula principal, inclinadas 45° y surgiendo de la imposta de los arcos que forman la parte superior de las ventanas. Sobre la cúpula se observaron zonas sin los mosaicos que dan el acabado, pero sin apreciarse agrietamientos; probablemente se deba a una reparación hecha con anterioridad. En la fig. 5.122 se muestra esquemáticamente el patrón de los agrietamientos observados.

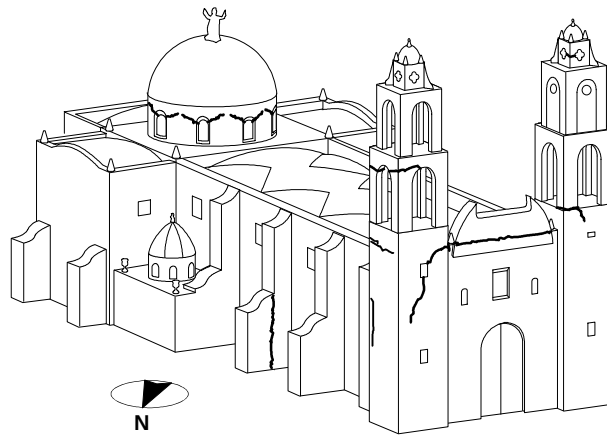


Figura 5.122 - Esquema del daño exterior

5.18.2 Iglesia del Calvario

Se encuentra en la cima de un cerro aledaño a la Iglesia de la Santa Cruz. La inspección fue por el exterior. Sólo se observó la caída del remate y cruz en la cúspide de la torre izquierda (fig. 5.123).



Figura 5.123 - Vista panorámica de la Iglesia del Calvario

5.19 RECOMENDACIONES

5.19.1 Descripción de la Estructuración

La composición arquitectónica de la mayoría de las iglesias visitadas guarda similitudes que permiten entender la estructuración a partir de un modelo tipo. Con base en esto y en las observaciones realizadas, se presenta un análisis del daño registrado en la mayoría de estas estructuras.

Como se muestra en la fig. 5.124, la mayoría de las 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 por lo general en una cruz metálica.

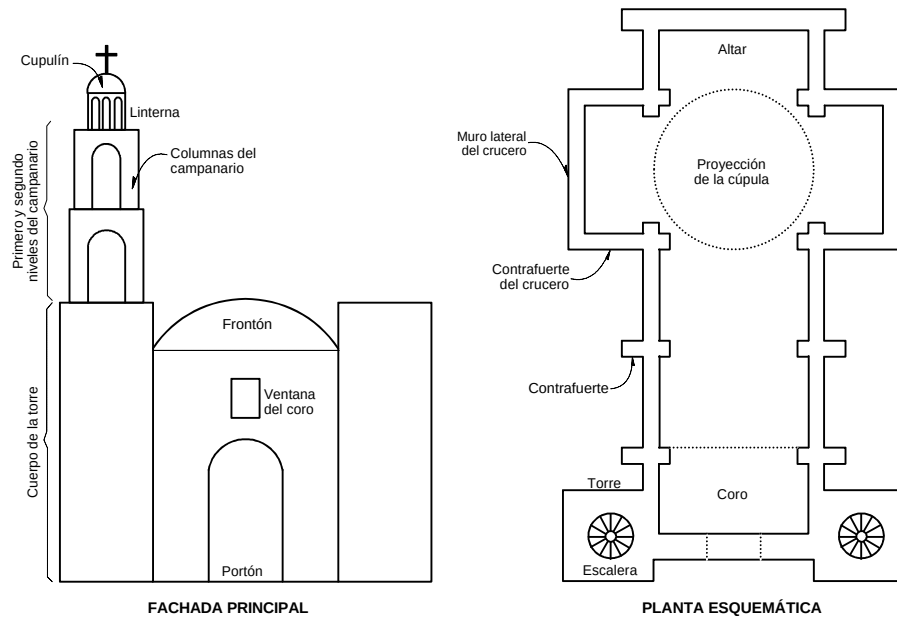


Figura 5.124 - Configuración típica de las iglesias visitadas

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. 5.125). 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.

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. 5.125). 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 la mayoría de los casos, por un tambor con traza circular u octagonal y que está perforado por ventanas.

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.

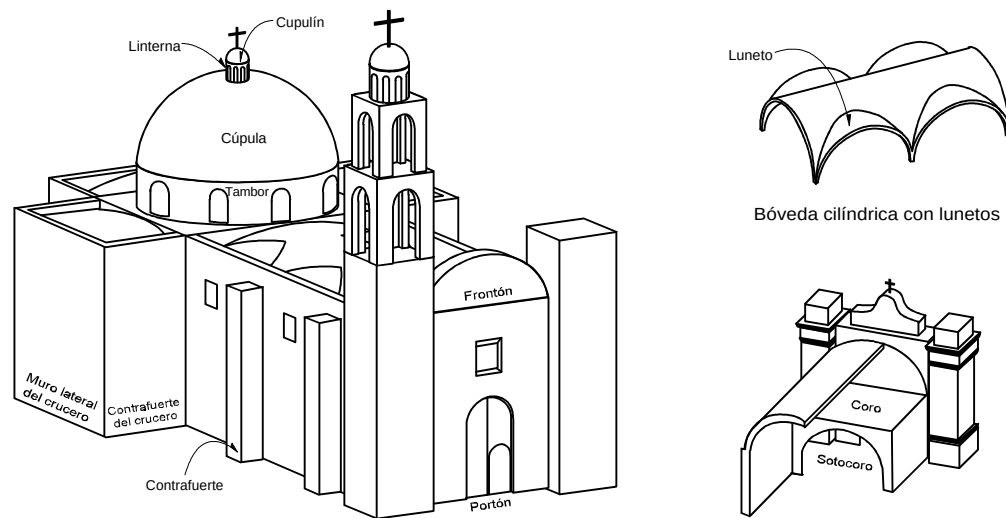


Figura 5.125 - Perspectiva de la configuración típica de las iglesias visitadas

5.19.2 Tipo Principal de Daño

Haciendo una revisión de los daños principales se encontró que, por orden de frecuencia, los elementos más vulnerables fueron los campanarios de las torres y los elementos sobresalientes de cúpulas, torres y fachadas tales como las linternas, cupulines, almenas y otros (tabla 5.1). Fue muy frecuente el agrietamiento horizontal en las columnas de los campanarios. Cuando las linternas, cupulines u otros elementos presentaban aberturas dejando elementos esbeltos como soporte, éstos sufrieron daños que en algunos casos llevaron a su colapso.

Tabla 5.1 - Frecuencia de los daños observados en las iglesias visitadas (44 casos)

Tipo de daño	Número de casos
Agrietamiento en columnas de campanarios	26
Agrietamiento en cuerpo central de fachada	25
Agrietamiento inclinado en cuerpo de torres	18
Daño en linternas	16
Agrietamiento en cúpulas	15
Agrietamiento en bóvedas ¹	14
Agrietamiento en contrafuertes	14
Agrietamiento en tambores	12
Daño o caída de almenas	10

¹ Se pudo observar sólo en aquellas iglesias a las que se tuvo acceso
Esta tabla toma en cuenta la información de la tabla 5.2

Con menor frecuencia, se registraron agrietamientos inclinados en el cuerpo de las torres y en los contrafuertes. La dirección del agrietamiento, fue de arriba hacia abajo y del centro de la nave hacia fuera. Se presentó también 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, así como la presencia de agrietamientos entre las ventanas de los tambores y de grietas siguiendo los meridianos de las cúpulas.

En las iglesias a las que se tuvo acceso se observó agrietamiento longitudinal en el espinazo de la bóveda principal, cruzando la clave de los arcos. En la tabla 5.2 se encuentra la información resumida de las características estructurales y del daño de las iglesias visitadas.

Tabla 5.2 - Daño en las iglesias visitadas

Iglesia	Forma	Rumbo del altar	Cuerpo de torres		Niveles del Campanario		Daño								
			Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho	Contrafuertes	Bóvedas	Cúpulas	Tambor	Cuerpo de la torre	Campanario	Linternas	Fachada	Almenas
AMOZOC DE MOTA															
Parroquia de la Asunción	⛑	N90O	si	si	1	1	si	-	no	no	no	si	si	no	no
Convento de Amozoc	-	-	-	-			-	-	no	no	-	-	SI	-	no
Iglesia de San Antonio de Padua	⛑	N90O	si	si	2	1	no	si	si	-	no	SI	si	si	no
Iglesia de la Purísima Concepción	⛑	N80O	si	no	2	0	no	-	no	no	no	si	si	no	no
Iglesia del Barrio de la Preciosa	⛑	-	si	si	1	0	si	si	no	no	no	si	no	no	no
Iglesia del Barrio de San Andrés Las Vegas	⛑	-	si	no	1	0	-	-	-	-	si	si	no	no	no
Iglesia de Santa Cruz Calera	⛑	-	si	no	1	0	-	-	-	-	no	si	no	si	no
Iglesia del Barrio de San Juan del Santo Ángel	⛑	-	si	no	2	0	no	si	no	no	no	si	no	no	no
Iglesia de San José Victoria	⛑	N90O	si	no	1	0	no	no	no	no	no	si	no	no	no
Iglesia de la Sagrada Familia	⛑	-	-	-	-	-	-	no	no	no	no	no	no	no	no
Iglesia de San Salvador Tepalcayuca	⛑	S80O	si	si	1	3	no	-	-	-	si	si	no	si	no
ATLIXCO															
Exconvento del Carmen	⛑	N30E	no	no	0	0	si	si	si	si	no	no	no	si	no
Parroquia de Santa María de la Natividad	□	S60E	no	si	0	2	no	si	si	no	no	si	si	no	no
CHAPULCO															
Iglesia de Chapulco	⛑	N90E	si	si	0	2	no	-	no	no	si	no	SI	si	si
CHOLULA DE RIVADABIA															
Capilla Real	□	S60E	no	no	0	0	no	si	SI	si	no	no	no	si	si
CIUDAD SERDÁN															
Iglesia de Cosamaloapan	⛑	N90E	si	no	2	0	SI	si	si	si	SI	no	SI	si	no
Iglesia del Sagrado Corazón de Jesús	⛑	-	si	si	1	1	-	-	si	si	si	si	no	si	si
Iglesia de San Francisco	⛑	N10E	si	si	1	1	si	-	no	no	si	si	no	si	SI
Parroquia del Padre Jesús	⛑	N90E	si	si	2	0	no	-	no	si	si	no	no	si	no
Iglesia de Dolores	⛑	N00E	si	no	2	0	no	-	no	no	no	si	no	si	no
Iglesia de Guadalupe	⛑	N80E	si	si	2	0	no	-	no	no	SI	no	no	si	no
HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA															
Iglesia de la Compañía	□	S60E	si	si	2	2	no	SI	SI	-	si	si	si	si	no
Iglesia de San Agustín	□	N60O	no	si	0	2	si	-	SI	SI	si	si	si	si	no
SAN ANDRÉS CHOLULA															
Iglesia de Nuestra Señora de los Remedios	⛑	N30E	si	si	1	1	si	si	si	si	SI	si	no	SI	no
Iglesia de San Andrés	□	S60E	si	si	1	1	no	SI	si	SI	SI	no	no	si	no
SAN FRANCISCO ACATEPEC															
Iglesia de San Francisco	-	-	si	si	1	0	no	no	no	no	no	si	si	si	no

Tabla 5.2 - Daño en las iglesias visitadas (continuación)

Iglesia	Forma	Rumbo del altar	Cuerpo de torres		Niveles del Campanario		Daño								
			Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho	Contrafuertes	Bóvedas	Cúpulas	Tambor	Cuerpo de la torre	Campanario	Linternas	Fachada	Almenas
SAN GREGORIO ZACAPECHPAN															
Iglesia de San Gregorio	□	-	si	no	2	0	no	no	no	no	si	no	no	si	no
SAN MATEO OZOLCO															
Iglesia de San Mateo Ozolco	⛦	S45E	si	no	1	0	no	no	no	no	no	no	no	no	no
SAN PABLO DE LAS TUNAS															
Iglesia de San Pablo	⛦	-	si	no	1	0	-	-	-	-	si	no	no	no	no
SAN PEDRO YANCUITLALPAN															
Iglesia de San Pedrito	□	-	si	no	1	0	no	no	no	no	si	no	si	si	no
SANTA MARÍA LA ALTA															
Iglesia de María Concepción	⛦	N90E	si	si	1	1	SI	si	SI	SI	SI	SI	SI	SI	si
TECAMACHALCO															
Exconvento Franciscano	⛦	S60E	si	no	2	0	no	-	-	-	no	no	SI	no	no
Parroquia de Nuestra Señora de la Asunción	⛦	N72O	si	no	2	0	-	si	si	-	no	si	SI	no	si
TEHUACÁN															
Iglesia del Calvario	⛦	N90E	si	no	1	0	si	-	no	no	no	si	SI	si	SI
Iglesia de San Francisco	⛦	N78E	si	no	1	1	-	-	-	-	no	si	no	si	no
Exconvento de la Inmaculada Concepción	⛦	N78E	si	no	0	0	si	si	si	no	no	-	no	si	no
Catedral de Tehuacán	⛦	S00E	si	si	2	2	si	-	si	si	si	si	no	no	si
Iglesia del Carmen	⛦	N85E	si	no	2	0	si	-	-	-	no	si	no	si	no
TEPEACA															
Parroquia de San Francisco de Asís	⛦	-	no	si	0	2	no	no	no	no	no	no	no	no	no
Exconvento y Capilla de San Francisco	⛦	-	no	si	0	1	no	no	no	no	no	no	no	no	no
Iglesia de Santa Apolonia	⛦	N90E	no	si	0	1	si	si	si	si	no	si	no	no	SI
Iglesia del Calvario	⛦	N00E	no	si	0	1	no	-	no	no	no	si	no	no	no
TLACOTEPEC DE BENITO JUÁREZ															
Iglesia de la Santa Cruz	⛦	S48E	si	si	2	2	si	-	no	si	SI	si	si	si	no
Iglesia del Calvario	⛦	-	si	si	1	1	-	-	-	-	-	-	no	no	no

✝ Forma de cruz latina

□ Forma rectangular

- Dato no disponible

El rumbo del altar es la orientación de una línea que parte del portón de fachada hacia el altar, por el eje de la nave principal.

La palabra SI, anotada en mayúsculas implica daño importante, como puede ser tamaños de grietas de más de 5 cm en contrafuertes y cúpulas, caída de almenas o, en algunos casos, colapso del elemento.

En la fig. 5.126 se presenta un esquema de los daños más comúnmente observados en las iglesias visitadas.

5.19.3 Análisis del Comportamiento

Para proponer un adecuado esquema de rehabilitación se debe comprender cuál fue el comportamiento que originó cada tipo de daño, las opciones que se tienen para contrarrestar ese efecto mediante su reparación y refuerzo y cómo afectará esa reparación al comportamiento general de la estructura en futuros eventos.

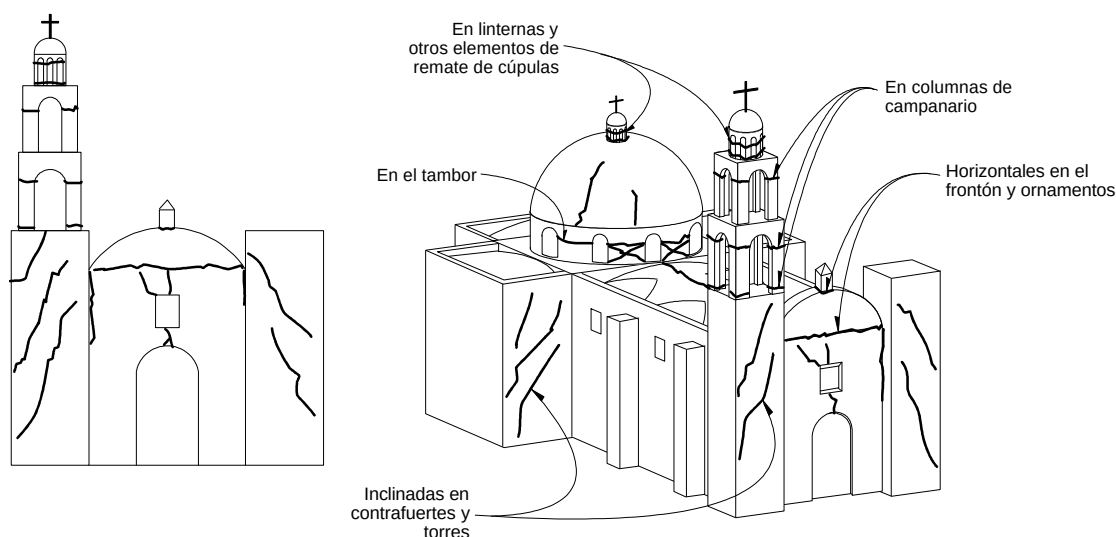


Figura 5.126 - Daños comúnmente observados

Para diferenciar el tipo de comportamiento se clasificarán los elementos de estas estructuras en los siguientes tipos:

- Arcos y bóvedas
- Cúpulas
- Estructura de campanarios y linternas
- Contrafuertes
- Frontones, almenas y otros ornatos

Tanto los arcos como las bóvedas son estructuras que trabajan por gravedad transmitiendo la carga vertical debido a su peso propio y a otros elementos, hacia sus apoyos laterales mediante fuerzas que se generan entre las dovelas que los componen y que siguen una trayectoria o *línea de presión* que debe pasar por dentro del espesor del arco. Las fuerzas resultantes se transmiten a los apoyos laterales e incluyen un componente horizontal importante o coceo. Es por ello que se reciben con muros y contrafuertes para transmitir las fuerzas adecuadamente a la base (fig. 5.127).

En general, los arcos de este tipo de construcciones son muy estables ante carga vertical como lo demuestran los arcos romanos con miles de años o los de iglesias con cientos de años de antigüedad. Ante las demandas horizontales como las que se generan por la inercia en un sismo, las fuerzas y deformaciones internas se incrementan, pero en general son aún resistidas por el material. Una frecuente causa de daño o colapso es debida a la abertura de los apoyos (aumento temporal del claro del arco o bóveda), en cuyo caso aparecen grietas verticales en la clave, seguidas de grietas en los apoyos o en los cuartos extremos. No obstante que se generen estas fisuras, la estructura mantiene su estabilidad siempre y cuando la línea de presiones pase por el espesor del arco o bóveda. Si el desplazamiento relativo de apoyos es muy grande, el tamaño de las grietas rompe la trayectoria de presiones, conduciendo a un estado de inestabilidad e incluso de colapso.

Las bóvedas cilíndricas que se extienden entre arco y arco también trabajan por gravedad. Realmente no transmiten su carga a los arcos transversales, sino que transmiten las fuerzas directamente a sus apoyos. Cuando las bóvedas tienen lunetos, se forma una estructura tridimensional más estable. Nuevamente, el riesgo de colapso es por la falla o abertura de los apoyos. Por lo general, las grietas que siguen la clave (o espinazo de la bóveda) no representan riesgo importante de colapso siempre y cuando se cumpla lo enunciado arriba para arcos.

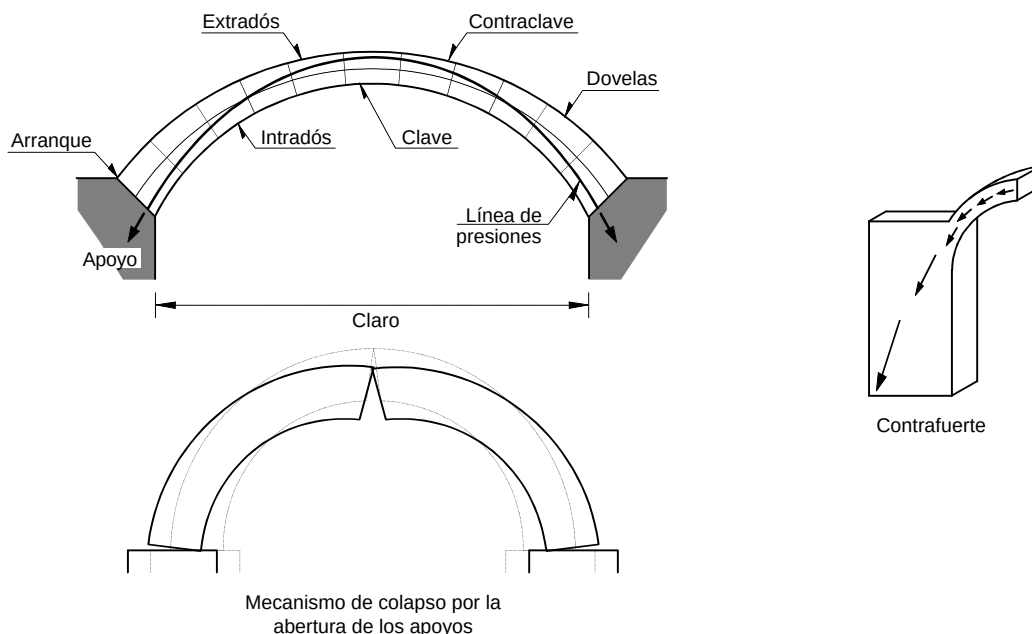


Figura 5.127 - Transmisión de fuerzas en un arco

Las cúpulas, por su parte, tienen cierta semejanza con el trabajo de los arcos. Transmiten su carga por gravedad, pero en un arreglo tridimensional. Es cerca del ecuador donde se pueden generar esfuerzos de tensión normales a los meridianos (tangenciales), pero la estructura de tambor que generalmente llevan como base les ayuda a restringir esta acción. Las cúpulas son elementos relativamente rígidos y se ha visto que el modo fundamental de vibrar en condiciones dinámicas es el de torsión en planta, lo que genera demandas de corte en la estructura de tambor. En la literatura se ha encontrado cúpulas que, aunque totalmente fracturadas, disponen todavía de una alta estabilidad estática.

Los campanarios y linternas son los elementos más vulnerables, en particular en las columnas o muros que flanquean las aberturas (fig. 5.128). Son elementos relativamente flexibles y débiles, que se encuentran en la cúspide de torres y cúpulas, donde las demandas de aceleración y desplazamiento son mayores por lo general. Aunado a esto, su flexibilidad contrasta con la relativa robustez de la estructura masiva de la iglesia, ya sea del cuerpo de las torres o las cúpulas. Las aberturas en sus cuatro caras reducen el área resistente al área de cuatro (o más) columnas que deben soportar todas las demandas laterales generadas por el sismo. Además, al trabajar por gravedad, las aceleraciones verticales del sismo, sumadas a las horizontales, pueden generar en cierto instante combinaciones de demandas de cortante y tensión (o reducción de la compresión) que disminuyen la resistencia y rigidez del elemento. Finalmente, se puede mencionar que arriba de las columnas, la estructura es nuevamente rígida, coronada con tambor y cupulín.

El agrietamiento horizontal en las columnas de estos campanarios fue muy frecuente. En algunos casos se observó el agrietamiento de las distintas columnas a una misma altura, y en otras los agrietamientos ocurrieron en los extremos superior e inferior. Más que por cortante, la causa de las grietas, perfectamente horizontales y de reducida abertura, se puede atribuir al posible trabajo de flexocompresión primero, y después de cabeceo como mecanismo de bloques rígidos. Se caracteriza por el desplazamiento y rotación de la parte superior, generando la separación entre piezas y mortero por tensión, alternándose la dirección del movimiento. Una falla por cortante habría generado grietas inclinadas por tensión diagonal, que no fueron registradas.

Los contrafuertes son elementos que reciben las fuerzas tanto verticales como las laterales que les transmiten los arcos y las que se generan por movimientos sísmicos. Son elementos que trabajan

esencialmente a compresión-cortante y en los cuales se pueden generar agrietamientos inclinados por tensión diagonal. En este sentido fue frecuente encontrar un patrón repetitivo donde las grietas se dirigen hacia abajo y de adentro hacia el exterior de la estructura. Se puede comprender por qué no se generan agrietamientos en el sentido opuesto en el mismo elemento, pues cuando las acciones cambian de dirección son los contrafuertes del otro lado de la nave los que reciben las mayores demandas.

Las características que influyen en la resistencia de los contrafuertes son el material usado y el área en planta que posee el elemento, a mayor dimensión mayor la resistencia que proporciona.

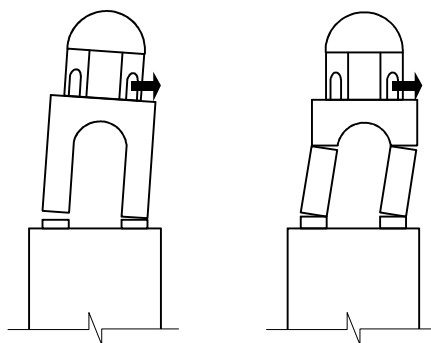


Figura 5.128 - Posibles mecanismos de falla de campanarios y linternas

Dentro de esta categoría se puede incluir el cuerpo de las torres que tiene que proporcionar la resistencia a cortante de las masas de campanarios sobre él. Cuando las fuerzas actúan hacia el centro de la nave, el cuerpo de la torre puede apoyarse contra la fachada, compuesta por un elemento largo y rígido, por lo que no es común ver agrietamientos inclinados hacia adentro. Por otro lado, cuando la fuerza es hacia afuera, es factible que en el cuerpo se produzcan agrietamientos inclinados hacia abajo y hacia afuera, así como una grieta vertical entre el cuerpo de la torre y la fachada, o que se generen grietas aproximadamente verticales en la fachada por la trayectoria de menor área transversal vertical (interceptando la ventana del coro y el portón). En la fig. 5.129 se esquematiza el mecanismo de falla del cuerpo de las torres.

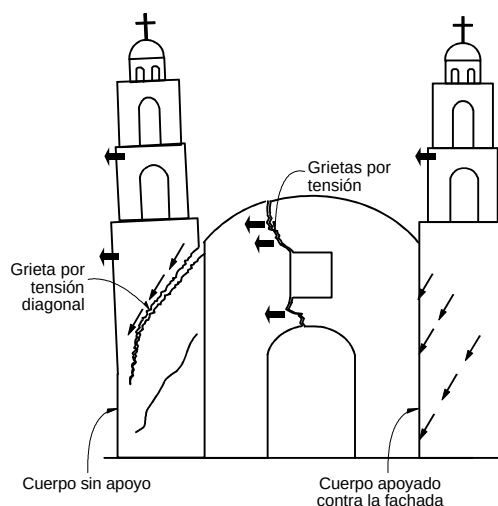


Figura 5.129 - Posible mecanismo de falla de los cuerpos de torres

Finalmente, los frontones y otros elementos decorativos y voluminosos suelen agrietarse en su base, debido también a deformaciones de tensión por la flexión que se genera por fuerzas fuera de su plano.

5.19.4 Opciones de Rehabilitación

Para elegir entre las distintas opciones de reparación es necesario entender las causas del daño, es decir el comportamiento asociado, se debe definir el objetivo del desempeño esperado, así como determinar el costo y tiempo de los trabajos.

El primer objetivo de desempeño de la estructura rehabilitada es devolverle la condición que tenía antes del sismo, pero sin aumentar su resistencia, capacidad de deformación, ni rigidez. A este proceso se le denomina reparación. Consiste en restaurar la estructura obturando o cosiendo las fisuras y sustituyendo las partes caídas con materiales similares a los originalmente usados. En el caso de cúpulas y arcos esta opción es bastante razonable pues en sí son estructuras muy estables si no hay movimientos exagerados de sus apoyos. Esta es la solución más económica y rápida, pues hay que considerar la urgencia de sellar las grietas para evitar las filtraciones del agua de lluvia que pueden llevar a mayores daños en los acabados y otros elementos internos.

En muros y contrafuertes, así como en los cuerpos de las torres, esta reparación puede devolver la condición de resistencia e incluso rigidez, pero existirá la posibilidad de que en futuros eventos ocurra nuevamente el mismo daño. Como prueba de ello se puede citar la Iglesia de Santa Apolonia en Tepeaca, Puebla, que después del sismo del 28 de agosto de 1973 fue reparada resanando las grietas en contrafuertes con mortero. Tras el actual sismo las grietas reparadas no se abrieron, sin embargo se formaron nuevas grietas en lugares distintos.

En el caso de los campanarios, donde las columnas tuvieron grietas horizontales, la totalidad de las estructuras son estables ante carga vertical. Así, la reparación sería más de tipo estético; nuevamente se deberá estar consciente que si se repiten las condiciones del sismo, el daño será similar.

El segundo objetivo de desempeño de la rehabilitación lleva a reforzar exclusivamente los elementos que sufrieron daño. Este esquema consiste en, además de recobrar la resistencia original, proporcionar una capacidad adicional (de resistencia, rigidez, deformación o combinación de éstas). Las consideraciones anteriores pueden ser válidas para toda la estructura, en especial para los campanarios, linternas, así como para los contrafuertes y muros. En este objetivo se pretende que ante eventos similares, e incluso de mayor intensidad, los daños sean fácilmente reparables, con costos muy reducidos. Para evitar que los arcos y bóvedas se agrieten por excesivas demandas de flexión (es decir, por un incremento temporal de su claro), se debe incrementar la rigidez lateral de los apoyos. Esto se puede lograr ya sea mediante la construcción o aumento de la rigidez de contrafuertes, o bien a través de la colocación de tirantes horizontales. El primer caso implica una fuerte alteración en la mayoría de las estructuras. Sólo el postensado de contrafuertes existentes o la construcción de un corazón con material más rígido que la mampostería, procuran no alterar la apariencia del monumento. La instalación de cables entre los apoyos ofrece la ventaja de disminuir, e incluso, eliminar los desplazamientos relativos. Con ello se reducen las demandas de deformación de tensión a valores tolerables por la mampostería. Esta técnica ciertamente altera la apariencia del monumento pero tiene una larga tradición por haber sido aplicada desde hace siglos en estructuras abovedadas, por lo que es considerada como legítima por parte de los restauradores; tiene además la característica de ser reversible.

Dada la hipótesis de mecanismo de falla mostrada en la fig. 5.128, y el examen de las estructuras observadas con o sin daño, se pueden plantear las siguientes opciones para la reparación y refuerzo de campanarios (para incrementar su capacidad al corte y a flexión):

- Aumento de la sección de las columnas con materiales similares a los originales
- Refuerzo con malla estructural y aplanado de mortero alrededor de las columnas
- Construcción de un refuerzo de concreto que rodee internamente la abertura (arco adosado)
- Construcción de castillos de concreto reforzado por el lado interno de las columnas
- Postensado de las columnas, contrafuertes y muros

Las opciones anteriores se muestran gráficamente en la fig. 5.130.

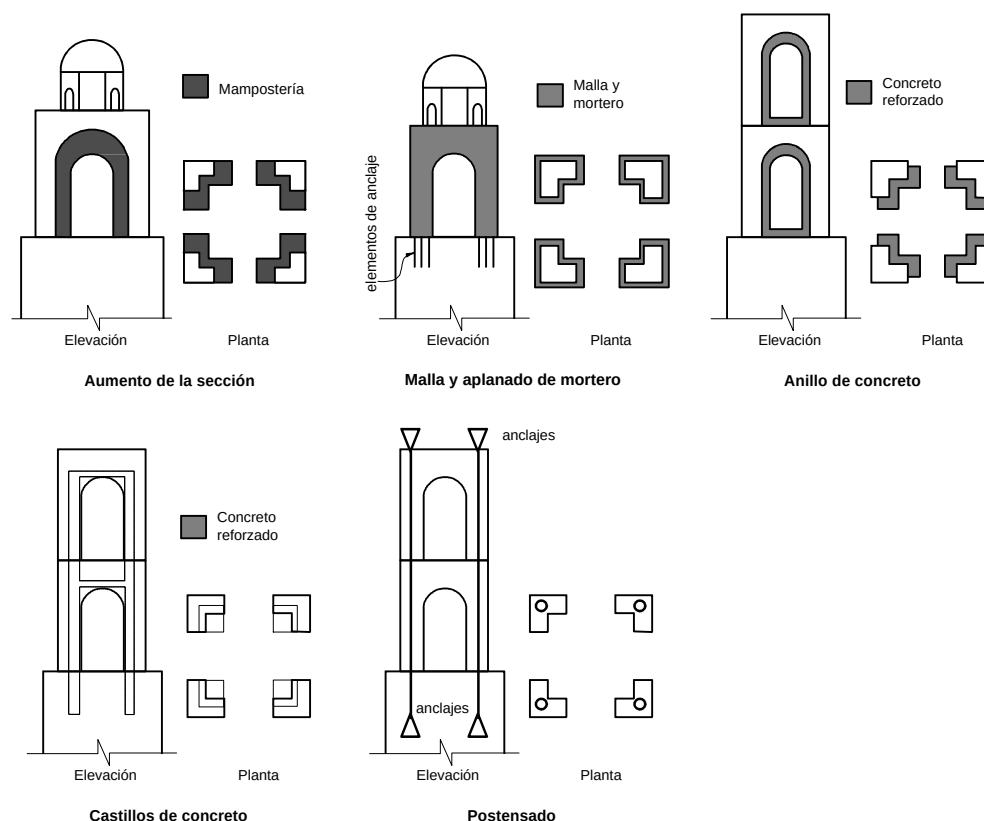


Figura 5.130 - Opciones para la rehabilitación de campanarios

Se pudo observar que aquellas iglesias que no sufrieron daño en el campanario fueron aquellas en que las columnas eran robustas. La mayor sección, aunque aumenta la masa, también provoca que los esfuerzos se reduzcan minimizando la posibilidad de falla. Al usar los mismos materiales, la constitución arquitectónica no perderá autenticidad. Sin embargo, dadas sus características, en particular sus bajas rigidez y resistencia a tensión, el mejoramiento de las características de la estructura se logra sólo si el aumento de la sección es considerable. Esta es una técnica no reversible.

El aplanado de mortero con malla estructural es una buena solución para mejorar la capacidad a cortante. El problema son los múltiples ornamentos y aberturas que se tendrían que rodear o eliminar. Esta reparación debe tener una continuidad entre sí y con la base de apoyo para mejorar la capacidad a flexión, así como para evitar fallas locales donde no se refuerce. Su uso es recomendable sobre caras de grandes dimensiones. Esta es una técnica irreversible.

Los anillos o marcos de concreto alrededor del interior de las ventanas son una técnica que se usó ya en por lo menos cuatro de las iglesias de Ciudad Serdán. El aumento en la sección y resistencia de las columnas efectivamente evitó que sufrieran daños. Un ejemplo definitivo se tiene en la Iglesia de Dolores, donde se reforzó de esta forma sólo el primer nivel del campanario; el segundo nivel, no reforzado, sufrió el daño típico ya descrito.

Para los contrafuertes y muros, además de reparar las grietas con mortero, se puede pensar en alguno de los esquemas de refuerzo siguientes. Una opción es aumentar la sección mediante materiales similares a los originalmente usados; esto es para que se tenga la misma apariencia y un comportamiento compatible, o bien,

si se tienen recubrimientos que oculten al material, se podría plantear el uso de aplanados de mortero o de concreto; o aumentar la sección en planta de los contrafuertes mediante extensiones (sobre la longitud o el espesor) de concreto reforzado debidamente cimentadas. Es también factible postensar estos elementos.

Los frontones y otros elementos que tiendan a voltearse deberán ser rigidizados mediante elementos de concreto y acero de preferencia, ocultos a la vista de modo que no alteren su valor arquitectónico y estético.

A los cuerpos de las torres donde se generaron agrietamientos diagonales, además del relleno de grietas, se les puede aplicar alguna de las técnicas antes mencionadas: recubrimiento con malla y mortero, construcción de castillos internos ligados por cadenas (marco interno) o bien postensados (fig. 5.131).

Si así se requiriera, se puede pensar en un armado más robusto y en un aplanado de concreto lanzado. Los elementos de anclaje entre el armado y la estructura deberán ser cuidadosamente seleccionados.

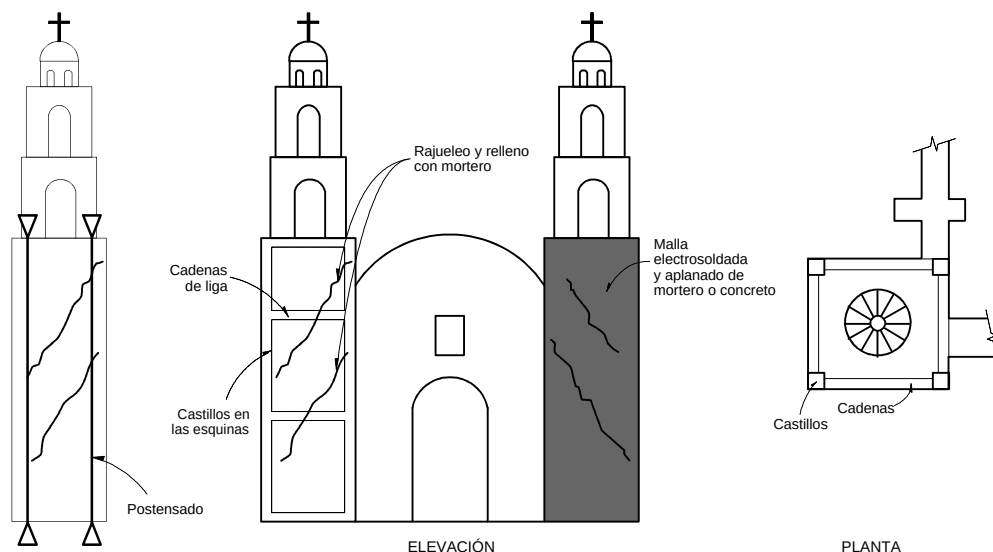


Figura 5.131 - Opciones para la reparación de los cuerpos de las torres

El refuerzo exclusivamente de los elementos que sufrieron daño puede cambiar el comportamiento dinámico de la estructura. Si bien se puede evitar que la falla vuelva a ocurrir en el mismo lugar, se puede provocar otro tipo, incluso, de mayores consecuencias. Así lo ejemplifica la Iglesia de Guadalupe, en Ciudad Serdán, en donde se reforzó el intradós de las aberturas de los campanarios con concreto de modo que, efectivamente no tuvieron daño alguno los campanarios, pero en cambio el cuerpo de la torre sí sufrió un agrietamiento inclinado importante.

Por tanto, el esquema de rehabilitación debe ser integral, fomentando que las fuerzas entre todos los elementos rehabilitados se transmitan eficientemente.

En cada caso y de acuerdo con el objetivo de desempeño seleccionado, se deberán evaluar las demandas de resistencia y rigidez con la información sísmica más actualizada (regionalización sísmica, espectros de diseño, acelerogramas registrados durante el sismo). Se deberán comparar con la capacidad estructural determinada a partir de experiencias previas o ensayos de materiales (*in situ* o destructivos).

Si bien, generalmente se parte de la hipótesis de intervenir el monumento lo menos posible, los cuantiosos y costosos daños para el país no deben pasarse por alto. La simple restauración de las condiciones originales (primer objetivo de desempeño) implica aceptar que en eventos futuros de intensidad similar o superior se presentarán, en el mejor de los casos, daños comparables. Es decir, para la región en cuestión,

significa que cada 25 a 30 años (suponiendo que es el periodo de retorno) se debe hacer un esfuerzo similar, con costos comparables. Una intervención mayor, con algunas técnicas no reversibles, ofrece la ventaja de incrementar la seguridad ante sismos mayores.

En términos económicos, una mayor inversión en una rehabilitación con objetivos de desempeño más elevados (de segundo nivel), permitirá canalizar los recursos que de otra manera se gastarían en la restauración cada 25 o 30 años, a reducir la vulnerabilidad de viviendas, escuelas y hospitales. Si bien no es discutible la preservación del patrimonio arquitectónico, histórico y estético del país, sí lo es la repetición cíclica de reparaciones y gastos asociados. La situación socioeconómica requiere de soluciones intermedias que, sin alterar el aspecto del edificio, mejoren su desempeño.

CAPÍTULO 6

VIVIENDA

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan las observaciones sobre viviendas que fueron evaluadas. Se incluyen construcciones de adobe, de tabique de barro y de bloque de concreto. Las poblaciones visitadas que presentaron casos de daño en este tipo de estructuras fueron Atlixco, Ciudad Serdán, Heroica Puebla de Zaragoza, San Mateo Ozolco y Tecamachalco, en el estado de Puebla, así como El Salitre y San Juan Ahuehuevo, en el estado de Morelos.

En lo que sigue, la presentación del daño se hace siguiendo el orden alfabético de los nombres de las poblaciones visitadas, sin distinguir el estado al que pertenecen.

6.2 ATLIXCO

6.2.1 Introducción

A solicitud de la Coordinación Municipal de Protección Civil de Atlixco se visitaron las edificaciones con mayor daño. Las estructuras visitadas fueron dos viviendas en el Centro Histórico y la Unidad Habitacional Infonavit Atlixco. En la fig. 6.1 se muestra un plano general de Atlixco en el que se ubican las viviendas que fueron revisadas.

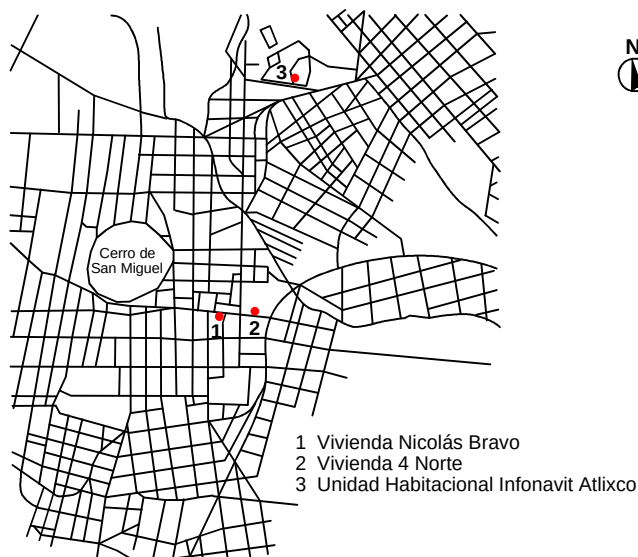


Figura 6.1 - Localización de las viviendas visitadas en la ciudad de Atlixco

6.2.2 Vivienda Nicolás Bravo

Esta estructura se localiza a un costado del Palacio Municipal de Atlixco, sobre la calle Nicolás Bravo. Se trata de una estructura antigua de mampostería de piedra y de tabique de barro recocido en la que, a decir de la Coordinación Municipal de Protección Civil, varios de los departamentos habían estado abandonados por años. Al momento del sismo sólo tres departamentos se encontraban ocupados. La estructuración de esta vivienda es la típica de algunos edificios antiguos. El acceso a los diferentes departamentos se hace a través de un patio interior de planta aproximadamente cuadrada. En la planta alta, las habitaciones se accesan por medio de un corredor, cuyo techo se apoya en arcos y columnas de mampostería de barro y piedra, y que está limitado por una balaustrada de cantera.

No obstante que la Coordinación Municipal de Protección Civil ordenó que el edificio se desocupara, al momento de la visita se encontraron algunos departamentos aún habitados. El estado general de las estructuras muestra un completo abandono, sin señas de mantenimiento reciente. Se encontraron vigas de madera del sistema de piso podridas e incluso vegetación que crece en grietas de muros (fig. 6.2).



Figura 6.2 - Detalle del estado de abandono de la vivienda Nicolás Bravo

Es difícil precisar cuáles grietas son producto del sismo de Tehuacán y cuáles existían con anterioridad. A pesar de que el recorrido parece indicar que la estabilidad de la estructura no está comprometida, no se debe confiar en la capacidad resistente de los elementos estructurales ya que ésta se encuentra muy deteriorada por el intemperismo y la falta de mantenimiento. Si bien se debe valorar su importancia histórica, es conveniente considerar la demolición del inmueble.

6.2.3 Vivienda 4 Norte

Sobre la calle 4 Norte se visitó una vivienda que colinda con el casco del Exconvento del Carmen (sección 5.3.1). Según explicaciones proporcionadas por la Coordinación Municipal de Protección Civil, ésta y las viviendas vecinas fueron construidas en terrenos que originalmente eran propiedad del convento. En el decurso del tiempo, y por razones desconocidas, parte de estos terrenos se vendió. De este modo, las viviendas colindan con restos de los edificios del exconvento (que posteriormente fue adaptado como cuartel). Durante la visita se observó agrietamiento vertical en la esquina de dos muros de mampostería de piedra de un edificio del exconvento (fig. 6.3). El tipo de daño es característico de demandas de desplazamiento importantes fuera del plano. Si bien los muros no están en peligro de desplomarse, es conveniente que se repare el daño y se rigidicen los muros para prevenir un futuro desprendimiento.

6.2.4 Unidad Habitacional Infonavit Atlixco

Este conjunto habitacional se localiza en la parte noreste de la ciudad de Atlixco. De acuerdo con la información obtenida en el lugar, la edad aproximada del conjunto es de 15 años; sin embargo, existen edificaciones más recientes. Está constituido por casas dúplex de dos niveles y multifamiliares de cuatro niveles. El material usado en los edificios originales de esta unidad fue mampostería de barro recocido confinada mediante dalas y castillos de concreto reforzado.



Figura 6.3 - Detalle del daño en muros del exconvento (patio posterior de la vivienda)

Los informes presentados por los habitantes de la unidad a la Coordinación de Protección Civil del Ayuntamiento de Atlixco indican 68 edificios con diferente nivel de daño. La propia Coordinación consideró el daño en cinco de esos edificios como grave y recomendó su desalojo. Al momento de la visita, uno de dichos edificios se encontraba totalmente desocupado y los restantes cuatro se encontraban desocupados parcialmente. En las figs. 6.4 y 6.5 se muestran vistas generales de los edificios con mayor daño.

Durante el recorrido, se visitaron dos de los edificios con mayor nivel de daño. No hubo oportunidad de visitar los restantes. El edificio 001, ubicado en la esquina del andador Gladiolas y el andador Magnolias (fig. 6.4), presentó daño en muros de mampostería en casi todos los niveles. El daño se manifestó como agrietamiento inclinado de hasta 0.3 mm de anchura que, en general, no mostró evidencia de haber penetrado a los elementos confinantes (fig. 6.6). Una revisión de los elementos dañados arrojó la presencia de castillos en las esquinas, pero no rodeando aberturas, como puertas y ventanas. Esta es una práctica observada en edificios construidos en la época.

El mismo tipo de agrietamiento se presentó en los muros de fachada y laterales, concentrándose en los primeros dos niveles (fig. 6.7). La orientación del agrietamiento que se observa en la fig. 6.7 obedece a la ubicación alternada de las ventanas en la fachada. Este fenómeno se ha observado en edificios con disposiciones semejantes de aberturas.

En la parte superior de los edificios se observó agrietamiento vertical en la junta castillo-muro que se extendió hacia los muros del último piso con cierta inclinación. La causa de este daño es la ubicación del

tanque de agua justo sobre el cubo de escaleras, agravada por una falta generalizada de mantenimiento (fig. 6.8).



Figuras 6.4 y 6.5 - Vista general de algunos de los edificios dañados



Figuras 6.6 y 6.7 - Daño en la planta baja y muros de fachada del edificio 001

El segundo edificio visitado fue el 002, ubicado en la esquina de la calle Gardenias y Camino Xalpatlaco (fig. 6.5). En esta edificación se tuvo oportunidad de ingresar a uno de los departamentos de planta

baja. El daño observado fue similar al exhibido por el edificio 001. Las grietas en los muros de fachada siguieron trayectorias inclinadas de las esquinas de muros a las esquinas de ventanas (fig. 6.9).



Figura 6.8 - Daño en pisos superiores

Con el consentimiento de la propietaria de uno de los departamentos de planta baja se realizó un levantamiento de los muros dañados y se retiró el recubrimiento en la esquina de un muro de fachada. En la fig. 6.10 se muestra una planta del edificio 002. En ella se ubican los muros de planta baja que resultaron dañados. En esta edificación, el agrietamiento inclinado de los muros de fachada alcanzó los elementos confinantes en esquina, penetrándolos (fig. 6.12). Como se indicó, no existen elementos confinantes en las aberturas.



Figura 6.9 - Daño en muros de fachada del edificio 002

De acuerdo con el daño observado, se sugiere la reparación de los muros de primer nivel de los edificios dañados mediante la colocación de una malla electrosoldada y un aplanado de mortero aplicado

sobre las caras exteriores. Para ello, por el tipo de daño, no es necesario apuntalar los edificios. Se deben retirar los acabados de los muros dañados y reparar localmente aquellos castillos que muestren daño.

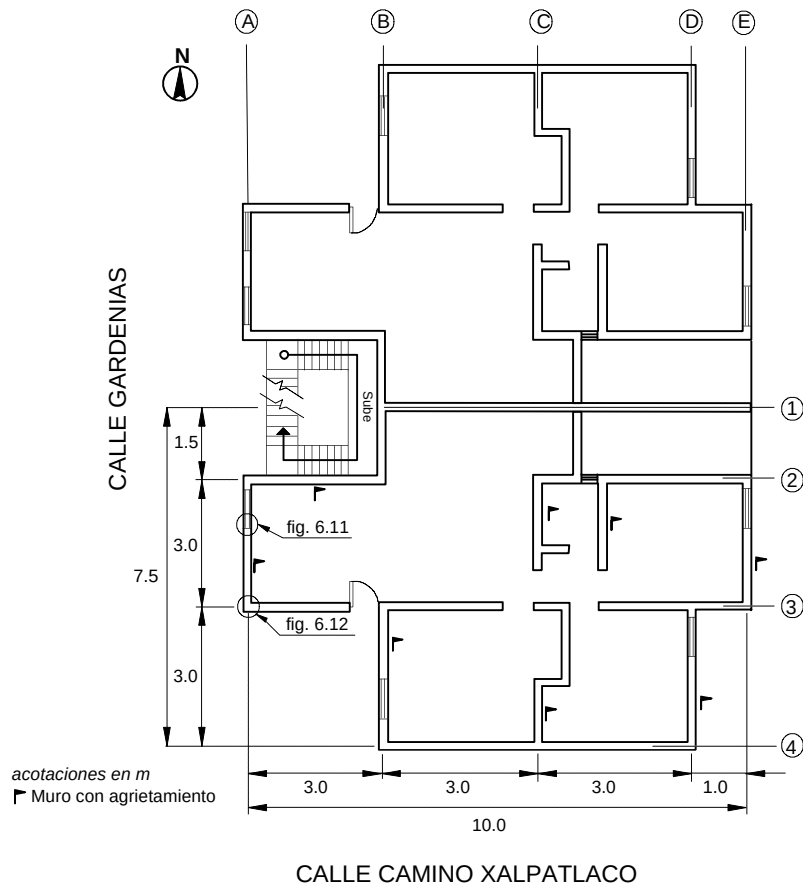


Figura 6.10 - Distribución del daño en la planta baja del edificio 002

En el interior de los muros se deben reemplazar las piezas de mampostería sueltas o aplastadas y se deben “rajuelear” las grietas principales. La colocación del refuerzo requiere del picado de la cara de muro para fomentar la adherencia.



Figuras 6.11 y 6.12- Agrietamiento en elementos confinantes y en las esquinas de aberturas (eje A)

La colocación de la malla de alambre debe hacerse sin separadores hacia el muro y debe contemplar el uso de sujetadores apropiados. Se debe procurar que la malla rodee los castillos, los extremos de muros y los lados de las aberturas. Se recomienda el empleo de clavos para madera de 5 cm de longitud para fijar a la mampostería y de clavos para concreto de 2.5 cm de longitud para la sujeción a los castillos. Se recomienda emplear no menos de 9 clavos por metro cuadrado de muro, colocados en *tresbolillo*. Alternativamente, se pueden emplear fijadores tipo Hilti o similar con arandela de 3.5 cm de diámetro colocados con pistola con carga de pólvora. Se debe evaluar la contribución de los alambres de la malla y del mortero a la resistencia.

Conviene que la malla se coloque desde el desplante del muro sobre la cimentación. Se recomienda evaluar el efecto que tendrá la reparación y el refuerzo de la planta baja en el comportamiento de toda la estructura. Conviene considerar el refuerzo con el mismo sistema en el segundo nivel (arriba de planta baja) para evitar concentraciones excesivas de demandas sísmicas en eventos futuros.

Debido a que el daño no es generalizado en edificios del mismo tipo, es conveniente tratar de identificar los motivos del daño. Se recomienda evaluar en gabinete, con detalle, la seguridad sísmica de las diferentes estructuras que constituyen la unidad. En dicha evaluación se deberán estimar los desplazamientos laterales máximos, estimar las cargas reales actuantes y calcular la resistencia remanente de las edificaciones.

Cabe hacer notar que, en las cercanías de la Unidad Habitacional Infonavit Atlixco, se revisaron por el exterior edificios de hasta cuatro niveles construidos a base de muros de mampostería de tabiques extruido. Es posible que el sistema de piso fueran lozas macizas de concreto armado. Estas estructuras no mostraron daño alguno (figs. 6.13 y 6.14).



Figuras 6.13 y 6.14 - Vista panorámica de viviendas de tabique extruido en la ciudad de Atlixco

6.3 CIUDAD SERDÁN

6.3.1 Unidad Habitacional Infonavit Anaxa

Está integrada por un total de 28 viviendas de dos niveles estructuradas a base de muros de carga de tabique extruido de tipo doble hueco (fig. 6.15), con castillos ahogados (castillos interiores) en los extremos y presumiblemente intermedios, lo que le da un acabado aparente hacia el interior y exterior, sin necesidad de aplanados adicionales. Cada vivienda sólo tiene un castillo externo que separa la puerta de entrada de una ventana en la fachada de cada unidad. Las dimensiones aproximadas de cada vivienda se presentan en la fig. 6.15. La mayoría de las construcciones se compone de dos viviendas gemelas (dúplex) simétricas con respecto al eje A. En la inspección visual efectuada se apreció que el sistema de piso, tanto del entrepiso como del techo a dos aguas, está estructurado con losas aligeradas de viguetas y bovedillas.

En la fig. 6.15 se señala la geometría general; asimismo se indica la orientación aproximada con respecto al norte geográfico. Lo anterior se tomará como referencia en lo que sigue de este informe.

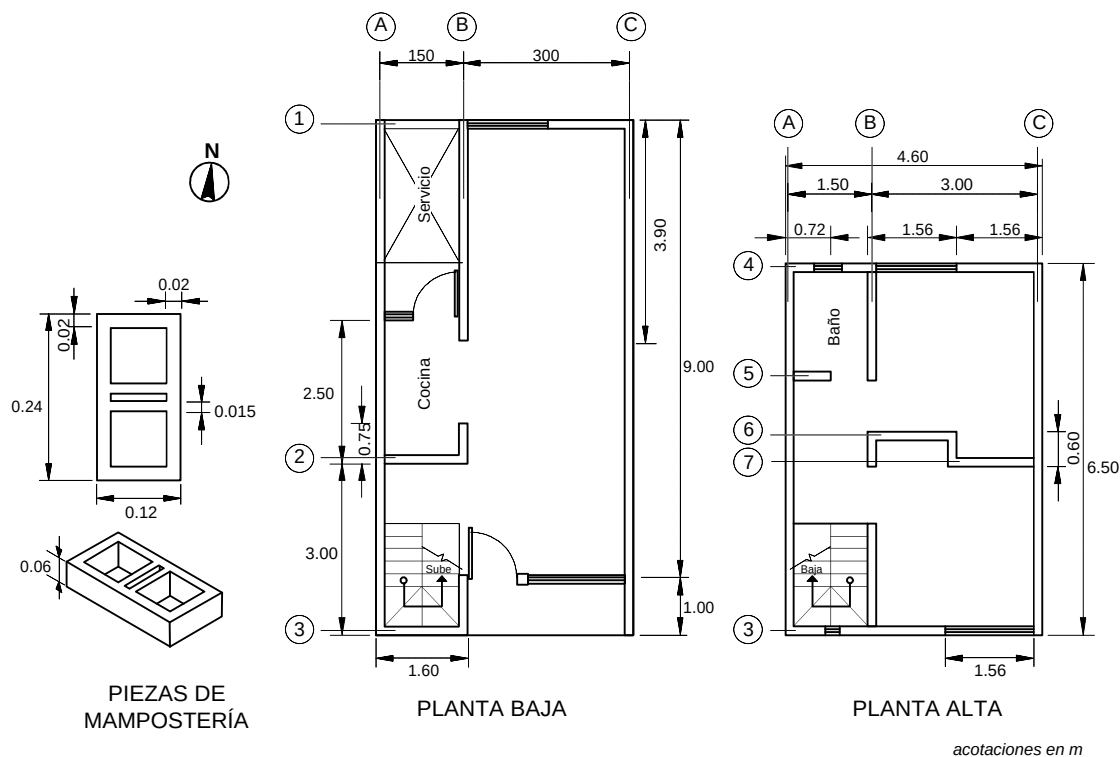


Figura 6.15 - Dimensiones aproximadas de la vivienda tipo

En términos generales se encontró que 24 de las 28 viviendas sufrieron daño severo en los muros de la planta baja en la dirección EO, con agrietamientos inclinados que siguieron principalmente las juntas de mortero pero que también atravesaron, en menor término, las piezas de mampostería. En todas estas unidades el daño fue muy similar por lo que la descripción se hace general. La planta alta de las viviendas resultó prácticamente sin daño. En la dirección NS, debido a la mayor densidad de muros, no se observó agrietamiento, salvo en algunos casos aislados donde el daño se debió a una acción indirecta de las fuerzas horizontales, por la posible torsión y por la restricción de la escalera de concreto que actuó como puntal contra estos muros.

En la fig. 6.16 se muestra un esquema general de la planta baja incluyendo las dos unidades gemelas que conforman cada estructura individual. Se esquematiza el daño general en los muros de la dirección con menor densidad de muros (dirección débil, EO). Las anchuras de grietas están exageradas para facilitar la explicación. Los agrietamientos fracturaron las paredes de las piezas, lo que derivó en la caída de conjuntos de piezas dejando huecos de 60 a 80 cm (fig. 6.17).

Como se dijo, el tipo de estructuración fue a base de muros de tabique hueco extruido, con castillos ahogados y, aparentemente, refuerzo horizontal mediante alambres lisos estirados en frío conocidos como escalerilla. En la inspección realizada se observó la escalerilla en uno de los muros, con dos alambres en la junta y separadas cinco hiladas de tabique. Sin embargo, en la mayoría de los otros muros examinados no se encontró este refuerzo horizontal.

Los castillos ahogados se dispusieron en los extremos de los muros y en la traza de la intersección con los muros perpendiculares. En muchos de los casos observados, se contaba con una sola barra longitudinal del

no. 3 (3/8 de pulgada ó 9.5 mm de diámetro). Aun más, el interior del castillo mostraba un deficiente colado; en algunos casos no se observó concreto o mortero alguno que rodeara la barra (fig. 6.18).

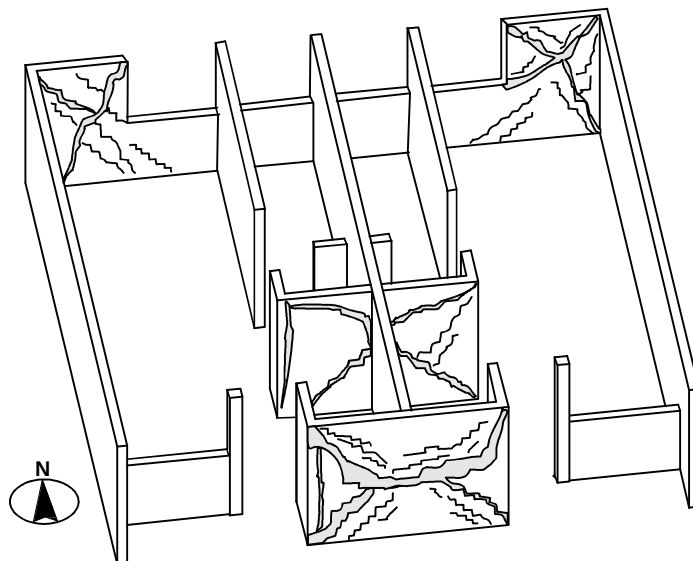


Figura 6.16 - Disposición general del daño en la planta baja en la dirección débil (EO)

Se observó un deficiente anclaje de las escalerillas en los castillos ya que terminaban rectas en lugar de haberse doblado formando ganchos de 90° o 180°. Un detalle adicional, si bien característico de viviendas hechas con este material, fue la falta de liga entre los muros principales (exteriores) y los muros interiores divisorios. Inicialmente se levantaron los primeros y después se construyeron los muros divisorios, sin intercalar las piezas de mampostería; es decir, los muros se construyeron a tope. Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (DDF, 1987) establecen que muros construidos a tope se deben unir de manera de garantizar la continuidad. En este conjunto parece que no se incluyó refuerzo alguno, ni detallado que fomentara dicha continuidad.



Figuras 6.17y 6.18 - Daño típico en el muro del eje 3 de la fachada y castillo interno donde no llegó la mezcla de concreto



Figura 6.19 - Daño en el muro interior del eje 2

En conclusión, la densidad de muros en la dirección EO era insuficiente para casas de este tipo. Los daños se vieron agravados por el poco cuidado en los detalles constructivos que, de haberse practicado adecuadamente, pudieron haber mejorado el comportamiento.

De manera inmediata se recomendó apuntalar el piso superior. Se recomienda revisar detalladamente la seguridad sísmica según el peligro del reglamento de construcción aplicable. En todo caso, se deberá considerar a los muros como de mampostería simple (no reforzada), y los valores de resistencia a fuerzas cortantes del material con magnitudes conservadoras.

Entre las opciones de reparación a considerar se deberá contemplar el refuerzo no sólo en la dirección débil, sino también revisar y reforzar los elementos en la dirección NS que no sufrió daño, si así fuese necesario.

Dependiendo de los resultados de la evaluación estructural, cualquier opción de reparación deberá incluir la demolición completa de los muros dañados. Una opción de rehabilitación es reconstruir los muros con mampostería con la misma apariencia exterior, pero de distinta sección, armado y resistencia. Se deberá ejercer un estricto detallado del refuerzo interior así como proporcionar generosas cantidades de refuerzo.

Con objeto de proporcionar una mayor resistencia, e incluso una mayor sensación de seguridad a los usuarios, se recomienda la construcción de muros de concreto reforzado reemplazando los muros fallados de la dirección débil, previa adecuación de la cimentación que los recibe. Por supuesto, las viviendas que no sufrieron daño también deberán ser incluidas en este esquema de reparación. En la fig. 6.20 se muestra un croquis de la rehabilitación sugerida.

6.4 EL SALITRE

6.4.1 Introducción

En atención a una solicitud de la Coordinación Estatal de Protección Civil del Estado de Morelos se visitó El Salitre. En este poblado se visitaron dos de las 12 viviendas que resultaron dañadas. No se informó de otros daños. Durante la visita se expusieron al personal técnico del Instituto de Vivienda de Morelos diferentes opciones para la rehabilitación de las viviendas.

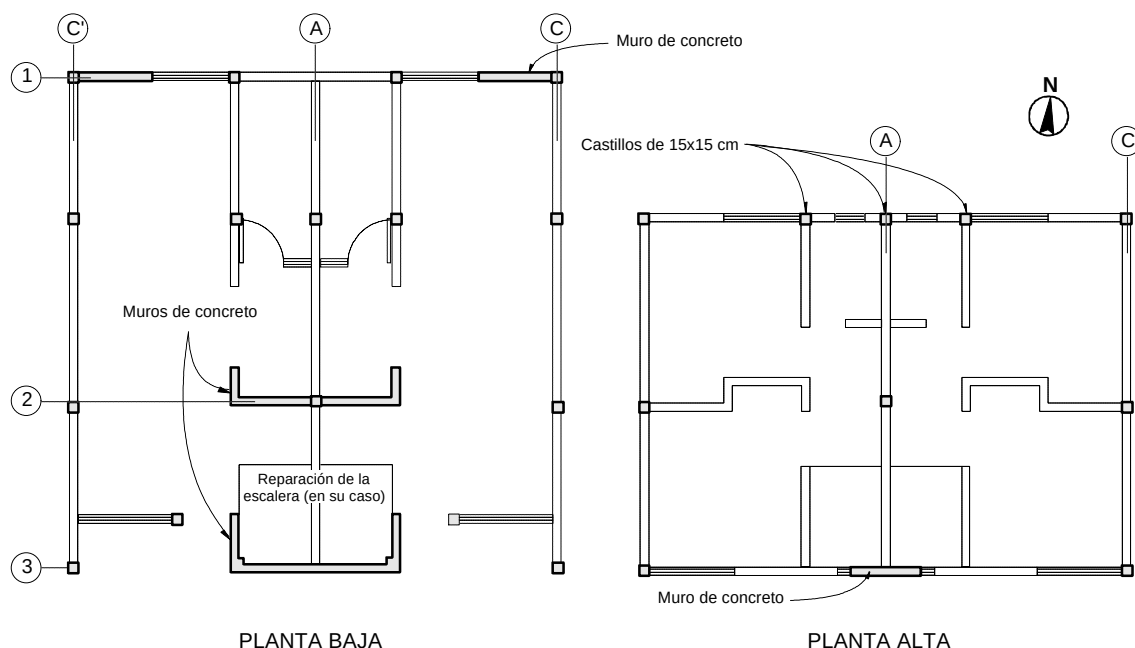


Figura 6.20 - Esquema de una alternativa de rehabilitación

6.4.2 Vivienda Miguel Hidalgo

Esta vivienda, de un nivel, está ubicada frente a la plaza principal de El Salitre y se encuentra construida sobre material blando sobre la margen de un arroyo. Está compuesta por una serie de cuartos *independientes* construidos con diferentes materiales y en distintas épocas. La estructura está resuelta mediante muros de carga, de adobe, repellados con mortero y mediante muros de bloque de concreto aparentemente confinados. El sistema de techo cuando hay muros de adobe, es una retícula de rollizos y vigas de madera sobre la que descansan láminas corrugadas de cartón. En el caso de muros de bloque se tiene losa maciza de concreto. La altura típica de entrepiso es de 3 m.

De manera similar al daño observado en otras poblaciones y en otros sismos, los muros de adobe sufrieron daño en sus intersecciones y por movimientos fuera de su plano, a pesar de contar con un repellado de mortero en ambas caras (figs. 6.21 y 6.22). Es común que, cuando este tipo de muros no se confinan o se refuerzan en forma adecuada, se presentan daños como los de las figs. 6.21 y 6.22.

En el caso de las habitaciones de bloque de concreto, el daño se manifestó como grietas inclinadas que arrancaron de las esquinas de las aberturas hacia los elementos confinantes de las esquinas de la habitación (fig. 6.23). Sin embargo, algunas de estas grietas parecían anteriores a las observadas después del sismo de Tehuacán y probablemente se deben a asentamientos diferenciales (como los mostrados en la fig. 6.23). Como se señaló, el suelo que rodea la vivienda es blando. Se pudo apreciar la plasticidad del suelo húmedo durante la visita.

La vivienda de adobe puede ser reparada mediante el colado de elementos de concreto en la intersección de muros y su conexión a los muros de adobe. Otra alternativa de reparación puede ser la colocación de malla de gallinero o ganadera adherida a los muros de adobe mediante clavos para madera o grapas para alambre de púas y la posterior colocación de un repellado de mortero de 1.5 a 2 cm de espesor. Es recomendable colocar una capa de mortero de 1 cm de espesor sobre las piezas de adobe antes de adherir la malla. En el caso de la habitación de bloque de concreto, se puede emplear un esquema de rehabilitación a base de mallas electrosoldadas similar al propuesto para muros de adobe.



Figuras 6.21 y 6.22 - Daño en la intersección de muros y por movimientos fuera de su plano

6.4.3 Vivienda Iturbide

Muy cerca de la edificación anterior, también en la plaza principal, se encuentra una vivienda de un nivel compuesta por seis habitaciones. Esta edificación está aparentemente cimentada sobre boleos y cuenta con muros de adobe, de tabique de barro recocido y de bloque de concreto. El sistema de piso es una losa maciza de concreto de unos 12 a 15 cm de espesor (fig. 6.24).



Figura 6.23 - Agrietamiento inclinado en muros de bloque de concreto

Aparentemente, la construcción original estaba formada por muros de adobe y sólo contaba con dos habitaciones. Con el paso del tiempo y el surgimiento de nuevas necesidades de habitación, la estructura

original fue modificada mediante la adición de habitaciones construidas a base de muros de mampostería confinada de tabique de barro. También se aprecia que el sistema de techo original, usualmente tejas de barro, fue reemplazado por una losa maciza de concreto que se extendió hacia las nuevas habitaciones. Es de particular interés que algunos de los muros, inicialmente de adobe, fueron aumentados en su altura mediante mampostería de tabique de barro (figs. 6.25 y 6.26). Aparentemente se trata de una práctica frecuente en el poblado, ya que se observaron otras viviendas de construcción relativamente reciente que muestran el mismo defecto (fig. 6.27).



Figura 6.24 - Vivienda de adobe y mampostería de tabique de barro

Los daños en esta estructura se concentran en los muros de adobe. Se apreciaron grietas inclinadas que arrancan de la base de los muros, cerca de las aberturas. En la fig. 6.28 se muestra un agrietamiento de este tipo. No hubo daño alguno en los muros de tabique de barro. Se aprecia que las puertas no cuentan con un adecuado confinamiento en sus orillas. Parece que esta ausencia de confinamiento en las aberturas es una práctica común en la localidad. Obsérvese también la existencia de armados de castillos de una probable ampliación.



Figuras 6.25 y 6.26 - Detalle del cambio de material de construcción en muros

Se recomienda el apuntalamiento de la estructura con objeto de iniciar los trabajos de reparación. Estos podrían consistir en la construcción de elementos confinantes en las aberturas y en el reemplazo de las piezas de adobe por piezas de barro en aquellos muros en los que ocurrió un cambio de material.



Figuras 6.27 y 6.28 - Cambio de material de construcción en otras viviendas y agrietamiento inclinado cercano a aberturas en muros de adobe

6.5 HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA

6.5.1 Unidad Habitacional Infonavit Las Margaritas

La unidad habitacional denominada Las Margaritas, construida por Infonavit, se encuentra localizada al sureste del centro de la ciudad de Puebla. Está constituida por casas dúplex de dos niveles y multifamiliares de tres y cuatro niveles. Este conjunto habitacional se construyó entre los años 1976 y 1986. El material usado en esta unidad fue mampostería confinada de barro recocido.

No se observaron problemas importantes provocados por el sismo. Sin embargo, la mayoría de los edificios muestra grietas debidas, en buena medida, a una falta generalizada de mantenimiento. Se observaron fisuras producto de asentamientos que se han agravado por filtraciones (figs. 6.29 y 6.30).



Figuras 6.29 y 6.30 - Unidad Habitacional Infonavit Las Margaritas

En algunos edificios se observaron muestras de grietas obturadas, presumiblemente causadas por asentamientos diferenciales. En algunos cuantos edificios se observaron pequeñas fisuras inclinadas en muros de los pisos inferiores. La aparición de este daño en algunos edificios con características similares se puede explicar tanto por deterioro de las propiedades estructurales por intemperismo y filtraciones, como por el uso de materiales con características estructurales más pobres.

Se recomienda iniciar, o continuar en su caso, un programa de seguimiento del asentamiento de los edificios. Asimismo, se recomienda resanar las grietas mediante el relleno de las fisuras con mortero y reforzar los muros con un encamisado de mallas electrosoldadas recubiertas con mortero.

No obstante que sólo algunos cuantos edificios exhiben este tipo de fisuras y que los demás se comportaron adecuadamente durante el sismo del 15 de junio de 1999, es recomendable estudiar en gabinete la seguridad sísmica de los prototipos frente a las demandas sísmicas del reglamento de construcciones vigente en Puebla. Los resultados de este estudio pueden servir para priorizar acciones de refuerzo estructural, si así se requiere.

6.5.2 Unidad Habitacional Infonavit Amalucan

Esta unidad habitacional se ubica en la ciudad de Puebla al oriente del área metropolitana. Según información recabada consta de 4 000 viviendas, aproximadamente, en su mayoría formando parte de edificios multifamiliares de tres y cuatro niveles, aunque se tienen viviendas dúplex y aisladas de uno y dos niveles.

Los daños que fueron informados en este conjunto se limitaron a tres edificios multifamiliares, cercanos entre sí; éstos son el F, G y H. Dichos inmuebles se encuentran entre la Av. de las Torres y Retorno Tejocote (fig. 6.31).

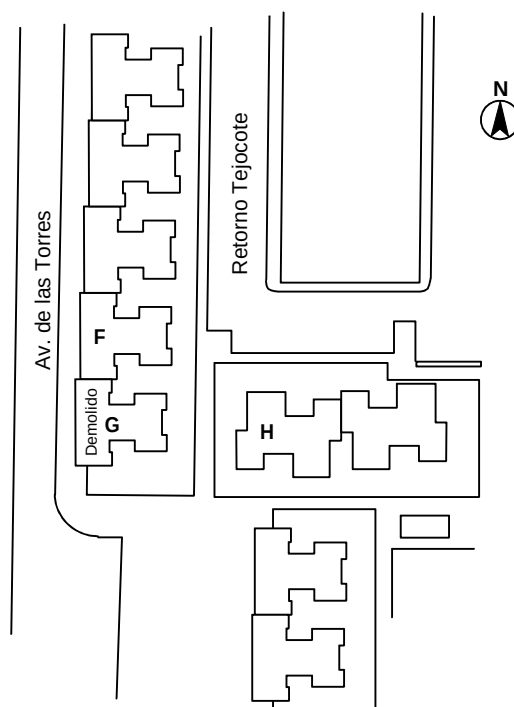


Figura 6.31 - Localización de los edificios afectados

La visita se realizó a finales de julio del presente año, fecha para la cual el edificio G ya había sido totalmente demolido, mientras que los edificios F y H se encontraron desocupados y a la espera de ser reparados.

Como se observa en la fig. 6.31 los edificios F y G eran idénticos, con una configuración en planta que presenta un eje de simetría en la dirección EO y con entrantes y salientes. Estos edificios, al igual que todos los demás inmuebles sobre la Avenida de las Torres, albergan comercios en la planta baja del cuerpo oeste. Por su parte, el edificio H posee una geometría diferente a la de los anteriores, con dos cuerpos unidos también por el cubo de escaleras.

La descripción de la geometría del edificio F se puede considerar igual a la que poseía el edificio G, excepto donde se indique algún detalle especial. En la fig. 6.32 se presenta una vista general del edificio, donde se aprecia la fachada oeste, sobre Av. de las Torres. A la izquierda de la fotografía está el edificio E, separado apenas 1 cm de la estructura del G; al lado derecho está el lote que ocupaba el edificio G. Las plantas arquitectónicas se muestran en la fig. 6.33. Esta estructura se puede considerar compuesta por dos cuerpos, conectados entre sí por una reducida losa de acceso a los departamentos. A ambos lados de esta losa se tienen aberturas, una de las cuales es ocupada como cubo de escaleras mientras que la otra queda vacía.

El edificio cuenta con cuatro niveles que se denominarán niveles 1, 2, 3 y 4. En el nivel de azotea se tienen algunos apéndices usados como extensión de ciertas habitaciones del piso 3 (fig. 6.33).



Figura 6.32 - Vista de la fachada oeste del edificio F

El edificio aloja 14 viviendas. Su sistema estructural es principalmente a base de muros de mampostería confinada que toman las cargas verticales así como las horizontales. En el primer nivel tiene un área de comercio en el cuerpo oeste, en donde el sistema cambia a marcos de concreto reforzado para permitir crujeas libres de muros. De acuerdo con la forma en planta, es clara la asimetría de los elementos resistentes en la dirección NS, lo que hace pensar, de primera vista, que la estructura sea vulnerable a oscilaciones de torsión importantes.

Las piezas de mampostería son de arcilla recocida con dimensiones de 5x12x24 cm. Con estas piezas se forman muros de 12 cm de espesor que con el recubrimiento de yeso o mortero llegan a tener 15 cm en total. Algunos muros del piso 4 y apéndices se fabricaron con las piezas colocadas normales al plano del muro, de tal forma que el espesor de esos muros es de 24 cm. En estos muros no se usó recubrimiento ya que se buscó un acabado *aparente*. El edificio G, al no tener estructuras en su colindancia sur, poseía ventanas en el muro del eje G, entre los ejes 1 y 4, que se compensaban estructuralmente con un muro de doble espesor entre los ejes 2 y 3.

Debido al recubrimiento no fue posible determinar la posición de los castillos, pero según los planos estructurales proporcionados por Infonavit, posee castillos de 12x24 cm en la mayoría de las intersecciones de muros, en los extremos de muros principales, e intermedios en muros largos como los del eje D. Alrededor de las aberturas de ventanas y en extremos de muros cortos no se cuenta con castillos. El armado de los castillos y cadenas fue a base de armaduras electrosoldadas con alambres corrugados de 6.4 mm (1/4 de pulgada) de diámetro. Un peritaje realizado al inmueble después del sismo de Tehuacán, y que fue proporcionado por el Infonavit, incluyó prueba de corazones de concreto de cadenas y castillos, resultando en resistencias del concreto del orden de 200 kg/cm² y superiores.

El daño se concentró en los pisos 1 y 2, y está representado por agrietamiento inclinado en los muros de mampostería, únicamente en la dirección NS. En el piso 1 se pudo inspeccionar una de las viviendas (fig. 6.34); la otra vivienda y los locales comerciales se encontraron cerrados. En este nivel los muros observados presentaron grietas inclinadas, con una sola grieta o formando una X, y con anchura aproximada de grieta de 2 a 3 mm. Sólo en dos de los muros de la dirección EO se vieron grietas aproximadamente horizontales. El cuerpo oeste no presentó daños en los elementos de concreto reforzado.

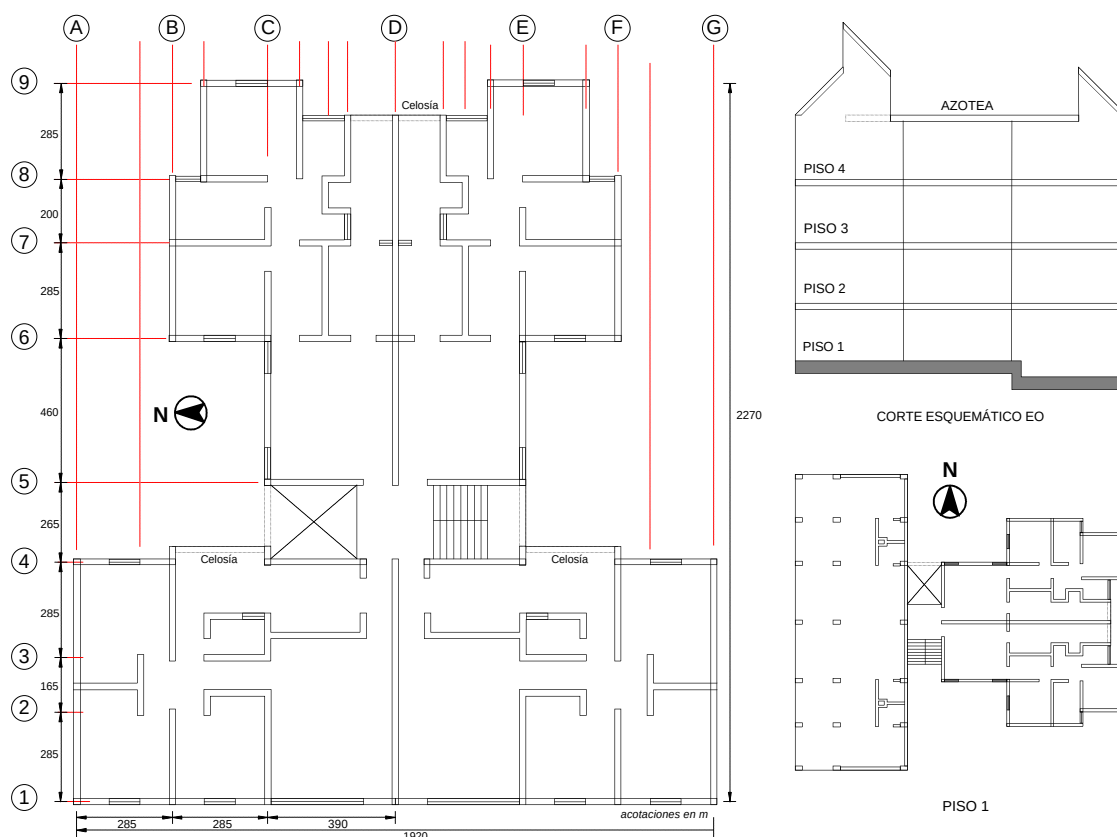


Figura 6.33 - Planta tipo con dimensiones, corte y esquema del primer nivel

En el piso 2 se pudieron examinar cuidadosamente las cuatro viviendas, identificándose el daño generalizado de los muros en dirección NS, con anchura máxima de grietas de 2 mm (fig. 6.35). Se tuvieron algunos vidrios rotos en la fachada oeste.

En los pisos 3 y 4 el daño fue mínimo, con grietas máximas de 1 mm en pocos muros. En ninguno de los casos las grietas se extendieron hacia los castillos; sólo se formaron en el panel de mampostería. Principalmente atravesaron piezas, y en mucho menor proporción siguieron la junta de mortero en forma

escalonada. Un recuento esquemático de los muros dañados se presenta en la fig. 6.34 en donde se puede apreciar una cierta simetría en los daños, lo que disminuye la posibilidad de que los problemas de torsión fueran de importancia.

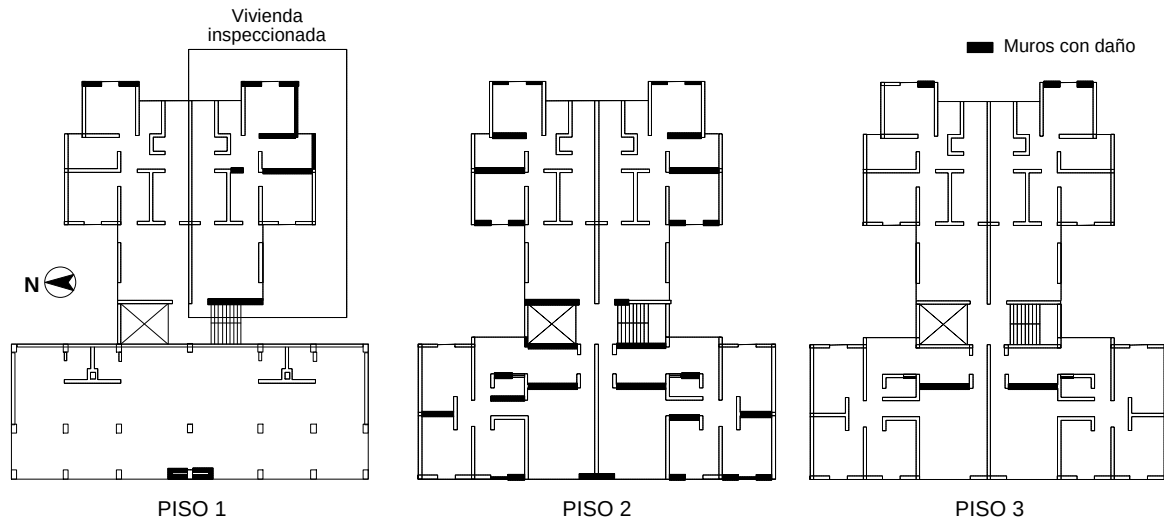


Figura 6.34 - Localización de muros con agrietamiento

Los dos cuerpos en que se puede suponer dividida a la estructura pudieron haber trabajado independientemente, ya que, aunque no se observaron daños en la reducida losa que los une, sí se observaron grietas verticales en la unión del pretil del descanso de la escalera con el resto de la estructura. No es fácil explicar que la losa de unión fuese suficientemente rígida en planta para transmitir corte entre los cuerpos y fomentar el trabajo de la planta en conjunto de los dos cuerpos.

La cimentación está resuelta con zapatas corridas de piedra bajo los muros de mampostería, y zapatas de concreto reforzado para recibir las columnas del área de comercio. El sistema de piso está resuelto con vigueta y bovedilla. En este caso las viguetas se colocaron en la dirección NS, por lo que la carga vertical de la azotea y los entrepisos se transmite únicamente a los muros orientados en dirección EO. No se observaron daños en las losas salvo algunas grietas que corren paralelas a las viguetas, siendo comunes en este tipo de sistema de piso y sin que representen peligro alguno.

El tipo de daño observado en la estructura corresponde al esperado ante sismos moderados, con grietas inclinadas de tensión diagonal producidas por las demandas horizontales y verticales cíclicas alternadas. El nivel de daño manifestado por el tamaño de las grietas y por las condiciones de daño nulo en castillos, indica que los elementos alcanzaron la resistencia de agrietamiento, pero que poseen todavía una reserva de resistencia considerable ante cargas laterales. Para fines de referencia del comportamiento de muros de mampostería, esta reserva se agota, es decir, se alcanza la resistencia a cargas laterales, cuando las grietas penetran en los extremos de los castillos. En el edificio F, la condición de seguridad ante cargas verticales no se ve comprometida ya que el área completa de los muros es suficiente, y además, la importante contribución de los castillos a resistir la carga vertical permanece intacta. Se concluye que el daño es absolutamente reparable.

El edificio H posee una distribución arquitectónica diferente a la del edificio F. Tiene cuatro niveles, con cuatro viviendas en cada uno, dando un total de 16. En este caso todo el edificio es de mampostería confinada. Exceptuando la distribución de muros, las características de la construcción, sistema de piso y cimentación son similares a las antes descritas. En las figs. 6.36 y 6.37 se muestran dos vistas generales del inmueble.



Figura 6.35 - Agrietamientos en muros del piso 1, fachada este del edificio F, una vez retirado el aplastado de yeso

En la planta baja (piso 1) se pudieron observar agrietamientos inclinados en algunos muros, con grietas cercanas a 5 mm de anchura pero que no se extienden hasta los castillos. En el piso 2 los agrietamientos fueron menores, y prácticamente nulos en los niveles 3 y 4. Conviene decir que hubo, en proporción, menos muros dañados que en el F. Las conclusiones referentes al edificio F son aplicables a este inmueble.

Según información proporcionada por personal del Infonavit el edificio G tuvo daños similares al F, con agrietamientos inclinados en muros de mampostería principalmente en el piso 1. En este caso las grietas fueron mayores, llegando a ser de 10 mm y que penetraron en castillos. Se tomó la decisión de demoler la estructura.



Figuras 6.36 y 6.37 - Vistas de la fachada norte y de la fachada oeste del edificio H

Como se indicó, sólo dos de los muchos edificios con geometría y estructuración similares sufrieron daños. Esto cancela la hipótesis de que el daño se haya debido a deficiencias de diseño. Puesto que no se observaron vicios o defectos constructivos, el argumento de atribuir el daño a deficiencias constructivas no es sostenible. Por otro lado, la existencia de otro edificio dañado con geometría y, por ende, estructuración diferente robustecen la hipótesis de que el daño se puede deber en parte a condiciones del suelo. Se considera muy probable que, concentrados los inmuebles dañados en una zona pequeña, existan condiciones de suelo que amplifiquen y/o modifiquen las características dinámicas del movimiento del terreno durante un sismo.

En todo caso, la conclusión es que los edificios F y H pueden ser rehabilitados. El esquema de rehabilitación seleccionado deberá fundamentarse en un análisis estructural ante sismo a partir del cual se compare la capacidad de la estructura con la demanda de diseño. Se deberá usar el reglamento local de construcción vigente. El diseño de la rehabilitación deberá basarse en los resultados del análisis y de un estudio económico.

Llama la atención que los muros agrietados estuvieron orientados en la dirección NS. Vale la pena recordar que, al estar orientadas las viguetas del sistema de piso en esta misma dirección, los muros que resisten las acciones permanentes verticales son los muros EO. Es decir, los muros NS sólo resisten su peso propio y el de sus correspondientes de pisos superiores. Si se toma en cuenta que pruebas de laboratorio indican que la resistencia al agrietamiento inclinado aumenta con la carga vertical (fenómeno que recogen las normas de diseño), es lógico pensar que la resistencia de los muros NS a carga lateral (expresada por unidad de longitud, por ejemplo) fuera menor que la de los muros EO. Este hecho ayuda a explicar la distribución del daño observado.

Como opción de rehabilitación se puede recomendar, entre las más factibles, la construcción de muros de concreto reforzado y/o el encamisado de muros mediante el uso de malla estructural electrosoldada y aplanado de mortero. Cualquiera de las opciones deberá cumplir con los siguientes lineamientos generales:

- Proporcionar una distribución uniforme y simétrica de los elementos rehabilitados en planta
- Preferentemente se debe hacer continuo el esquema de reparación en la altura del edificio, transmitiendo finalmente las cargas a la cimentación, (nunca suspender en niveles inferiores un refuerzo que se haga en superiores)
- Proporcionar anclaje adecuado de los elementos de reestructuración a la cimentación de tal forma que transmitan eficientemente las acciones al terreno
- Cuidar los detalles de conexión entre la estructura original y los nuevos elementos resistentes

Un posible arreglo de reparación, en la dirección NS del cuerpo este, sería el que se presenta en la fig. 6.38. Se acepta que en la dirección EO no es necesario incrementar la capacidad resistente. Se hace notar que no es estrictamente necesario reparar todos y cada uno de aquellos muros que sufrieron daño; con un esquema bien distribuido (aún incluyendo en muros sin daño) y que proporcione la capacidad requerida, la estructura se podrá considerar segura.

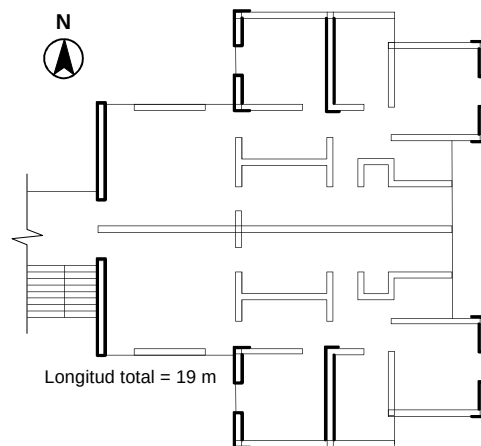


Figura 6.38 - Posible esquema de refuerzo con malla y mortero

Para el cuerpo oeste el problema de la excentricidad en planta es de consideración. Para disminuir la posibilidad de oscilaciones por torsión, una posible solución sería incrementar la rigidez y resistencia en la fachada oeste, de tal forma que se logre una mejor distribución. Ya que existe un muro de mampostería en el

centro de la fachada, se puede aprovechar la existencia de éste para reemplazarlo por un elemento resistente que no afecte la apariencia arquitectónica. Este esquema puede ser completado con muros patín de concreto en las columnas extremas (ejes A y G) como se propone en la fig. 6.39.

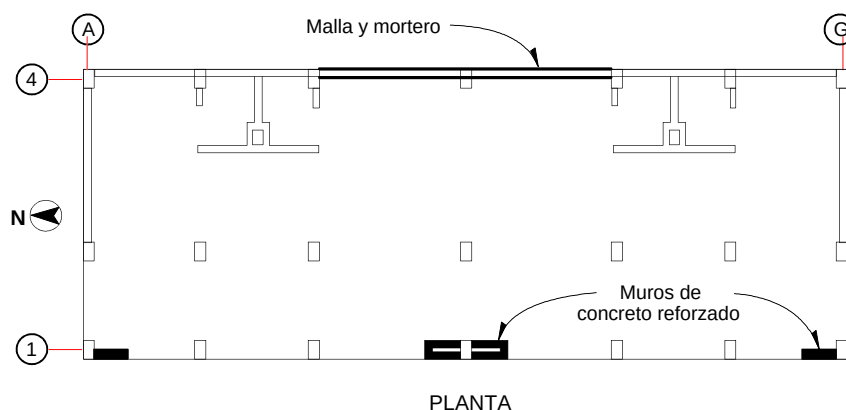


Figura 6.39 - Opción para rigidizar el marco de fachada

El diseño de estos elementos deberá ser tal que se reduzca las excentricidades correspondientes tanto a las rigideces como a la del centro de resistencias. Este esquema se puede continuar en los pisos superiores. Por último, se recomienda la realización de un estudio de mecánica de suelos para así poder evaluar las condiciones de la cimentación, en especial si se construyen muros de concreto, así como para poder estudiar mejor su influencia en el comportamiento dinámico de la estructura.

6.5.3 Condominio 3 Oriente

El condominio está ubicado en el número 615 de la calle 3 Oriente, en la Colonia Azcárate. Está formado por cinco edificios de tres y cuatro niveles. La estructura de los edificios está resuelta mediante marcos de concreto reforzado en la planta baja y con muros de mampostería en los pisos superiores. Aparentemente, cuando fallaron las columnas de planta baja, dos de los edificios colapsaron (fig. 6.40 y 6.41). Se observaron articulaciones en los extremos de las columnas. El fenómeno se atribuye al bien conocido fenómeno de planta baja flexible. Adicionalmente, hubo daños en la planta baja de los edificios restantes. Un tercer edificio sufrió daños muy severos en una columna central, aunque no colapsó. Otro edificio sufrió agrietamientos de menor cuantía en las columnas de la planta baja y también se mantuvo en pie.



Figuras 6.40 y 6.41 - Edificios colapsados en el Condominio 3 Oriente

El sitio está relativamente cerca de los depósitos aluviales del antiguo río San Francisco, en cuyo lecho se construyó el bulevar Héroes del 5 de Mayo. Las relativamente altas demandas de flexión y cortante en la base del edificio se combinaron con un entrepiso blando, al término del cual se tenía un cambio brusco de rigidez. La muy probable erraticidad y heterogeneidad de los depósitos lacustres, y posiblemente palustres, sobre los que descansan los cuatro edificios, podría explicar los diferentes comportamientos que experimentaron éstos. La presencia de esos depósitos de suelo determinó la amplificación de las aceleraciones en el sitio.

En uno de los edificios colapsados, algunas de sus columnas penetraron en el terreno (fig. 6.42). El tipo de cimentación para estas columnas y su profundidad de desplante se desconocen, pero se presume que sean zapatas aisladas de concreto reforzado, desplantadas a aproximadamente 1 m de profundidad. Se ha especulado que esta penetración podría deberse a una falla de cimentación, para la que se reúnen condiciones propicias tales como un depósito aluvial con un alto nivel freático, y la amplificación sísmica ya comentada por el efecto de sitio. Sin embargo, lo observado podría ser resultado simplemente de la penetración de columnas falladas por corte y/o flexocompresión, que sufrieron cierto desplazamiento lateral.



Figura 6.42 - Penetración en el terreno de una columna de esquina

6.6 SAN JUAN AHUEHUEYO

6.6.1 Vivienda Palma

Según el reporte de la Coordinación Estatal de Protección Civil del Estado de Morelos, la vivienda de la calle Palma fue la única dañada en este poblado. Se trata de una vivienda sencilla, compuesta por un solo cuarto de 3 m de anchura y 5.5 m de largo usada como habitación de una familia. La vivienda cuenta con una sola ventana. Los cuatro muros perimetrales son de piezas adobe de 50 cm de longitud, 30 cm de anchura y 10 cm de altura. Los muros se encuentran desplantados sobre una “cadena” de boleos pegados entre sí mediante arcilla (fig. 6.43). El sistema de techo es una retícula inclinada de rollizos y vigas de madera que soportan láminas corrugadas de metal. Es importante reconocer que el único muro de adobe que se encontraba confinado por castillos de concreto de sección cuadrada de unos 20 cm por lado y una dala de cerramiento, no resultó dañado. Según la propietaria, este refuerzo se había iniciado días antes del sismo.

El daño que se observó en la vivienda se concentró en el muro paralelo al único confinado. Se presentó una grieta vertical en la intersección de dicho muro con otro perpendicular (fig. 6.44). Este agrietamiento se asocia con el movimiento fuera del plano del muro sin confinamiento. Asimismo, se presentaron algunos agrietamientos inclinados en el muro con ventana. Este agrietamiento va de una de las esquinas de la abertura hacia la parte superior de la dala de confinamiento del muro perpendicular. Este tipo de daño se explica por

un deficiente confinamiento tanto de la abertura como del propio muro. Obsérvese que existen algunos boleos alrededor de la ventana empleados para rellenar espacios dejados por las piezas de adobe (fig. 6.45).



Figura 6.43 - Vivienda de adobe dañada

En contraste con la vivienda dañada, una edificación vecina de más reciente construcción empleando tabique de barro recocido en su modalidad confinada y con mejor detallado no sufrió daño alguno (fig. 6.46). La vivienda de adobe puede ser reparada mediante el colado de elementos de concreto en la intersección de muros y su conexión a los muros de adobe. Otra opción de reparación es la colocación de malla de gallinero o ganadera adherida a los muros de adobe mediante clavos de madera o grapas para alambre de púas y la posterior colocación de un repellado de mortero de 1.5 a 2 cm de espesor. Es recomendable colocar una capa de mortero de 1 cm de espesor sobre las piezas de adobe antes de adherir la malla. Una opción más es la construcción de un cinturón de confinamiento en la parte superior de los muros mediante dalas de concreto reforzado que estén ancladas en las esquinas de los muros, ya sea mediante *espolones* o pequeñas columnas, o bien a castillos contruados en las esquinas y en los costados de las aberturas.



Figuras 6.44 y 6.45 - Grieta vertical en la intersección de muros y daño en el muro con abertura



Figura 6.46 - Vivienda vecina de mampostería confinada, sin daño

6.7 SAN MATEO OZOLCO

6.7.1 Introducción

El recorrido por San Mateo Ozolco contempló la revisión de algunas viviendas de tapia y de mampostería de bloque de concreto y de tabique de barro recocido. En la fig. 6.47 se muestra un plano general de San Mateo Ozolco. En ella se ubican esquemáticamente las viviendas que presentaron daño y que fueron revisadas.

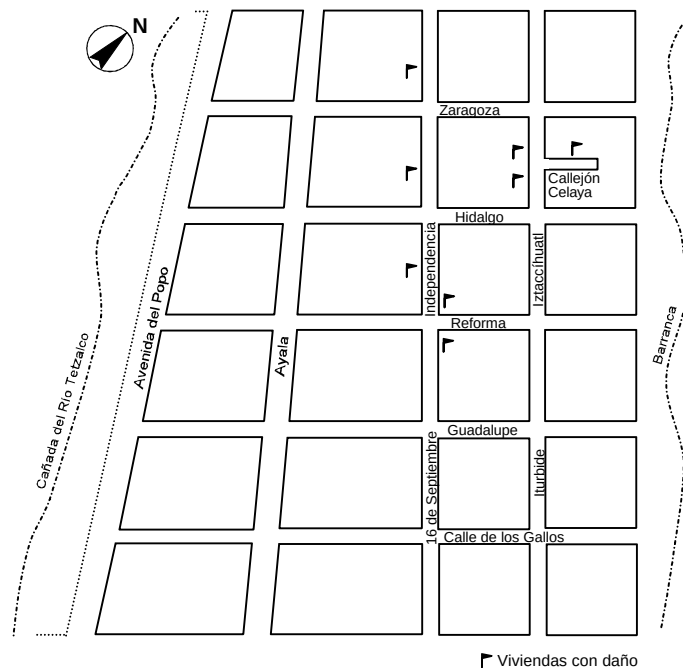


Figura 6.47 - Plano general de San Mateo Ozolco

6.7.2 Viviendas de Muros de Tapia hechos con Tierra

De acuerdo con datos recabados en la comunidad, 187 casas tuvieron daños durante el sismo, lo que significa que más de 500 personas tuvieron que ser desplazadas o albergadas. Cuatro personas fallecieron. Para fines comparativos conviene indicar que el número de habitantes en San Mateo Ozolco es de alrededor de 3800.

Los daños en vivienda se presentaron exclusivamente en viviendas de tierra. Según los vecinos, todas ellas estaban construidas con muros de tapia que databan de principios de siglo. Los muros de este sistema están hechos con grandes bloques de tierra superpuestos y sin conexión alguna entre ellos. Los bloques son colados in situ con adobe usando cajones de madera a manera de cimbra. Una vez que el adobe se ha secado, se retiran las tapas del cajón. Las caras de los bloques, sean verticales u horizontales, sirven como cimbra de los nuevos bloques que son colados contra el inmediato anterior o inferior. Como se dijo, a través de las juntas de colado no existen varillas ni otro elemento que asegure una adecuada transmisión de cortante. Las dimensiones típicas de los bloques son 1.9x1.7x0.5 m (anchura x altura x espesor). Comúnmente los muros estaban contruidos por dos hiladas de bloques. El sistema de techo de las viviendas colapsadas estaba hecho de un enramado de rollizos y vigas, simplemente apoyado sobre los muros, que a su vez soporta tejas de barro. Este sistema constructivo se empleaba comúnmente para vivienda formando espacios de alrededor de 4 m de largo por 3 m de ancho.

La falla parcial o total de las viviendas fue causada por el volcamiento de los bloques hacia dentro de la vivienda. Consecuentemente, el techo cayó. En varias de las construcciones colapsadas se apreció que sólo los bloques de la segunda hilada cayeron; es posible que los de la primera hilada estuvieran “empotrados” en el terreno.

En la fig. 6.48 se muestra un muro de tapia de una vivienda que fue confinada mediante castillos y dadas contruidos más recientemente y que no presentó grietas de consideración. Es claro que, pese a las diferencias en rigideces del concreto armado y del adobe, el confinamiento fue adecuado para mantener la estabilidad ante cargas verticales, evitando el volcamiento fuera del plano ya reseñado. La ausencia de daños de consideración en viviendas con muros de tapia recubiertos con un repellado de mortero pone de manifiesto que una resistencia y una rigidez mínimas a tensión producidas por la flexión fuera del plano fueron suficientes para evitar el daño. La resistencia y rigidez a tensión del repellado evitaron el cabeceo de los bloques de la hilada superior.



Figura 6.48 - Muro de tapia confinado, sin daño

Durante el recorrido en el poblado fue claro que construcciones recientes de mampostería (figs. 6.49 y 6.50) no exhibieron daño alguno. Prácticamente el resto de las viviendas, además de las de adobe, están hechas de mampostería de tabicón de cemento.



Figuras 6.49 y 6.50 - Construcciones recientes de mampostería, sin daño

Según las observaciones realizadas, la calidad de la construcción, e incluso el concepto de la estructuración actual son adecuados. Evidencia de esto son la profundidad de los cimientos (fig. 6.51), las dimensiones transversales y armado de los castillos, así como la calidad del concreto. En una vivienda en construcción típica en el poblado (fig. 6.52) se midieron castillos con 20 cm de lado, reforzados longitudinalmente con seis barras del no. 3 y transversalmente con alambazón de 6.4 mm de diámetro espaciados uniformemente cada 20 cm. La calidad del mortero y de las juntas fue satisfactoria. El único detalle que merece más cuidado es la junta castillo-dala, en la cual es práctica local que una parte del refuerzo longitudinal de la dala atraviese el nudo por afuera del armado de los castillos.



Figuras 6.51 y 6.52 - Detalle de cimentación y del refuerzo de castillos en una construcción en proceso

Desafortunadamente se identificaron algunos vicios constructivos en viviendas que han crecido a partir de un “cuarto redondo” de muros de tapia. Este es el caso de muros confinados de tabicón que son insertados en cajas verticales practicadas en el adobe. Este tipo de conexión no garantiza la continuidad estructural que es la línea de defensa fundamental de estructuras a base de muros. Es decir, la resistencia al volcamiento del muro de adobe es muy baja (fig. 6.53).



Figura 6.53 - Baja resistencia al volcamiento en muros de adobe

Si bien las casas dañadas fueron aquellas construidas con muros de tapia, se buscó evidencia de factores adicionales que contribuyeran al daño. Ciertamente se detectó intemperismo en el adobe, pero no para atribuirle exclusivamente las causas de los colapsos. Sin embargo, se advirtió que San Mateo Ozolco se desarrolla sobre el parteaguas de una loma que tiene rumbo sensiblemente noroeste-sureste. Esta loma está limitada hacia el este y oeste por sendas barrancas y cañadas (figs. 6.54 y 6.55). Es probable que cierta directividad en la intensidad y, especialmente, la amplificación de los movimientos por las condiciones topográficas, contribuyeran a incrementar el daño.



Figuras 6.54 y 6.55 - Barranca y cañada que limitan a San Mateo Ozolco en dirección EO

6.8 SANTA MARÍA LA ALTA

6.8.1 Daño en Vivienda

En Santa María la Alta la mayor parte de las casas son de un nivel, autoconstruidas, sin supervisión. El sistema estructural es a base de muros de mampostería simple de piedra y adobe (no cuentan con elementos confinantes de concreto reforzado), y de losas de techo de concreto reforzado sobrepuestas o bien de lámina y armadura de madera. El poblado guarda una distribución urbana bastante irregular, siendo difícil identificar el trazado de calles. Según el ayudante del Presidente Municipal, el poblado cuenta con alrededor de 800 viviendas, la mayoría de ellas conformadas por uno o dos cuartos, en 300 de las cuales se registró algún tipo de daño.

Los daños observados en las viviendas fueron agrietamiento inclinado en muros (fig. 6.56); agrietamiento vertical en las esquinas y zonas de unión con muros ortogonales (fig. 6.57); y falla total de la estructura (fig. 6.58).



Figura 6.56 - Agrietamiento inclinado en muro de mampostería

El origen de los daños es debido básicamente a la falta de continuidad en el sistema, que permite el movimiento relativo e independiente entre los muros y el techo por no contar con elementos confinantes y de unión. Además, el daño fue agravado por el gran peso de la estructura de techo en algunos casos (fig. 6.58). Dentro de las 300 casas con informes de daño, únicamente siete colapsaron totalmente (según la Presidencia Municipal), y del orden de 180 presentaban daños medios a severos en la zona de unión entre muros ortogonales. El resto presenta daño ligero que no pone en peligro la estabilidad de las estructuras.



Figuras 6.57 y 6.58 - Agrietamientos verticales en unión perpendicular de muros y colapso total de una vivienda

El daño en este poblado se puede asociar a su cercanía al epicentro. Pudo ser relevante el efecto “de fuente cercana”, donde se presentan conjuntamente aceleraciones horizontales y verticales importantes. Estas demandas pueden fomentar la caída de las estructuras de techo por el desplazamiento desfasado de los elementos de apoyo y la estructura de techo.

CAPÍTULO 7

ESCUELAS E INSTITUCIONES EDUCATIVAS

7.1 INTRODUCCIÓN

Es frecuente que, después de la ocurrencia de sismos moderados e intensos, las escuelas e instituciones educativas sean empleadas como albergues temporales, centros de reunión y de información. Por la razón anterior y por la importancia intrínseca que tienen estas estructuras al alojar niños y jóvenes se consideran en los reglamentos de construcción como edificaciones que requieren condiciones de seguridad superiores a las normales; por ello se realizaron visitas a diversas edificaciones de este tipo en seis poblaciones. En general, se atendió a los informes recibidos por las diferentes coordinaciones de protección civil.

Se visitaron escuelas en Atlixco, Chapulco, Heroica Puebla de Zaragoza, San Mateo Ozolco, Santa María la Alta y Tecamachalco. Los daños observados van desde los no estructurales hasta aquellos que provocaron la evacuación de inmuebles.

7.2 ATLIXCO

7.2.1 Introducción

Durante la visita a Atlixco, se contó con el apoyo de la Coordinación Municipal de Protección Civil, que sugirió la asistencia a los lugares que habían exhibido mayores daños. De acuerdo con la propuesta de la Coordinación, se realizó un recorrido que comprendió cuatro instituciones: la Escuela Primaria Ignacio Zaragoza, el Jardín de Niños Los Ángeles, la Escuela Secundaria Gabino Barreda y la Escuela Secundaria Melchor Ocampo.

7.2.2 Escuela Primaria Ignacio Zaragoza

Esta escuela se localiza en la parte nororiental de la ciudad de Atlixco, en la colonia Los Ángeles. El predio que ocupa es aproximadamente cuadrado, de unos 35 m de frente por 30 de fondo. El frente del predio está orientado sensiblemente en dirección NE-SO. El conjunto está formado por cuatro cuerpos, tres de ellos de un solo nivel y el restante de dos. Los tres cuerpos de un nivel alojan salones de 6 m de anchura y 7 m de longitud. La altura de entrepiso es de alrededor de 3 m.

La estructura de los salones fue resuelta mediante muros de mampostería confinada por castillos de concreto reforzado de sección cuadrada de 15 cm por lado. El sistema de techo, a dos aguas, es una losa de concreto apoyada en una retícula ortogonal de perfiles de acero tipo montén. Los perfiles empleados están soldados en las puntas de las alas para formar secciones rectangulares huecas de 15 cm de anchura por 20 cm de peralte.

En el recorrido efectuado por el conjunto no se observó daño estructural alguno. La seguridad estructural de los inmuebles no se encuentra comprometida. Los daños reportados por profesores y padres de familia se limitaron a agrietamientos en muros y losas a lo largo de conductos eléctricos. Los primeros pudieron ser causados por un recubrimiento insuficiente en muros y losas, mientras que los segundos se pudieron asociar con un mantenimiento deficiente y la existencia previa de filtraciones y humedades.

Se recomienda dar inicio o continuar, en su caso, un programa integral de mantenimiento que permita recuperar las condiciones originales de la escuela. Una vez corregidas las humedades y filtraciones, los agrietamientos observados se pueden reparar localmente mediante el retiro de los recubrimientos y la colocación de un repellado de mortero.

7.2.3 Jardín de Niños Los Ángeles

A espaldas de la Escuela Primaria Ignacio Zaragoza, sobre la calle Gardenias, se encuentra el Jardín de Niños Los Ángeles. Esta institución ocupa un predio de planta rectangular en el que se encuentran tres cuerpos independientes de un nivel. Los distintos cuerpos tienen diferente fecha de construcción y geometría en planta. De acuerdo con los profesores, el inmueble podría tener entre 12 y 16 años. El cuerpo más grande y antiguo tiene cuatro salones (fig. 7.1). Los dos cuerpos restantes están formados por un solo salón y se construyeron después (fig. 7.2). El cuerpo más moderno tiene menos de dos años de construido y se encontró desocupado al momento de la visita. A decir de profesores e intendentes, no se ha utilizado por problemas de humedad en la losa. Ninguno de los cuerpos mostró signos de daño estructural por el sismo de Tehuacán.



Figuras 7.1 y 7.2 - Vista general de dos de los cuerpos del Jardín de Niños Los Ángeles

Los daños observados se limitan a grietas pequeñas en losas que no ponen en riesgo la estabilidad de la estructura. Se registraron agrietamientos que coinciden con la traza de conductos eléctricos de lámparas, probablemente debidos a un recubrimiento insuficiente. Adicionalmente, se observaron grietas en losas que van del centro de las mismas hacia las trabes perimetrales, sin alcanzarlas. Por su tamaño y disposición, estas grietas parecen ser producto de la contracción del concreto, cuya anchura pudo acentuarse por deficiencias en el mantenimiento de los inmuebles. Efectivamente, se observaron algunas manchas debidas a humedad y filtraciones en las losas.

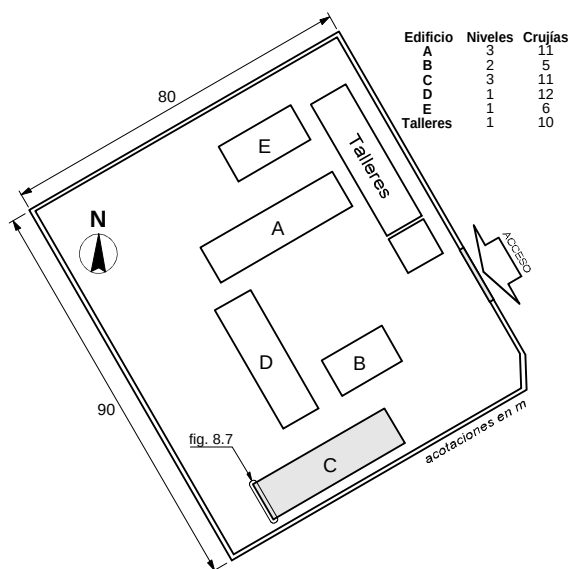


Figura 7.3 - Detalle de la losa de uno de los cuerpos

Es importante destacar que el cuerpo de más reciente construcción mostró grietas y deformaciones relacionados con deficiencias constructivas. Como se puede observar en un primer plano de la fig. 7.3, el centro de la losa presenta una flecha inadmisibles. Como no se aprecian grietas por flexión, se puede suponer que hubo problemas con el soporte de la cimbra durante el colado. Resulta preocupante observar que, por defectos constructivos, una edificación moderna destinada a escuela se encuentre desocupada.

7.2.4 Escuela Secundaria Gabino Barreda

El complejo está ubicado en el extremo norte de la unidad habitacional del Infonavit de Atlixco. Fue construido en 1982. Consta de seis edificios con diferente número de niveles (figs. 7.4 y 7.5). Los edificios están contruidos a base de marcos de concreto reforzado en ambas direcciones. Las dimensiones de las columnas son diferentes según el edificio de que se trate. En los de un nivel, las columnas miden 40x25 cm; mientras que en los restantes miden 45x30 cm. En todos los casos, las trabes son de 30x55 cm. En la dirección corta, como es común en este tipo de inmuebles, las aulas están separadas por muros diafragma de tabique de barro extruido del tipo doble-hueco. En la dirección larga de los edificios, se cuenta con antepechos de tabique de barro extruido y ventanería. No se logró determinar si los muros y antepechos de mampostería están reforzados interiormente.



Figuras 7.4 y 7.5 - Planta general y vista de los cuerpos A y D de la Escuela Secundaria Gabino Barreda

De acuerdo con el reporte del director del plantel, los daños se concentraron en el edificio C, en la parte central del edificio A y en el de talleres. En la fig. 7.6 se muestra esquemáticamente la localización del daño en la planta y la elevación del edificio C. Las plantas y elevaciones de los edificios restantes son similares a las de dicha figura.

El daño en el cuerpo C se evidenció en el muro diafragma del tercer piso del marco extremo, que mostró signos de movimiento significativo fuera de plano (fig. 7.7). Esto se debe a la falta de restricción del movimiento fuera del plano de dichos muros con relación a la estructura principal (columnas y trabes). Recuérdese que el muro de la fig. 7.7 tiene 7 m de longitud. Dado el tipo de desplazamiento es probable que el muro no cuente con castillos ahogados intermedios, o bien que su número sea insuficiente. El muro no colapsó dado que la última hilada se vio restringida por la cara inferior de la viga. El muro quedó deformado, sin exhibir grietas, con convexidad horizontal y vertical.

El daño observado en el edificio B y en el edificio de talleres, se limitó a pequeñas fisuras en losas y trabes. En ambos casos, el agrietamiento se pudo deber al desarrollo de fisuras previas provocadas por la contracción del concreto. En el caso particular del edificio de talleres, algunas trabes en la dirección corta mostraron fisuras aproximadamente verticales que coincidían con la traza de los estribos. La falta de recubrimiento pudo ser la causa de la aparición de estos agrietamientos. Lo inusual del patrón de fisuramiento es su aparición en la parte superior de la viga, aun al centro del claro (agrietamiento esperado en zonas de momento negativo, es decir, con las fibras superiores sujetas a tensión). Se especula que se deba a aceleraciones verticales de magnitud no despreciable. Sin embargo, debido a la ausencia de registros en la zona, el fenómeno anterior es mera hipótesis.

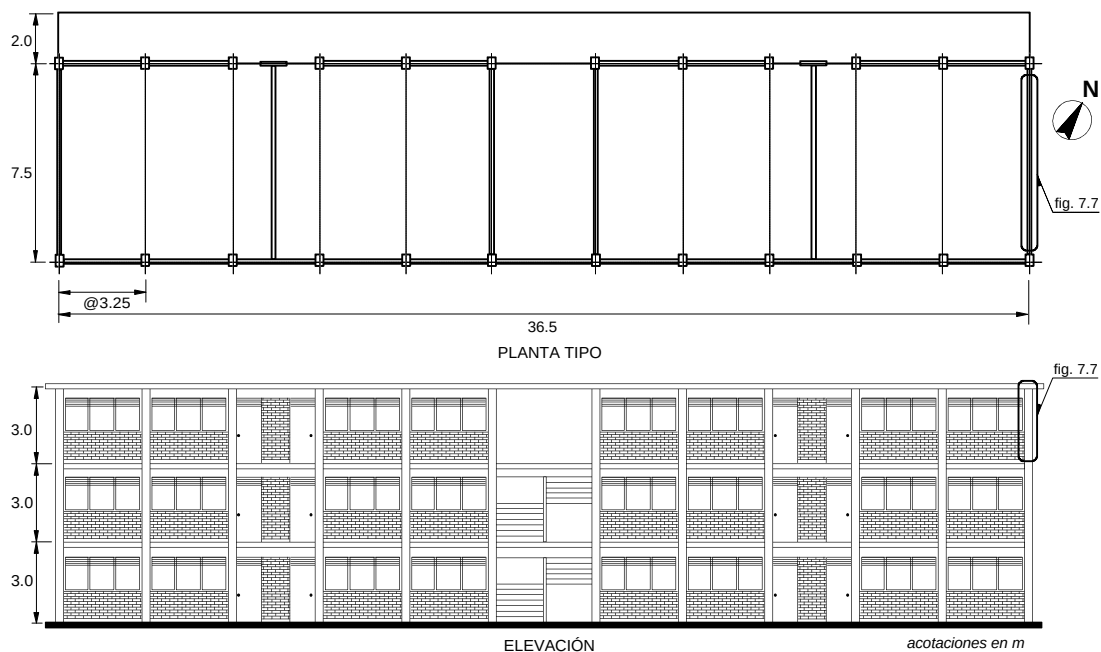


Figura 7.6 - Planta y elevación del edificio C

La estabilidad de los edificios no se ve comprometida en ningún caso. Se recomienda la reparación del muro extremo del edificio C volviéndolo a colocar a plomo (sin necesidad de demolición y reconstrucción) y fijándolo mediante conectores metálicos en forma de ángulo a la trabe correspondiente, con objeto de evitar problemas posteriores de volteo fuera del plano. La misma precaución se deberá tomar en los muros restantes de dicho edificio y los del conjunto. Los agrietamientos de trabes y losas no merecen ningún tratamiento especial. Se recomienda hacer un levantamiento de la localización y anchura de dichos agrietamientos con objeto de estudiar su evolución en el tiempo y decidir sobre su posible reparación.

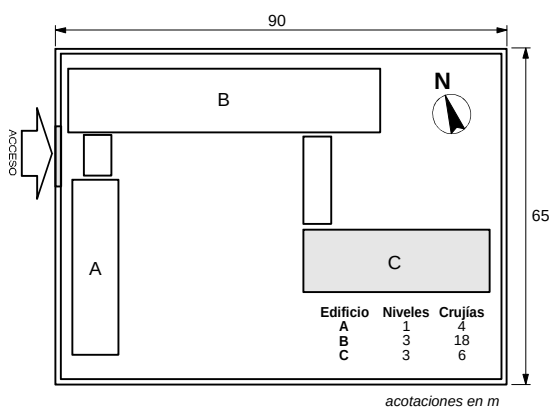
7.2.5 Escuela Secundaria Melchor Ocampo

Esta escuela se localiza en la calle 2 Sur, entre la 23 y 25 Oriente, en la parte sur de la ciudad de Atlixco. Es un conjunto de tres edificios construido hace 33 años. De acuerdo con los profesores y personal administrativo que acompañaron el recorrido y con algunas observaciones hechas en las columnas de uno de los edificios, la estructura pudo haber tenido daño en el sismo de 1973. Uno de los edificios tiene cuatro niveles y otro tres; están conectados entre sí mediante un puente de escaleras. El tercero es de un solo nivel y alberga las oficinas administrativas. En las figs. 7.8 y 7.9 se muestran la planta general y una vista de la Secundaria Melchor Ocampo.



Figura 7.7 - Detalle del movimiento fuera del plano del muro extremo del edificio C

Los tres edificios y los cubos de escaleras están estructurados a base de columnas y losas planas de concreto reforzado. Al igual que en otras escuelas, en la dirección corta de los edificios se construyeron muros divisorios de bloque de arcilla para formar las aulas. En la dirección larga, las fachadas de los edificios cuentan con antepechos de bloque de arcilla extruida de alrededor de 1 m de altura, ventanería y aberturas para puertas (fig. 7.10). Con excepción del edificio A, donde los claros entre columnas son de 4.5 m, las crujías miden 6 m.



Figuras 7.8 y 7.9 - Planta general y vista del cuerpo B de la Escuela Secundaria Melchor Ocampo

Las columnas del edificio B miden 20x40 cm, mientras que las del edificio C son de 25x40 cm. En los cuerpos B y C, así como en las dos torres de escaleras, la mayor dimensión de las columnas está orientada en la dirección corta de los mismos, conservando sus dimensiones en toda la altura. Todas las losas son de 40 cm de peralte. No se conoce si la losa es aligerada. No se logró determinar el tipo ni características de la cimentación de los edificios. En la fig. 7.11 se muestran esquemas de la planta y de las fachadas del cuerpo C. Una vista panorámica de este cuerpo se muestra en la fig. 7.12. El cuerpo B tiene una distribución similar a la mostrada en la fig. 7.11.



Figura 7.10 - Vista de un salón tipo del cuerpo C

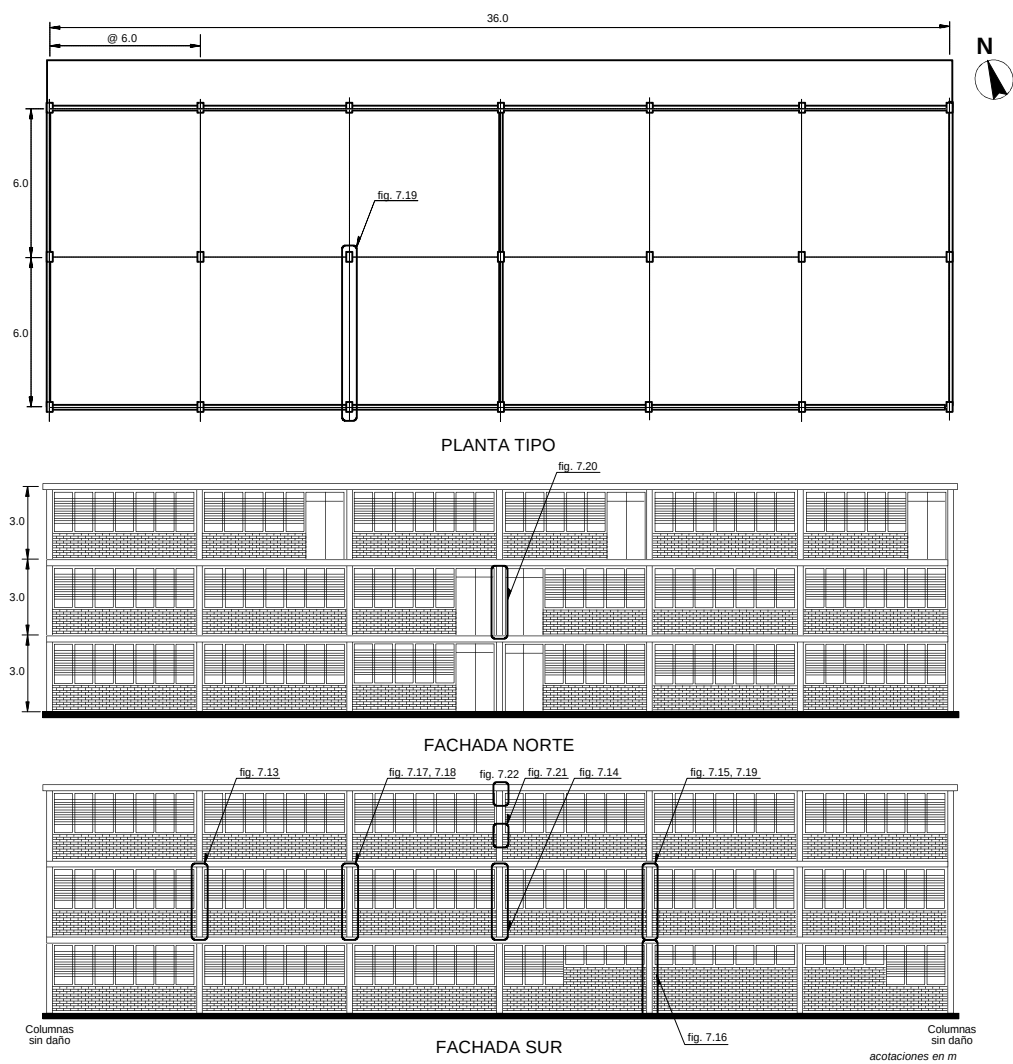


Figura 7.11 - Planta y elevación del cuerpo C

Durante el recorrido, se observó que el daño se concentró en el segundo y tercer niveles del edificio C y en la junta del puente de escaleras que lo conecta con el edificio B. La concentración del daño en sólo dos de los niveles del edificio C podría explicarse por un cambio en la resistencia del concreto empleado durante la construcción. Por la magnitud del daño, el edificio C fue evacuado por decisión de las autoridades administrativas. Los cuerpos restantes, que no mostraron daño evidente, continuaban en operación al momento de la visita. En la fig. 7.11 se destacan algunos puntos de la estructura que exhibieron daño.



Figura 7.12 - Fachada sur del edificio C

El daño típico del edificio C fueron grietas inclinadas en la mitad superior de las columnas. En las figs. 7.13, a 7.16 se muestran detalles del agrietamiento inclinado que, en general, apareció en las columnas del segundo nivel. El daño es característico de elementos de concreto reforzado con una capacidad deficiente al corte y con deterioro de adherencia. El primero es claro por el agrietamiento inclinado, mientras que el segundo lo es por el fisuramiento vertical coincidente con la ubicación del refuerzo longitudinal de las columnas. De acuerdo con las dimensiones medidas, en la dirección del daño (dirección EO o larga), la relación altura libre-peralte de las columnas fue de 7. Es decir, el comportamiento esperado no estaba regido por corte como en columnas cortas con relación menor o igual que 5. Es posible que la presencia de los antepechos de bloque de arcilla, que confinan la parte inferior de las columnas, provocara un incremento en la demanda de corte de las mismas. Esto, junto con la reducida capacidad al corte, produjo la falla registrada. El confinamiento lateral adicional con que cuenta la región inferior de las columnas evita que se presenten daños, como es evidente en las figs. 7.13 a 7.16.



Figuras 7.13 y 7.14 - Detalle del daño en columnas del cuerpo C (fachada sur)



Figuras 7.15 y 7.16 - Detalle del daño en columnas del cuerpo C (fachada sur)

En la cara interior de una de las columnas del segundo nivel del edificio C se observaron grietas inclinadas y verticales a lo largo del refuerzo de hasta 1.5 cm de anchura (figs. 7.17 y 7.18). En esta columna se observaron barras de refuerzo longitudinal del no. 6 en las esquinas y refuerzo transversal consistente en estribos de alambre liso de 6.4 mm de diámetro espaciados 20 cm, aparentemente en toda la altura. El recubrimiento del núcleo de concreto fue de alrededor de 3 cm. La inspección visual permite suponer que el concreto empleado fue de buena calidad.



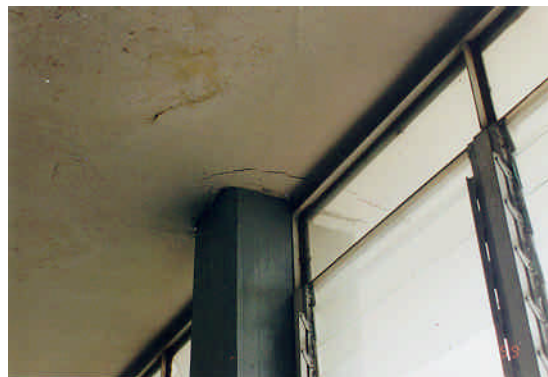
Figuras 7.17 y 7.18 - Detalle del daño en una columna del cuerpo C (fachada sur)

En contraste con el daño observado en las columnas de fachada, aquéllas ubicadas en el eje longitudinal intermedio del edificio C (primer plano de la fig. 7.19), o bien no confinadas por antepechos de bloque de arcilla (fig. 7.20), no mostraron agrietamiento alguno. Esta observación refuerza la hipótesis de que las demandas de corte fueron mayores por el arriostramiento de los antepechos.



Figuras 7.19 y 7.20 - Columnas del cuerpo C sin confinamiento lateral

Adicionalmente, se observaron agrietamientos por flexión a media altura de las columnas de la fachada sur (fig. 7.21) y por flexión-cortante en algunos puntos de las losas del tercer nivel (fig. 7.22). El giro de la columna con respecto a la losa produjo demandas de flexión y corte que concentraron el daño en la región de la conexión (fig. 7.22).



Figuras 7.21 y 7.22 - Grietas de flexión y daño por punzonamiento en losas del cuerpo C

En algunas de las columnas fue posible la medición de la anchura de grietas. Las correspondientes a flexión oscilaron entre 0.08 y 0.4 mm, mientras que las de corte alcanzaron los 2 cm. El tamaño de estos agrietamientos sugiere la reparación del daño mediante inyección de resinas, así como el encamisado mediante elementos de acero o concreto, una vez apuntalado el edificio. Se deberá evaluar la conveniencia de limitar las distorsiones de entrepiso a través de elementos más rígidos.

Durante el recorrido se observaron algunos defectos constructivos como la falta de concreto o lechada en castillos interiores de muros divisorios de mampostería de bloque hueco (fig. 7.23) o defectos de mantenimiento (fig. 7.24) que acentuaron el daño. Un ejemplo de esto son las regiones vecinas a las juntas entre el edificio B y las torres de escaleras que mostraban evidencia de haber sido reparadas en diferentes ocasiones, siempre cerrando la abertura de la junta mediante relleno de morteros, en lugar de limpiar la junta para permitir los desplazamientos horizontales de los cuerpos libremente y protegerla de posibles filtraciones.



Figuras 7.23 y 7.24 - Castillo interno sin rellenar y falta de mantenimiento en una de las torres de escaleras

Con objeto de hacer un análisis aproximado de las demandas a que estuvo sujeto el cuerpo C, se calculó la capacidad a corte de las columnas. Se consideraron dos casos: las columnas con mayor daño en las que se puede suponer que trabajaron tanto el concreto como el acero (mayoría de la fachada sur) y las columnas con escaso agrietamiento en las que se puede suponer sólo la contribución del concreto. Empleando las expresiones de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (DDF, 1996), suponiendo resistencias a compresión del concreto f'_c de 200 y de 250 kg/cm², y que el refuerzo observado en una de las columnas es igual en el resto, se calcularon las resistencias a corte de los dos casos establecidos.

La tabla 7.1 resume los cálculos efectuados. Los valores de las columnas referentes a $V_{resistente}$ se calcularon considerando que, en los entresijos 1 y 3, todas las columnas contribuyen a la resistencia a corte sólo con la participación del concreto. En el segundo entresijo, se consideró que cinco columnas de la fachada sur contribuyeron con la resistencia del concreto y del refuerzo transversal mientras que en el resto sólo contribuyó el concreto a través de su resistencia a tensión diagonal. En la tabla 7.1 se incluyen los coeficientes sísmicos calculados para los dos casos de resistencia del concreto considerados. Se observa que los coeficientes sísmicos obtenidos son muy semejantes entre sí para los dos casos de resistencia de concreto considerados. Es de notar que los coeficientes se reducen prácticamente en 50% al bajar un nivel en la estructura.

Tabla 7.1 - Resistencias a corte y coeficientes sísmicos del cuerpo C

Entrepiso	W carga muerta, t	W carga viva, t	W total, t	V resistente (200), t	V resistente (250), t	c (200)	c (250)
3	493	35	528	121	136	0.23	0.26
2	1009	161	1170	148	162	0.12	0.13
1	1524	287	1811	121	136	0.07	0.07

De acuerdo con los cálculos de la tabla 7.1, se esperaría que el daño se concentrará en el primer entresijo; sin embargo, no sucedió así. Aún más, considerando distribuciones de fuerza cortante de entresijo constante o en triángulo invertido, el mayor cortante se concentra en la planta baja. Una causa probable de la discrepancia anterior podría ser, como ya se dijo, un cambio en las propiedades mecánicas de los materiales empleados en la construcción. Por otro lado, en este análisis se considera que la contribución de los elementos

a resistir cargas laterales es sólo función de su resistencia al corte. Sin embargo, la existencia de elementos con comportamiento elástico lineal sugiere la necesidad de un análisis detallado de la capacidad del edificio C ante cargas laterales y gravitacionales considerando sus rigideces relativas. Para ello se deberá tomar en cuenta la resistencia real de los materiales obtenida mediante calas y la verificación de los armados en las columnas.

7.3 CHAPULCO

7.3.1 Escuela Primaria José María Morelos y Pavón

La escuela se encuentra ubicada en el costado norte de la Iglesia de Chapulco. Consta de tres cuerpos independientes de un solo nivel. Según se informó, uno de los cuerpos está destinado a las oficinas de la escuela y los restantes a las aulas. Los cuerpos fueron construidos en dos etapas; en la primera, se construyeron las oficinas y el cuerpo del norte, mientras que en una segunda etapa el cuerpo sur.

Todos los edificios están contruidos a base de muros diafragma de mampostería de tabique de barro recocido dentro de marcos de concreto reforzado. En la dirección corta, los muros cabeceros y divisorios de las aulas rellenan la crujía del marco completamente, sin holgura entre ellos y el marco. En la dirección larga, los muros cubren parcialmente las crujías para permitir la colocación de ventanas y puertas.

Los daños que se encontraron en esta escuela son básicamente la rotura de casi todos los vidrios de unos de los cuerpos, además del agrietamiento horizontal de una de las columnas (fig. 7.25). Se piensa que la rotura de los vidrios se generó por una mala fijación, ya que no se encontraron deformaciones permanentes en la cancelería de fierro ni en los elementos estructurales. No se encontraron problemas de *columna corta*, ni agrietamientos en ninguno de los elementos restantes.



Figura 7.25 - Vista lateral de la Escuela Primaria José María Morelos y Pavón, observándose la rotura de vidrios

En la colindancia poniente de uno de los cuerpos de aulas, existe un muro de adobe de 4 m de altura y 7 m de longitud aproximadamente, que perteneció a una construcción del siglo XVII y que por el intemperismo que ha sido objeto, así como por eventos sísmicos, se encuentra en riesgo de derrumbe. El derrumbe de parte o todo el muro afectaría seriamente las aulas. Aún más pone en riesgo la seguridad de los educandos.

Por lo anterior, se considera que la estabilidad de los cuerpos de la escuela no se encuentra en riesgo. Sin embargo, se deben tomar las medidas necesarias para la estabilización y arriostramiento del muro descrito.

7.4 HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA

7.4.1 Introducción

La única edificación empleada para educación que se visitó en la ciudad de Puebla fue la Facultad de Medicina de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Sólo uno de los edificios del conjunto resultó dañado. Alrededor de una semana después del sismo se completó su demolición.

7.4.2 Facultad de Medicina de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Se revisó el edificio de aulas de la Facultad de Medicina de la BUAP que experimentó daños estructurales de consideración. El edificio constaba de planta baja y tres pisos, así como de cinco crujiás en la dirección larga. El edificio estaba estructurado a base de marcos viga-columna de concreto reforzado en la dirección corta y de marcos losa-columna en la dirección larga. Como es costumbre en edificaciones para docencia, las aulas estaban separadas por muros diafragma, en este caso hechos con bloques de cemento. En la dirección larga, en la fachada que colinda con la calle, los marcos estaban parcialmente cerrados mediante muros diafragma de mampostería; estos muros eran interrumpidos en la altura para permitir la ventilación de los salones.

Análogamente, en la fachada larga del interior, los marcos estaban parcialmente rellenos con muros diafragma que se interrumpen en su altura y longitud (antepechos) para permitir la ventilación y acceso a los salones de clase. Las aulas estaban intercomunicadas en cada planta mediante pasillos que estructuralmente estaban en voladizo y que estaban apoyados en las columnas del marco longitudinal interior. Una peculiaridad de este edificio es la inclinación de parte del sistema de piso con respecto a la horizontal. Con objeto de producir un escalonamiento de las butacas y mesa bancos, la losa de piso está inclinada. Esta particularidad se presenta también en la planta baja, en donde se tiene una plataforma inclinada construida sobre el piso a nivel de calle.

Los daños más importantes se presentaron en las columnas de la planta baja del marco interior. Las columnas exhibieron articulaciones plásticas por flexión con severo deterioro de corte (fig. 7.26), así como grietas por corte en media altura (fig. 7.27). Los estribos de alambón de 6.4 mm de diámetro estaban separados a cada 300 mm, como era costumbre en la práctica de diseño de hace algunas décadas. El recubrimiento de las columnas era menor de que actualmente se exige; la calidad del concreto no era la adecuada para estructuras de esta importancia.

Debido al acortamiento de las columnas, el edificio se asentó diferencialmente, provocando agrietamientos de flexión en las losas donde el asentamiento diferencial era mayor (fig. 7.28), así como fisuras en columnas y trabes. Al momento de la visita, según se informó, la estructura se había asentado más, ya que nunca se tomó la decisión de apuntalarlo después del sismo. Los muros diafragma en la dirección corta exhibieron agrietamiento horizontal e inclinado. Cuando se realizó la visita, se había iniciado la demolición de algunos muros de fachada en la dirección larga (fig. 7.29). El edificio fue totalmente demolido el viernes 18 de junio según una fotografía publicada en la primera plana de El Sol de México del sábado 19 de junio.

El nivel de daño de la estructura, concentrado casi en la planta baja, no era suficiente para justificar la demolición del inmueble. Como fue expresado en su oportunidad durante la visita del jueves 17 al Director de la Facultad de Medicina, técnicamente el edificio podía ser rehabilitado. Se comentó las varias experiencias con problemas similares en la ciudad de México a raíz de los sismos de 1985.

Como en cualquier rehabilitación, se recomendó la determinación del costo de demolición y construcción de un nuevo edificio para ser comparado contra el costo de rehabilitación (reparación y refuerzo). Este ejercicio no había sido realizado a la fecha de la visita y, de hecho, su realización no era contemplada. Se indicó que si bien en la decisión de rehabilitar intervienen otros factores, como lo son el estético y económico, es determinante considerar la factibilidad técnica de llevar a cabo la rehabilitación.



Figura 7.26 y 7.27 - Articulaciones plásticas y falla por corte de las columnas de planta baja

Mientras lo anterior se hacía, se señaló la necesidad de apuntalar el edificio. Finalmente, se recomendó revisar la seguridad estructural de los otros edificios que, aunque no exhibieron daños estructurales y son más modernos, están estructurados de manera similar al edificio dañado.

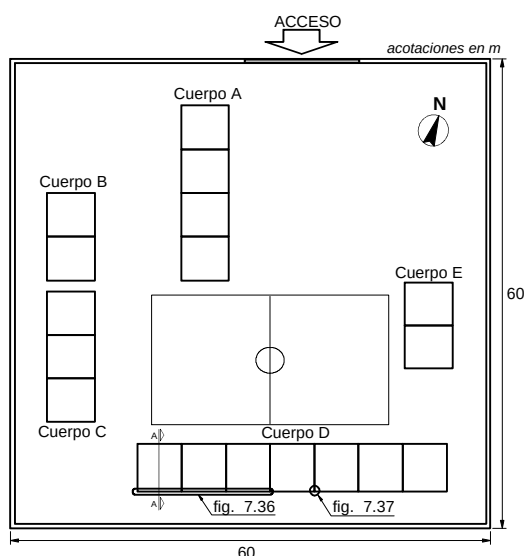


Figuras 7.28 y 7.29 - Agrietamiento de losas por flexión y demolición de muros de fachada

7.5 SAN MATEO OZOLCO

7.5.1 Escuela Primaria Rural Federal Miguel Negrete

La escuela se encuentra ubicada en el no. 4 de la calle Reforma, en un predio aproximadamente cuadrado de 60 m de lado (figs. 7.30 y 7.31). La escuela colinda hacia el oriente con el Edificio de Gobierno del poblado y consta de cinco cuerpos de un piso. Fue inaugurada el 7 de diciembre de 1992. Los cuerpos albergan un total de 18 aulas y oficinas.

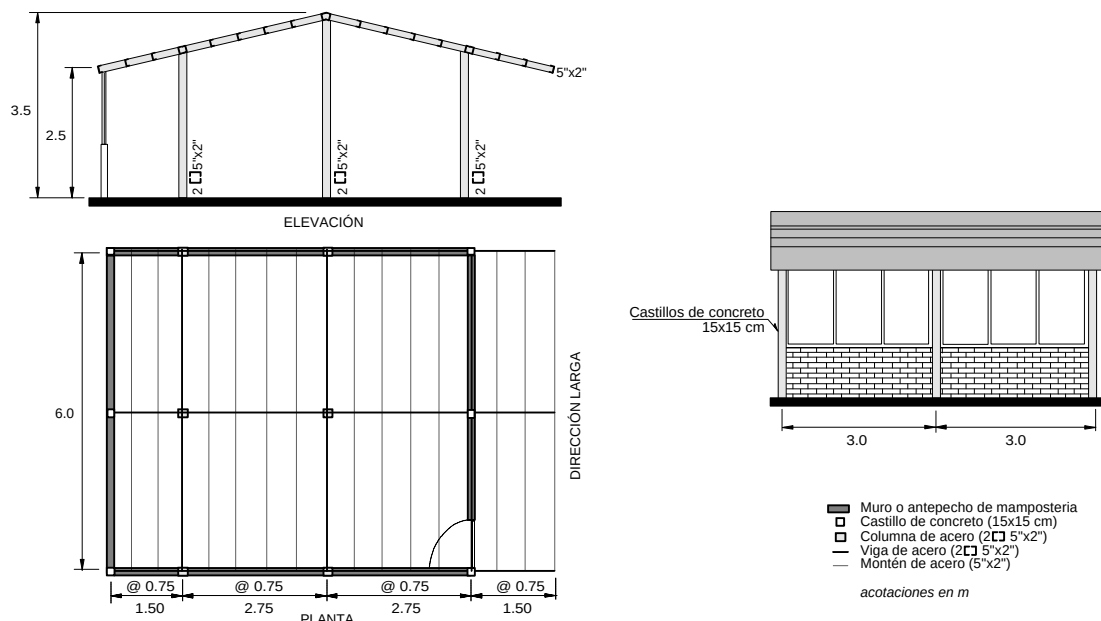


Figuras 7.30 y 7.31- Planta general y vista panorámica del cuerpo D de la Escuela Primaria Rural Federal Miguel Negrete

En los cuerpos B, C y E, estructurados a base de marcos de concreto, las aulas miden 6 m en la dirección corta del edificio y 4 m en la dirección larga. En los cuerpos A y D, la estructura está resuelta con marcos de acero con muros diafragma de mampostería de barro recocido en la dirección corta. Las dimensiones de los marcos del cuerpo D se presentan en las figs. 7.32 y 7.33. La estructura metálica consiste en perfiles metálicos tipo montén con las dimensiones indicadas en la fig. 7.33.

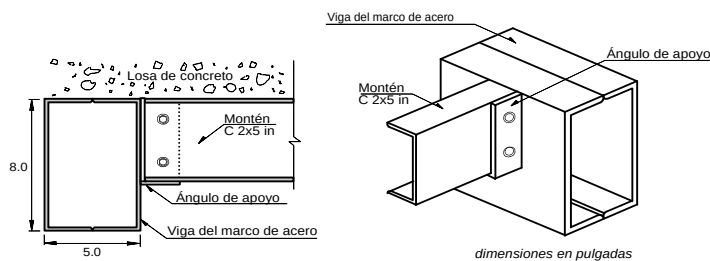
La losa de techo es de concreto reforzado con un enladrillado en su cara superior, apoyada en una parrilla de perfiles metálicos que se extienden en el sentido largo del edificio y que se apoyan, a su vez, en las vigas de los marcos de acero. Estos perfiles también son tipo montén y están espaciados 75 cm. El apoyo de los montenes longitudinales a las vigas de los marcos metálicos se logra mediante un ángulo metálico corto soldado al alma de las vigas longitudinales (fig. 7.34). La conexión se logra mediante tornillos y tuercas. Las almas de la mayoría de los montenes longitudinales están conectadas transversalmente mediante redondos de acero con cuerda y tuercas en los extremos (fig. 7.35).

Durante la visita se advirtió daño ligero en la estructura de los cuerpos. Fue evidente la falta de tornillos y tuercas en varias conexiones viga-montén secundario; incluso se apreció la rotación ligera del patín inferior del montén con respecto a su eje longitudinal (torsión). Es recomendable la colocación de los tornillos faltantes para prevenir daño en futuros eventos sísmicos. Como se aprecia en la fig. 7.36, el muro posterior de los salones del cuerpo D corresponde con el alero del techo de dos aguas. Los muros son del tipo diafragma que rellenan parcialmente la crujía para permitir la ventilación. Los muros están confinados verticalmente con castillos de concreto que coinciden con los ejes de los marcos metálicos. Están presumiblemente anclados en su base y, deficientemente en su parte superior, a la techumbre metálica mediante barrenos (fig. 7.37).



Figuras 7.32 y 7.33 - Dimensiones y vista posterior de una aula tipo del cuerpo D

Fue claro el daño por flexocortante en los extremos de los castillos; incluso, el deterioro se extendió a los muros diafragma perpendiculares en forma de grietas inclinadas. Si bien estos muros confinantes no contribuyen a resistir las demandas sísmicas, sí son elementos que se pueden dañar debido a desplazamientos laterales considerables al estar adosados a los marcos y, son susceptibles de daño y reparación frecuente después de sismos de similar o mayor intensidad. Se sugiere revisar la posibilidad de separarlos de la estructura metálica, misma que se supone fue diseñada para resistir las acciones permanentes y accidentales. En este caso, se debe prestar especial atención al diseño y detallado de elementos de sujeción que eviten la falla del muro fuera de su plano y que, simultáneamente, permita los desplazamientos laterales en la dirección larga del edificio.



Figuras 7.34 y 7.35 - Detalle y vista de la conexión entre vigas principales y montenes



Figuras 7.36 y 7.37 - Muro y detalle del anclaje de la techumbre en la fachada sur del cuerpo D

Durante el recorrido fue clara la presencia de ligeras fisuras de flexión en las losas de techo. De acuerdo con testimonios recabados, estas grietas no eran aparentes antes del sismo. No es posible explicar el patrón observado por las demandas horizontales del sismo. Es posible que, ante aceleraciones verticales del terreno de magnitud considerable se hicieran aparentes las fisuras. En algunos casos, las fisuras coinciden con la traza de los tubos o mangueras con cables de suministro eléctrico, así como del refuerzo de la losa. Sin duda, un escaso recubrimiento pudo contribuir a la aparición de este daño. Sin embargo, el tipo y magnitud del fisuramiento no ponen, de manera alguna, en riesgo a la construcción.

Con base en los daños observados y los datos recabados se afirma que la estabilidad de las estructuras no está comprometida. Se sugiere, además de lo ya señalado, procurar un mantenimiento periódico. Un mantenimiento deficiente conduce al deterioro progresivo de los elementos estructurales y al consecuente aumento de la vulnerabilidad.

7.6 SANTA MARÍA LA ALTA

7.6.1 Escuela Primaria Ignacio Allende

Esta es una estructura a base de mampostería de piedra y tabique confinada con elementos de concreto reforzado. Los techos son losas de concreto reforzado. Es un conjunto de edificios de un solo nivel, donde únicamente el edificio denominado Justo Sierra presentó daño, en forma de agrietamiento inclinado, siendo ligero en la dirección larga del edificio, y de nivel medio en la dirección transversal presentando también desprendimiento de mortero de acabado (fig. 7.38). En los demás edificios del conjunto no se observó daño alguno.



Figura 7.38 - Muro dañado en la Escuela Primaria Ignacio Allende

7.7 TECAMACHALCO

7.7.1 Escuela Primaria Miguel Hidalgo y Costilla

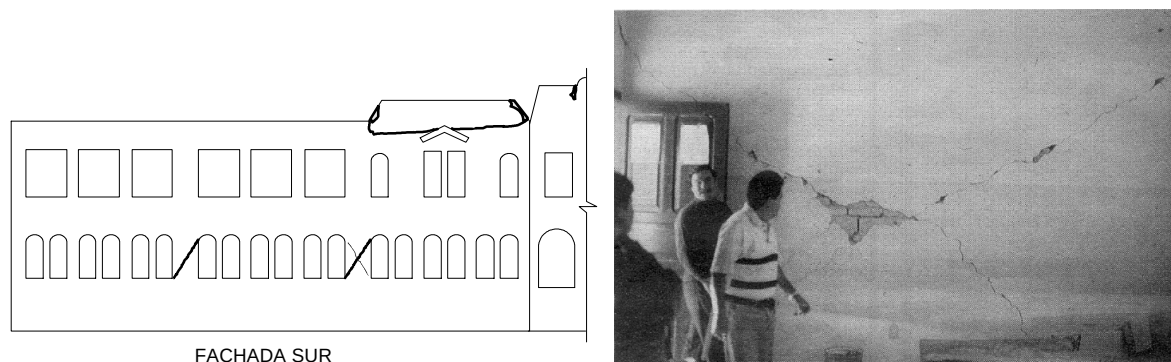
Se ubica en la esquina de la calle Benito Juárez y la calle 7 Poniente, con fachadas abiertas hacia el sur y hacia el este (figs. 7.39 y 7.40). No fue posible acceder al inmueble el día de la visita, pero se revisó externamente y se recibió informes de algunos de los daños interiores. Se trata de un edificio de dos niveles, con ventanas de planta baja con dintel terminado en forma de arco, y algunas ventanas rectangulares en la planta alta. Sobre la entrada principal, en la esquina, se levanta un pretil con almenas y formas decorativas.

La estructura está construida a base de muros de mampostería de piezas de barro rojo. Se desconoce si se trataba de mampostería confinada o simple, pero los muros del pretil de azotea, que fue uno de los daños observados, no mostraban refuerzo alguno. Este pretil sufrió agrietamiento aproximadamente horizontal debido al movimiento fuera de su plano, con pérdida del aplanado. Los muros están recubiertos por aplanado de mortero.



Figuras 7.39 y 7.40 - Croquis de localización y fachada de la Escuela Primaria Miguel Hidalgo y Costilla

Sobre la fachada sur se apreciaron grietas inclinadas en los muros cortos (*mochetas*) que separan los conjuntos de ventanas (fig. 7.41). En algunos diarios locales aparecieron fotografías de agrietamientos inclinados en los muros internos divisorios de las aulas (fig. 7.42).



Figuras 7.41 y 7.42 - Croquis de grietas en el muro de fachada sur y daño en muros interiores de mampostería

CAPÍTULO 8

EDIFICIOS DE USO COMERCIAL

8.1 INTRODUCCIÓN

Durante los recorridos realizados por diferentes equipos de trabajo en el estado de Puebla a unos días del sismo de Tehuacán se visitaron edificaciones de uso comercial en las ciudades de Atlixco, Heroica Puebla de Zaragoza, Tecamachalco y Tehuacán. Los daños observados en estructuras comerciales pertenecen a la categoría de no estructurales.

8.2 ATLIXCO

8.2.1 Arena Pública del Exconvento del Carmen

La arena pública tiene una traza cuadrada en planta de 30 m de lado. El local está cerrado en los lados norte, sur y poniente con muros de mampostería reciente. En la colindancia oriente el muro es de adobe; éste formaba parte de la barda perimetral del antiguo atrio. La altura del muro es de 5 m, aproximadamente. El único muro dañado fue este último. Exhibe un desplomo parcial fuera de plano, hacia el interior de la arena. Fue la estructura metálica de las gradas la que evitó que esa porción de muro colapsara. Será necesario reconstruir el muro. Dada la esbeltez del muro es recomendable rigidizarlo fuera del plano para prevenir fallas como la descrita. Es importante notar que entre este muro y las vías del ferrocarril viven trabajadores ferrocarrileros.

8.3 HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA

8.3.1 Conjunto de Edificios de Oficinas

Se revisó el conjunto de edificios de oficinas en la esquina de 11 Sur y 19 Poniente (fig. 8.1). Este conjunto aloja en su planta baja las oficinas administrativas de Banrural y un local comercial. El conjunto consta de tres edificios de siete pisos cada uno más una planta baja común a ellos. Cada edificio tiene una torre de oficinas unida estructuralmente al cubo de servicios de escalera y elevadores. Estos cubos tienen un piso más. La torre está estructurada con losas de concreto reforzado que trabajan en dos direcciones, apoyadas en el perímetro del edificio en vigas del mismo material, y apoyadas en una columna central directamente, sin capiteles, ábacos, ni vigas.

Los claros de la torre son de 6 m. El cubo mide 4.5 m de lado. Los claros de 6 m están parcialmente rellenos por muros de mampostería de tabique de barro recocido confinados con castillos extremos. Hacia ambos lados de los muros se tienen ventanas de 1.2 m de anchura. El refuerzo longitudinal de los castillos está anclado deficientemente en las vigas de concreto mediante barrenos de alrededor de 2 cm de profundidad; el refuerzo transversal de los castillos está separado cada 20 cm. Aparentemente los muros de mampostería fueron contruidos *a hueso*. La dimensión de la sección transversal de las columnas cambia en la altura del edificio. En la planta baja es de 55 cm de lado mientras que en los últimos pisos es de 40 cm.

Los edificios exhibieron grietas inclinadas y horizontales en los muros de mampostería del cubo de servicios de la planta baja hasta el tercer piso. Todos los muros de fachada en la altura muestran grietas verticales en la junta del castillo con la mampostería (figs. 8.2 y 8.3) y algunos fisuras inclinadas. Los

sistemas de piso exhibieron algunas fisuras por flexión. No se observó daño estructural alguno que comprometa la estabilidad de la estructura.



Figura 8.1 - Conjunto de edificios de oficinas

8.3.2 Edificio 3 Poniente

El edificio se encuentra ubicado en la esquina que forman las calles 3 Poniente y 5 Sur y sus colindancias son al norte y oriente con edificaciones de menor nivel y al sur y poniente con las calles 3 Poniente y 5 Sur, respectivamente.



Figuras 8.2 y 8.3 - Daño en muros de mampostería de fachada

El edificio, destinado a oficinas, se encuentra casi vacío a excepción de la planta baja, ocupada por una sucursal del grupo Elektra y por otra empresa. El último nivel es ocupado por el propietario. Según indicó el dueño del inmueble, el edificio tiene cerca de siete años de estar desocupado.

El edificio está construido con marcos de concreto reforzado y muros diafragma de mampostería. Cuenta con seis niveles arriba del nivel de calle, más dos sótanos. Fue construido en la década de los cincuenta por lo que la edad aproximada es de cuarenta años (información proporcionada por el propietario). El sistema de piso de los dos sótanos es a base de losas aligeradas con bloques de cemento-arena, mientras que en los niveles superiores son losas macizas de 30 cm de peralte. En los sótanos se encuentran muros de contención en toda la periferia del edificio. Por su ubicación en esquina, a lo largo de las colindancias con las edificaciones vecinas, los marcos están rellenos con muros de mampostería en toda la altura del edificio. En las colindancias con las avenidas, las fachadas son cancelerías.

Este inmueble es regular tanto en planta como en elevación, presentando seis líneas de columnas en la dirección NS y cinco en la dirección EO. Sin embargo, a partir del tercer nivel se encuentran dos cubos de iluminación de unos 12 m de longitud y 3 m de anchura. Alrededor de estos cubos se encuentran sendos pasillos que permiten el acceso a las diferentes oficinas.

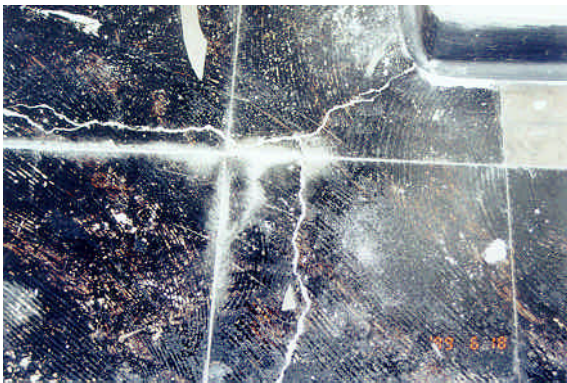


Figura 8.4 y 8.5 - Rotura de vidrios en fachada

Se observó rotura generalizada de vidrios, tanto en las fachadas como en el interior del edificio (figs. 8.4 y 8.5). En la planta baja se observaron grietas inclinadas en algunos muros de bloque de concreto. En los niveles 2 a 5 (al sexto no se tuvo acceso), el daño consistió en agrietamiento inclinado, de hasta 1 cm de anchura, en muros de bloque de concreto y en porciones cortas de muros ubicados entre aberturas como puertas y ventanas (figs. 8.6 y 8.7).



Figuras 8.6 y 8.7 - Daños en muros



Figuras 8.8 y 8.9 - Grietas en losas

También se observaron grietas en losas, no producidas por este evento, presumiblemente provocadas por exceso de carga gravitacional y que se han ido acentuando con los movimientos sísmicos (figs. 8.8 y 8.9). Además se observaron reparaciones de grietas hechas con anterioridad. En algunas partes fue evidente la reparación mediante relleno con yeso (fig. 8.10).



Figura 8.10 - Muros de mampostería resanados con yeso

Se concluye que la estabilidad del edificio no se encuentra comprometida; sin embargo, se recomienda revisar el edificio practicando una prueba de carga en las losas que presentan agrietamiento y de esta forma verificar la seguridad general de la estructura ante cargas verticales. También se recomienda realizar una determinación del desempeño esperado del edificio ante acciones sísmicas más severas.

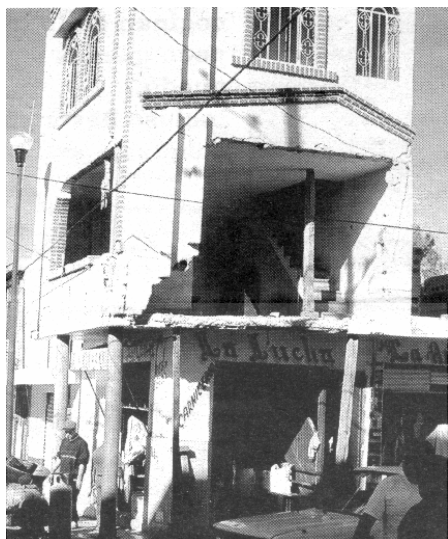
8.4 TECAMACHALCO

8.4.1 Establecimientos en Benito Juárez y 5 Poniente

Sobre la carnicería *La Lucha* se observó una estructura de reciente construcción y en proceso de demolición el día de la visita. Era una estructura en esquina con dos fachadas abiertas. Contaba con tres niveles sobre un área aproximada de 4x5 m, de manera que el conjunto resultaba relativamente esbelto. Los dos niveles superiores, que fueron los que resultaron dañados, se construyeron con muros de mampostería de

bloque hueco de concreto confinados por castillos de 20 cm de lado. El sistema de piso en niveles superiores fue a base de viguetas y bovedilla, con trabes de apoyo perimetrales del mismo peralte que el espesor de la losa.

Los dos niveles superiores sobresalían del límite del predio de modo que su traza invadía la banqueta en una distancia aproximada de 1 m. Los muros de fachada se desplantaron sobre la losa volada (marquesina). Los muros de colindancia eran ciegos mientras que los de fachadas tenían amplias ventanas. Al momento de la inspección, la marquesina se encontraba apuntalada (figs. 8.11 y 8.12).



Figuras 8.11 y 8.12 - Estructura de vigueta y bovedilla antes y después de iniciar la demolición

El daño se puede explicar por la esbeltez del edificio aunada a posible torsión producto de la estructuración en esquina. Es probable que la inherente flexibilidad de la marquesina donde se apoyaban los muros de fachada contribuyera al pobre comportamiento. Esto provocó el escandaloso daño de los muros de mampostería del segundo nivel y motivó la inmediata decisión del dueño de demoler.

En frente del edificio anterior se observó una estructura de adobe dañada, de un solo nivel y dedicada al comercio. El daño fue en el pretil y en uno de los cortos muros que quedan al dejar aberturas para las entradas (fig. 8.13).

Diez metros al norte del crucero de la carnicería, otra estructura de dos niveles con muros, parte de adobe y parte de tabique, exhibió grietas verticales y una grieta horizontal en toda la anchura del segundo nivel. Se presentó daño en los muros de planta baja que dividen las aberturas para los comercios. El día de la visita se encontraron las aberturas de los comercios de planta baja rellenas con bloques de mampostería (fig. 8.14).

Una cuadra al norte respecto de la esquina antes mencionada, sobre la calle Benito Juárez y la Av. 3 Poniente, se observó la caída de la clave y otras dovelas del arco lateral de los portales a lo largo de un pasillo de comercios (fig. 8.15). El eje del pasillo está orientado en dirección NS, con los arcos hacia el este. Se observó una grieta escalonada siguiendo las juntas los bloques de piedra de la columna de esquina, tanto en su parte superior como inferior. Del lado izquierdo del arco se encontró un agrietamiento vertical en la parte superior del muro. En apariencia se debió al movimiento del conjunto de arcos hacia el este que generó esfuerzos de tensión en esta parte del muro.



Figuras 8.13 y 8.14 - Estructuras bajas hechas de adobe

8.5 TEHUACÁN

8.5.1 Hotel Madrid

La construcción se encuentra ubicada en la esquina de las calles 1 Oriente y 3 Sur. Sobre la calle 3 Sur, cuenta con ocho establecimientos comerciales en la parte inferior, que pueden coincidir con la distribución de las crujías. En la otra dirección, calle 1 Oriente, se observaron seis establecimientos comerciales en la planta baja que coinciden con las diferentes crujías en esta dirección.



Figura 8.15 - Falla en arco de portales

Según lo observado en el segundo nivel, la construcción es aparentemente de adobe. En este nivel se apreciaron castillos de concreto reforzado con tres barras longitudinales. Sin embargo, no se logró investigar si formaban parte de la estructura original o fueron adosados posteriormente. El techo del segundo nivel

estaba compuesto por viguetas de madera separadas a cada 40 cm, aproximadamente, donde descansaba un terrado de unos 15 a 20 cm de espesor.

Los daños observados en esta construcción fueron la caída parcial del segundo nivel en la calle 1 Oriente así como desprendimiento del acabado, cemento-arena, en la fachada sobre la calle 3 Sur. Al momento de la inspección se encontraba en proceso de demolición la zona dañada por lo que no se pudo definir cuál fue la causa del daño. El resto de la construcción, primer entepiso así como la parte que colinda con la calle 3 Sur, se encontraba en aparente buen estado a pesar de su falta de mantenimiento (figs. 8.16 y 8.17).



Figuras 8.16 y 8.17 - Vistas laterales sobre las calles 1 Oriente y 3 Sur

Se recomienda que, aunque el resto de la estructura se encuentra en aparente buen estado, se defina la razón del colapso parcial de modo de establecer si es necesario el reforzamiento total o parcial o sólo la reparación local de la estructura.

8.5.2 Hotel México

El edificio del Hotel México está en la esquina de las calles Reforma e Independencia. Además de la rotura de algunos cristales (que ya habían sido repuestos en la fecha de la visita), se observó una grieta horizontal a nivel de losa que marcó la intersección del nivel dos con el tercero (propriadamente un apéndice que se encuentra localizado en la parte sur del edificio ya que no ocupa toda la superficie). También se apreció caída de tejas del apéndice (figs. 8.18 y 8.19).

No se considera que la estabilidad de la estructura se encuentre comprometida y se recomienda realizar las reparaciones necesarias.

8.5.3 Cine y Sanatorio Reforma

En el edificio donde se encontraba el Cine y Sanatorio Reforma, en el centro de la ciudad, se observaron daños en el apéndice localizado en la parte sur del inmueble. El daño es debido a la falta de elementos verticales que confinaran a los muros que componían dicho apéndice (fig. 8.20). También se observó daño en un castillo del tercer nivel del edificio, producto del golpeteo con la estructura vecina debido a la falta de separación adecuada entre ambas estructuras (fig. 8.21).

Se recomienda demoler el apéndice y reparar el daño, así como tomar las medidas necesarias para que en caso de otro movimiento sísmico, no se repita el problema del golpeteo con la estructura vecina. Por lo demás, se considera que la estabilidad de la estructura no se encuentra comprometida.



Figuras 8.18 y 8.19 - Grietas inclinadas en muros de mampostería y a nivel de losa

8.5.4 Edificio Reforma y Dr. Ricardo Cacho

Sufrió daños en los muros que forman la esquina y que consistieron en grietas inclinadas en el primer entrepiso y caída de aplanado.

Se considera que la estabilidad del inmueble no se encuentra comprometida. Se recomienda realizar las reparaciones necesarias.



Figuras 8.20 y 8.21 - Vista del daño en apéndice y detalle del golpeteo entre edificios

8.5.5 Edificio Reforma y 2 Oriente

Sufrió daño en el apéndice que se encuentra en la esquina. Se agravó por la falta de confinamiento de los muros. También se apreció desprendimiento de material y una grieta en la base del frontón del apéndice (fig. 8.22).

Se recomienda realizar el aseguramiento del apéndice por el peligro que presenta a los transeúntes así como realizar las reparaciones necesarias. Por lo demás, no se considera que la estabilidad del inmueble se encuentre comprometida.

8.5.6 Edificio Reforma 113

El edificio consta de dos niveles más dos torres como apéndices en las partes norte y sur del edificio. El primer nivel está destinado a oficinas, y su estructura es marcos de concreto. En el segundo nivel se tiene una serie de ventanas que dan a la calle Reforma de modo que entre cada una de ellas existe un murete de mampostería. Los daños observados fueron grietas inclinadas en la mayoría de los muretes, así como cizalleo de las columnas de las ventanas del apéndice, tanto en la parte baja como en la imposta de los arcos (fig. 8.23).

No se considera que la estabilidad de la estructura se encuentre en peligro, sin embargo, se recomienda realizar las reparaciones necesarias confinando los elementos dañados y así evitar un daño futuro.

8.5.7 Edificios Varios

En algunas otras construcciones se apreció la caída de aplanado, comúnmente de cemento-arena, que había sido colocado sobre muros de adobe que presentaban deterioro por falta de mantenimiento o problemas de intemperismo.



Figuras 8.22 y 8.23 - Daño en apéndice y en impostas de arcos

CAPÍTULO 9

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL SISMO EN PUEBLA, OAXACA Y ESTADOS VECINOS

9.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se hace un recuento del impacto de los efectos causados por el sismo de Tehuacán, que pese al amplio radio de acción del sismo y su intensidad, sólo se reportaron 15 personas fallecidas a consecuencia de él. El número de damnificados en albergues no fue considerable y éstos se mantuvieron operando sólo dos o tres días. Los daños materiales se estima ascendieron a algo más de 1,400 millones de pesos, es decir alrededor de 150 millones de dólares (véase más adelante la tabla 9.1).

No fue posible incluir los efectos indirectos, es decir los que tuvieron lugar en la producción de bienes y servicios durante el período de rehabilitación. Sin embargo, se piensa que estos no fueron de consideración ya que los daños en la infraestructura productiva fueron mínimos.

Con la presente investigación relativa al sismo mencionado, el CENAPRED comienza a introducir el tema de la valuación del impacto económico de los desastres. Para ello se utilizó la metodología desarrollada por la Comisión Económica para América Latina de las Naciones Unidas (CEPAL). Se contó para este trabajo con el apoyo temporal de un experto de la CEPAL (Daniel Bitrán, quien es uno de los autores de este informe). Se realizaron visitas a las capitales de los dos estados más afectados (Puebla y Oaxaca), así como a algunos de los principales municipios donde se reportaron daños mayores.

Dada la extensa área geográfica en que se sintió el fenómeno, se vio afectado un gran número de edificaciones, principalmente iglesias, muchas de ellas consideradas importantes desde el punto de vista del patrimonio colonial cultural de la nación. En efecto, esta región es rica en iglesias, conventos y palacios construidos entre los siglos XVI y XIX, de los cuales se estima que unos 1,300 sufrieron daños, exacerbados en algunos casos, por la falta de mantenimiento. Algunos edificios padecían aún de los daños ocasionados en ellos por los sismos de 1973 y 1980. La valorización de estas pérdidas plantea problemas que requieren de consideraciones que van más allá de su mero valor constructivo.

El sismo destruyó o afectó seriamente un número apreciable de viviendas, escuelas, algunos centros de salud y un cierto número de edificios públicos. Los daños más significativos se registraron en las casas de adobe, aunque también se registraron daños importantes en un buen número de edificios de más de un piso, básicamente debido a prácticas constructivas inadecuadas. De acuerdo con el tipo de estructuras que se dañaron, parece ser que las que resintieron en mayor medida fueron estructuras rígidas, generalmente de poca altura.

También hubo ciertos daños en carreteras, puentes y líneas de transmisión eléctrica. La actividad económica no resultó severamente afectada. Prácticamente no se registraron daños en la agricultura. La actividad comercial, sobre todo la de pequeños establecimientos se vio poco afectada. Lo anterior hizo que las pérdidas indirectas -producción de bienes y servicios que dejó de generarse por efectos del sismo- hayan sido relativamente pequeñas.

El presente capítulo se inicia con una sección de antecedentes en el que se hace referencia a la población afectada, a las características socioeconómicas de la región impactada por el fenómeno y a las acciones de emergencia llevadas a cabo. A continuación se presenta un resumen de los daños totales detectados en los dos estados más afectados y, con menor detalle para los demás estados. El mismo abordaje anterior se repite para cada uno de los dos estados considerados.

9.2 ANTECEDENTES

9.2.1 Población y área afectada

La población afectada por el sismo ascendió a unos dos millones de personas, la mayor parte de ellas en Puebla. Los efectos del sismo se percibieron en una superficie vasta que abarcó 374 municipios, de los cuales 164 fueron de Puebla, 109 de Oaxaca (en la región de la Mixteca y parte de la Cañada) y el resto (101) correspondieron a los otros cinco estados afectados.

9.2.2 Características de la región afectada

Tanto en Puebla como en Oaxaca el sismo afectó regiones muy pobres. En ambos estados predominan entre los municipios afectados los de marginalidad muy alta (véase el Anexo I). Ello estaría explicando, en parte, los apreciables daños en viviendas dada la precariedad de su construcción.

9.3 ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS TOTALES EN PUEBLA, OAXACA Y EN OTROS ESTADOS AFECTADOS¹

9.3.1 Apreciación de conjunto de los efectos directos

Como se aprecia en la tabla 9.1 el total de daños estimados en los siete estados afectados por el sismo (Puebla, Oaxaca, Guerrero, México, Morelos, Tlaxcala y Veracruz) asciende a 1,435 millones de pesos. Los dos estados más afectados Puebla y Oaxaca, experimentaron el 93 por ciento del total. En ellos, el 36 por ciento del valor de los mismos fue el que sufrieron los edificios históricos, iglesias y edificios públicos. Le siguió en importancia los daños en vivienda, que superaron la tercera parte del total, y los efectos sobre escuelas y hospitales.

Tabla 9.1 - Resumen de los daños totales

Totales de Oaxaca y Puebla:	En millones de pesos	En porcentaje del total
Vivienda	455.0	34.2
Escuelas	221.3	16.6
Hospitales	161.4	12.1
Edificios históricos, iglesias y edificios públicos	480.3	36.1
Caminos y puentes	8.4	0.6
Suministro de electricidad	3.4	0.3
Totales	1,329.8	100.0
Daños totales estimados para los Estados de ² :		
Morelos	52.0	
México	19.8	
Tlaxcala	17.3	
Veracruz	11.8	
Guerrero	4.0	
TOTAL GENERAL DE DAÑOS	1,434.7	

¹ Por las características de los efectos del sismo de Tehuacán, no se justificó la aplicación a cabalidad de la metodología de la CEPAL. Se evaluaron solamente los efectos directos, es decir, los daños en los acervos (estimados en general a costo de reposición). No se calcularon los efectos indirectos, es decir, sobre los flujos de producción de bienes y servicios, porque se consideraron de poca relevancia, ya que la estructura productiva no fue prácticamente afectada. Tampoco fue posible cuantificar los efectos sobre las principales variables macroeconómicas. Se estima, sin embargo, que a nivel nacional, por la magnitud del fenómeno éstas no alcanzaron a ser afectadas.

² Datos obtenidos directamente de la solicitud de recursos presentados por los estados al Fondo de Desastres Naturales, FONDEN, por los estados respectivos.

Como se aprecia en la tabla referida, fueron mínimos los efectos destructivos del sismo en la infraestructura económica (caminos y electricidad): menos del uno por ciento del total de daños.

9.4 ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS TOTALES EN EL ESTADO DE PUEBLA

9.4.1 Apreciación general y primeras acciones

Como consecuencia del sismo del 15 de junio, se vieron afectados de diferente manera 164 municipios del Estado, incluyendo la ciudad capital. No obstante la intensidad del sismo, la pérdida de vidas humanas no superó 15 personas. Los damnificados, principalmente debido a la destrucción de sus viviendas, fueron alrededor de 100 mil pero sólo permanecieron pocas horas en albergues, refugiándose en otras casas. Los daños en hospitales y escuelas felizmente no causaron mayores víctimas, hecho que podría atribuirse a labores previas de protección civil, incluida la conscientización de la población frente a la ocurrencia de desastres naturales.

El Sistema Estatal de Protección Civil, en conjunto con los presidentes municipales, detectaron como las zonas de mayor daño la ciudad de Puebla, San Mateo Ozolco, la región de la Mixteca al sur de la entidad, Tehuacán, Ciudad Serdán, Atlixco y los municipios de Esperanza, Soltepec, Ajalpan, Tepexi de Rodríguez, Tecamachalco y San Gabriel Chilac. Se estima que casi el 90 por ciento de los municipios afectados pueden clasificarse como de Marginalidad Alta a Muy Alta.

La Secretaría de Defensa Nacional (SEDENA) puso en marcha en la misma noche del 15 de junio el Plan DN-III, rescatando a personas fallecidas o lesionadas, y retirando escombros. En coordinación con el Sistema de Desarrollo Integral de la Familia (DIF) estatal se instalaron albergues. A la mañana siguiente la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del Estado de Puebla (SEDUEEP) y el Instituto Poblano de la Vivienda instalaron Mesas de Atención Social en tanto que la SEDENA, en conjunto con el Sistema Estatal de Protección Civil y organizaciones sociales, se dedicaron a apuntalar edificios públicos, escuelas, templos, monumentos históricos, hospitales y centros de salud, así como a demoler edificaciones a punto de caer.

Los daños más importantes se registraron en viviendas, escuelas, hospitales y edificios históricos. No obstante que la intensidad del fenómeno fue, en términos generales, más bien moderada, se registraron algunos colapsos de viviendas principalmente en las ciudades de Puebla y San Mateo Ozolco. Especial relevancia asume el caso de los monumentos por su elevado valor histórico y estético.

Una estimación preliminar de los requerimientos financieros para reparar los daños directos causados por el fenómeno los hacen ascender a alrededor de 1,100 millones de pesos. Esta cifra representa menos del uno por ciento del Producto Interno Bruto estatal³. Casi la totalidad de los daños ocurrieron en la infraestructura social – viviendas, escuelas, hospitales, edificios públicos, iglesias -. Fueron bastante menores los efectos sobre la infraestructura económica (caminos y puentes, generación de electricidad sistema telefónico y suministro de agua potable.)

Por lo anterior, en esta evaluación sólo se consideraron como significativos los daños directos, es decir los que ocurrieron sobre los acervos, considerándose casi insignificantes los que ocurrieron en la producción de bienes y servicios, ya que no se registraron daños en los activos fijos de los sectores productivos ni en los de la agricultura, además, la interrupción de los servicios básicos como los de telefonía, electricidad y suministro de agua potable sólo se dio por pocas horas, por lo que no alcanzó a afectar los medios de producción.

³ De acuerdo con cifras del INEGI (Indicadores Estatales disponible sólo hasta el año 1993), extrapoladas por los autores. (El PIB del Estado de Puebla habría ascendido a alrededor de 130 mil millones de pesos en 1998.)

La interrupción del tráfico carretero debido a derrumbes y a la afectación de varios puentes fue de cierta importancia, y, aunque significó que los transportistas tuvieran que desviar su tráfico a recorridos que significaron mayores tiempos, no se registraron aumentos en las tarifas del transporte⁴. En todo caso no fue posible cuantificar los efectos indirectos sobre la economía que pudieran haberse derivado de la interrupción por uno o dos meses del tráfico por las rutas normales.

Diversas dependencias llevaron a cabo censos entre la población afectada en los días inmediatos después del sismo, lo que permitió en breve plazo tener una visión bastante real del impacto del fenómeno.

El 2 de julio se emitió y publicó en el Diario Oficial de la Federación la Declaratoria de Desastre Natural por parte de la Secretaría de Gobernación, con lo que se accedió a los recursos del FONDEN que luego empezaron a fluir. La Secretaría de Desarrollo, Evaluación y Control de la Administración Pública de Puebla ha vigilado escrupulosamente la aplicación de estos recursos.

Las cifras que se presentan en la tabla 9.2 se refieren, como se expresó antes, a los costos de la reparación y rehabilitación de la infraestructura dañada, los que en muchos casos, especialmente en el caso de la vivienda, suponen una mejoría cualitativa. Por esta razón son superiores al costo de lo que se perdió. En el caso de las iglesias y demás edificios históricos, el criterio de las autoridades ha sido, en cambio, el de restituir fielmente las condiciones que ostentaban antes del sismo.

Tabla 9.2 - Estimación de los efectos del sismo, a costo de reposición según los principales rubros afectados (en millones de pesos)

Infraestructura dañada:	Costo de reposición
Vivienda	402.8
Escuelas	127.8
Hospitales	159.3
Edificios históricos e iglesias	253.0
Edificios públicos	157.3
Caminos y puentes	7.9
Suministro de energía eléctrica	3.0
TOTAL GENERAL	1,111.1

9.4.2 Sector vivienda

Sufrió daños de diversa magnitud. Según el censo llevado a cabo por la SEDESOL, alrededor de 36,700 viviendas fueron afectadas en 140 municipios de los 217 que tiene el estado. Los municipios en los que se registraron las mayores pérdidas a este respecto fueron, en orden, Cañada de Morelos, Tlacotepec de Benito, Palmar de Bravo, Chalchicomula de Sesma, Tepexi de Rodríguez y Tochtepec; y las ciudades más afectadas fueron Atlixco, Ciudad Serdán, Puebla, San Mateo Ozolco, Santa María la Alta y Tecamachalco.

Totalmente destruidas resultaron 5,306 viviendas, con daños parciales 15,688 y con daños leves 9682. El costo total de reparación y reconstrucción de las viviendas afectadas asciende a 402.8 millones de pesos.

También se registraron daños, pero casi todos de carácter no estructural, principalmente rotura de vidrios y en muros de mampostería de fachadas en edificios de uso comercial en las ciudades de Atlixco, Puebla, Tecamachalco y Tehuacán.

⁴ Información proporcionada localmente por funcionarios de la Secretaría de Transporte y Comunicaciones de Puebla.

La Federación aportará el 60 por ciento del costo total de la reparación y reconstrucción antes mencionado, un 28 por ciento será aportado por el Estado de Puebla y el 12 por ciento restante por los municipios afectados.

Las acciones que se están llevando a cabo, según el tipo de afectación y su costo, se resumen en la tabla 9.3.

Tabla 9.3 - Programa de reconstrucción y reparación de viviendas

Sub-programa	Número de acciones	Costo (En millones de pesos)
01 Daños leves	9,682	8.7
02 Daños parciales	15,688	137.7
03 Daño total	5,306	118.3
04 Crédito a la palabra	3,500	67.7
05 INFONAVIT	2,515	66.4
TOTALES	36,691	402.8

Los tres primeros programas se refieren a viviendas en zonas rurales. Se trata de recursos no reembolsables -financieros y materiales- que se entregan a la población afectada, la que participa aportando su mano de obra en la reparación o construcción de su nueva vivienda. En ellos participaron conjuntamente la SEDESOL, la SEDUEEP y el Instituto Poblano de la Vivienda. Las nuevas viviendas representan una clara mejora cualitativa respecto a las que fueron destruidas.

Mediante el Programa 01 (limpieza y rescate de viviendas con daños leves), ya concluido, se entregaron a las familias afectadas cheques por 780 pesos cada uno, como parte del Programa de Empleo Temporal (PET) administrado por la SEDESOL (correspondientes cada uno de ellos a 30 salarios mínimos), para que ellas mismas llevaran a cabo las reparaciones por los daños menores que sufrieron sus viviendas.

El Programa 02 que se aplicó a 15,688 viviendas con daños parciales (rehabilitación de viviendas) consistió en la entrega de un paquete de hasta 8 mil pesos -según la magnitud de los daños de acuerdo con el censo previamente realizado- compuesto por materiales industrializados, fletes, asesoría y gastos indirectos. A lo anterior se agregó la entrega a cada familia de un cheque correspondiente a 30 jornales, al igual que en el programa anterior. Este programa, cuya ejecución y supervisión correspondió a las Presidencias Municipales habrá de concluirse en el mes de noviembre del presente año.

En cuanto al Programa 03 (autoconstrucción de pies de casa) que benefició a 5,306 familias de 111 municipios cuyas viviendas resultaron totalmente destruidas por el sismo, éste consistió en un paquete con un costo de 20 mil pesos, que incluye materiales industrializados, pétreos, asesoría, herramientas, instalaciones eléctricas, hidráulicas, techos, cancelería, y fletes. Adicionalmente se dio un apoyo de 88 jornales por familia (2,288 pesos). Se trata de viviendas de 36 m², cuyo prototipo comprende un cuarto de usos múltiples, recámara y baño terminados en un plazo de tres meses. Se estima que en diciembre próximo quedará concluido este programa. El tipo de vivienda construida a través de este programa, es el que presenta la fig. 9.1.

Los Programas 02 y 03 han estimulado la producción y comercialización de una gran cantidad de láminas de fibrocemento, bloques de tepetzil⁵, cemento y cal. Han contribuido, además, a reactivar notablemente la actividad de transporte de materiales.

⁵ Los bloques se conforman con cemento y tepetzil, éste es un material de la zona.



Figura 9.1 - Prototipo de vivienda que repone a una totalmente destruida

Los Programas 04 y 05 se refieren a reparación o construcción de viviendas urbanas. El primero, conocido como “Crédito a la palabra”, opera con recursos del Fondo Nacional de Habitaciones Populares (FONHAPO), a través del Instituto Poblano de la Vivienda. Su objetivo es el de facilitar los recursos a los damnificados de 15 municipios de la entidad.⁶ Consiste en créditos de 3,000 hasta 30,000 pesos, de acuerdo con el daño ocasionado en zonas urbanas pobres. Los beneficiados por este programa debieron acreditar un ingreso mensual neto menor a 2.5 veces el salario mínimo regional. Dichos créditos se cubrirán en un lapso máximo de tres años sin intereses, con un mes de gracia inicial. Los propietarios de las viviendas que se acogieron a este programa fueron 3,500. Se trata de damnificados que se habían inscrito a las mesas de atención social. FONHAPO y el Instituto Poblano de Vivienda llevaron a cabo la entrega de los cheques respectivos.

El Programa 05 corresponde al INFONAVIT. Se destinan recursos para rehabilitar 2,515 viviendas afectadas en 29 conjuntos habitacionales localizados en siete municipios. En este caso, el Instituto es responsable de la ejecución de las obras, atendiéndolas con recursos propios.

Los Programas antes mencionados (04 y 05) incluyen la reparación y construcción en la ciudad de Puebla, donde se están rehabilitando un buen número de departamentos en diversas unidades habitacionales entre las que destacan La Margarita, Agua Santa, Amalucan y el Condominio de la 3 Oriente, en el que se desplomaron varios edificios.

9.4.3 Infraestructura de salud y educación

En el estado de Puebla, los servicios de salud son proporcionados por diversas instituciones, de las cuales reportaron daños las instituciones dependientes de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), perteneciente al gobierno estatal, y las instituciones dependientes del Instituto Mexicano del Seguro Social.

La SSA administra 2460 Casas de Salud, distribuidas en pequeños poblados del estado; 370 Centros de Salud; 10 Hospitales Generales; 12 Hospitales Integrales y un Hospital Psiquiátrico. El IMSS administra 45 unidades de consulta externa y siete hospitales del régimen ordinario, es decir, que se proveen de recursos producto de las cuotas de los trabajadores afiliados, más 306 unidades de consulta externa y seis hospitales pertenecientes al programa IMSS-SOLIDARIDAD. El sismo de Tehuacán ocasionó los siguientes daños en la SSA y en el IMSS.

⁶ Acatlán de Osorio, Ajalpan, Chalchicomula de Sesma, Chiautla de Tapia, Esperanza, Izúcar de Matamoros, San Andrés Cholula, San Martín Texmelucan, San Pedro Cholula, Soltepec, Tecali de Herrera, Tecamachalco, Tehuacán, Tehuiztzingo y Tepexi de Rodríguez

Daños reportados por la SSA

Los daños en la infraestructura de la SSA fueron: afectaciones a dos Casas de Salud, 49 Centros de Salud, seis Hospitales Generales, dos Hospitales Integrales y el Hospital Psiquiátrico, así como, un laboratorio, un almacén y tres edificios administrativos. En total fueron 65 edificios afectados; a pesar de ello, la SSA no dejó de prestar servicio durante emergencia.

Con el fin de reparar los daños, se emprendió un programa de reconstrucción que asciende a un total de 11.2 millones de pesos. Del total, 10.2 millones serán destinados a la reconstrucción de los edificios con mayores daños que fueron: el Hospital General de Tehuacán (con 0.8 millones), el Hospital General de Acatlán de Osorio (con 2.8 millones), el Hospital General “Dr. Eduardo Vázquez Navarro” (con 3.7 millones), y el Hospital Psiquiátrico “Dr. Rafael Serrano” (con 2.9 millones); los dos primeros localizados en las ciudades mencionadas y los dos últimos en la ciudad de Puebla.

Daños reportados por el IMSS

El IMSS reportó daños en 64 instituciones del régimen ordinario y 137 del programa IMSS-SOLIDARIDAD. En total, el IMSS requiere de 148.1 millones de pesos para la rehabilitación de las edificaciones afectadas. De este monto, se destinarán 117.7 millones a la reparación de los hospitales con mayores afectaciones, que fueron: el Hospital de Especialidades (con 1.6 millones), el Hospital de Traumatología y Ortopedia (con 41 millones) y el Hospital San Alejandro (con 75 millones). Al igual que la SSA, el IMSS nunca dejó de prestar servicio a los derechohabientes, a pesar de que el Hospital San Alejandro y Hospital de Traumatología y Ortopedia tuvieron que ser desalojados por algunos días, el primero parcialmente y el segundo en su totalidad.

La reconstrucción de las edificaciones dañadas de ambas instituciones no solo incluirán la reparación de los daños, sino también, algún tipo de refuerzo adicional para mitigar los daños ante sismos futuros. Los recursos para llevar a cabo el reforzamiento de las construcciones de la SSA y del IMSS, serán proporcionados en un 30 por ciento por compañías aseguradoras, ya que toda la infraestructura estaba parcialmente asegurada contra daños ocasionados por sismos, y el monto restante será otorgado por los Gobiernos Estatal y Federal, éste último a través del FONDEN. Se espera que las reparaciones se concluyan en 14 meses a partir de la fecha en que ocurrió el sismo.

En materia de escuelas, los daños observados fluctuaron entre estructurales, que demandaron la evacuación de inmuebles, hasta daños leves. Se estima que los mayores daños en establecimientos de educación ocurrieron en Atlixco, Chapulco, Puebla, San Mateo Ozolco, Santa María la Alta y en Tecamachalco.

Un total de 870 escuelas resultaron afectadas. El costo de reparación de las mismas se ha estimado en 127.8 millones de pesos. Del total de escuelas con daños 336 corresponden a la Secretaría de Educación Pública (SEP), y las 534 restantes están siendo atendidas por los ayuntamientos. En este último caso, el Gobierno Federal aporta 30,000 pesos para materiales para cada escuela y los ayuntamientos aportan la mano de obra.

Según el nivel de gravedad de los daños se definieron tres paquetes de ayuda consistentes en aporte de materiales por parte de la SEP, según el caso.

En Atlixco, sufrieron daños de cierta consideración las escuelas Secundarias Gabino Barreda y Melchor Ocampo, en ambos casos los daños se concentraron en los pisos superiores.

En la ciudad de Puebla, el edificio de la Facultad de Medicina de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla sufrió daños estructurales de consideración. En este caso los daños más importantes se presentaron en las columnas de la planta baja, lo que provocó un asentamiento del edificio. No obstante que a

juicio de expertos el edificio podría ser rehabilitado, a pocos días del sismo se decidió su demolición. En este caso, los costos los cubre la compañía aseguradora.

9.4.4 Monumentos históricos e inmuebles religiosos

Aparte del sector vivienda, los daños de mayor magnitud y amplitud geográfica ocurrieron en los monumentos históricos e iglesias. El Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CONACULTA) y el Instituto Nacional de Antropología e Historia a través de su Centro en Puebla llevaron a cabo un minucioso censo de los daños. Se detectaron un total de 1,124 edificios afectados, de los cuales un 10 por ciento recibieron daños severos, 40 por ciento moderados y un 50 por ciento leves.

En algunos casos se registró el mismo tipo de daños que en sismos anteriores, en especial el de 1973. Además de las debilidades intrínsecas en los materiales y estructuras de los monumentos históricos, acentuadas por el mantenimiento inadecuado de los mismos, quedó en claro, que la mayoría de los “agregados” a las estructuras originales en anteriores sismos causaron problemas. Las figuras 9 a 11, presentan el daño típico observado en iglesias.

A partir del censo⁷, de los dictámenes respectivos y del análisis de cada uno de los casos se realizó una estimación de los costos de las reparaciones. El INAH otorgó 333 dictámenes técnicos, los expedientes cuentan con registro fotográfico de los daños, deterioro e indican los procesos de intervención que se recomiendan. Del total 256 correspondieron a templos en todo el Estado, salvo el Municipio de Puebla para el que se otorgaron 77.

La Comisión Técnica Estatal de Preservación del Patrimonio Histórico es la responsable de las obras de aseguramiento, reestructuración y restauración en coordinación con el INAH, la Comisión del Patrimonio Edificado, y la Secretaría de Cultura.

Por otra parte se creó una Comisión Técnica Estatal y un Consejo Consultivo, que realiza reuniones semanales en el que participan las universidades, la sociedad civil, la Comisión de Patrimonio Edificado, el Consejo del Centro Histórico, el Museo de Arte Virreinal, la Cámara de la Construcción y las comunidades locales convocadas a través de los párrocos del lugar. Sus funciones son las de apoyar y supervisar el proceso de reconstrucción de los edificios históricos. El INAH proporciona los materiales. En general se ha contado con los materiales necesarios. Sólo en el caso de los andamiajes la enorme demanda ha provocado una elevación de sus precios hasta en un 75 por ciento.

En general, estos trabajos han generado una reactivación del empleo. En la reconstrucción están participando 58 firmas locales bajo la supervisión del INAH. Se espera que todos estos trabajos quedarán concluidos en agosto del año 2000.

El costo total de la rehabilitación asciende a 253 millones de pesos, de los cuales 241 serán aportados por el FONDEN con la participación de CONACULTA y el resto será aportado por el Gobierno del Estado. Estos inmuebles no estaban amparados por seguros.

En general la parte artística de las iglesias que sufrió daños será restaurada con financiamiento externo. Se tiene conocimiento de la UNESCO, ha realizado algunos aportes, considera como Patrimonio de la Humanidad al Convento de Tochimilco, los ex-conventos que existen en la zona de los volcanes, así como el Centro Histórico de la ciudad de Puebla.

⁷ Se incluye como Anexo II copia del formulario utilizado para la realización del censo

9.4.5 Daño a edificios públicos

La SEDUEEP llevó a cabo, a través de sus brigadas, un diagnóstico de los edificios públicos que resultaron dañados por el sismo. Se registraron un total de 373 edificios; 56 del ámbito estatal (56) y 317 del municipal. Estos ocurrieron en 95 municipios. Para atenderlos dicha Secretaría instaló 60 mesas de atención. Se definieron cuatro niveles de daños: parciales, medios, graves y pérdida total.

Todos los inmuebles propiedad o al resguardo del Estado cuentan con pólizas de seguros sobre daños patrimoniales. En estos casos, la Secretaría de Finanzas revisó y validó los presupuestos de reparación o rehabilitación. Los montos correspondientes se determinaron en grupos de trabajo compuestos por funcionarios de la SEDUEEP, la SEDECAP (Secretaría de Desarrollo, Evaluación y Control Administrativo de la Administración Pública), las compañías constructoras y la compañía aseguradora. Entre otros edificios importantes que sufrieron daños de mediana consideración se cuentan edificios coloniales considerados monumentos históricos, como el Palacio Municipal de Puebla, el edificio Carolino de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y el edificio municipal de Tepeji.

Se presenta en la tabla 9.4 el resumen de los daños en edificios públicos, valorados al costo de su reparación.

Tabla 9.4 - Costo de la reparación en edificios públicos

Tipo de inmueble:	Número de edificios dañados	Monto de la reparación (en millones de pesos)
Inmuebles estatales	56	106.7
Inmuebles municipales	317	50.6
TOTALES	373	157.3

9.4.6 Infraestructura económica

Los daños en la infraestructura económica fueron bastante reducidos. Sólo se registraron algunos en transporte y comunicaciones, y en la generación de energía eléctrica. En cuanto al suministro de agua potable y alcantarillado los daños fueron mínimos.

Los daños estimados en esta materia ascienden a alrededor de 8 millones de pesos, resultante de efectos del sismo en 25 caminos y en cuatro puentes. Se han retirado ya los derrumbes que obstaculizaban el paso en 10 caminos y ya se reparó el camino Calpan-San Nicolás de los Ranchos. Se completó también la reparación de los puentes Palmar Bravo y Ajalpan. Se encuentran aún pendientes de reparación los puentes de Huehuetlán el Grande y de San Pedro Benito Juárez. Estos puentes inciden en la circulación de los caminos Zacapala, La Magdalena Tlatlauquitepec, Canoa y Jojotla. Este trabajo debe quedar concluido a comienzos del próximo año.

Los vehículos que transitan por estos caminos deben desviarse por lo que demoran su recorrido media hora más que lo habitual.

Se informó que debido a los gastos que ha enfrentado la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para atender los daños provocados por el sismo no se están llevando a cabo los trabajos de mantenimiento carretero habituales.

Los daños en la operación y en el patrimonio de la empresa se estiman *grosso modo* en 3 millones de pesos (1 millón de daños en edificios de la compañía y 2 millones aproximadamente por los efectos del sismo en nueve subestaciones).

9.5 ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS TOTALES EN EL ESTADO DE OAXACA

9.5.1 Apreciación general y primeras acciones

Los sismos del 15 y 21 si bien afortunadamente no provocaron pérdidas de vidas humanas, sí afectaron gran cantidad de casas y edificios.

La zona más afectada fue la Mixteca Alta y Baja, y en general la zona limítrofe con los estados de Puebla y Guerrero concentrándose en comunidades de 104 municipios de nueve distritos, siete de la Región de la Mixteca y dos de la Cañada. El 70 por ciento de estos municipios son considerados como de marginalidad muy alta; el resto son municipios igualmente pobres pero menos poblados por lo que se clasifican como de marginalidad media (Anexo I). Se trata, en general, de una región de fuerte emigración. Este último hecho dificultó en buena medida las labores de reconstrucción por escasez relativa de mano de obra masculina, especialmente de albañiles⁸.

Los daños totales estimados al costo de reposición ascendieron a 219 millones de pesos y se explican fundamentalmente por los ocurridos en establecimientos educacionales, edificios y monumentos históricos y viviendas, en ese orden. La infraestructura económica sufrió sólo daños leves. Tampoco fueron de consideración los que se registraron en las instalaciones de salud. Si bien a nivel nacional los efectos del sismo del 15 de junio pueden considerarse como moderados, para algunos municipios, especialmente los de elevada marginalidad, fueron significativos.

Se estima que los efectos del sismo podrían haber sido mayores de no haber mediado prácticas constructivas más exigentes que se adoptaron con posterioridad al terremoto ocurrido en la zona de Huajuapán en 1980.

Tabla 9.5 - Estimación de los efectos del sismo a costo de reposición, según los principales rubros afectados (en millones de pesos)

Infraestructura dañada:	Costo de reposición
Vivienda	52.2
Escuelas	93.5
Hospitales	2.1
Edificios históricos e iglesias	70.0
Caminos y puentes	0.5
Suministro de energía eléctrica	0.4
TOTAL GENERAL	218.7

Para atender la emergencia se contó, además del programa DN-III del Ejército, con brigadas interinstitucionales de auxilio y valuación por parte de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Instituto de la Vivienda del Estado de Oaxaca, la Dirección General de Protección Civil del Estado y de la Secretaría de la Contraloría.

La recuperación de los acervos destruidos o dañados esta realizándose con prontitud. Es de hacer notar que en la reconstrucción y reparación de escuelas y viviendas se están aplicando normas constructivas más estrictas que se han venido instrumentando con posterioridad al sismo de 1985 en ciudad de México. En cambio, en la mayor parte de los monumentos históricos, el criterio es el de restituir las estructuras de acuerdo con sus características originales.

⁸ A fines de septiembre cuando la misión de evaluación visitó la zona afectada, autoridades municipales de Cacaloxtitlán informaron que se llegaba a pagar 300 pesos diarios por un albañil, cuando el nivel de salario más representativo de esa zona no supera los 50 pesos diarios.

9.5.2 Sector vivienda

En el sector vivienda se vieron afectados 104 municipios, 94 de ellos en la región de la Mixteca, localizados en los distritos de: Coixtlahuaca, Huajuapán de León, Juxtlahuaca, Nochistlán, Silacayoapan y Teposcolula. Los 10 municipios restantes pertenecen a la región de la Cañada, y se localizan en el distrito de Totitlán. Las viviendas afectadas, sumaron 7855. Adicionalmente el Instituto de Fomento Nacional para la Vivienda de los Trabajadores (INFONAVIT), contabilizó 12 viviendas dañadas en la ciudad de Huajuapán de León y una unidad habitacional en la ciudad de Santa María Huatulco.

Los daños ocurridos en viviendas están asociados a construcciones de mampostería mal confinada o bien a construcciones de adobe. Cabe mencionar que este tipo de daños han sido característicos en sismos anteriores, como los ocurridos en 1973 y 1980, ambos de magnitud 7.0. En particular, la unidad habitacional del INFONAVIT de Santa María Huatulco, sufrió daños en las instalaciones de gas y agua, así como, daños ligeros en acabados.

Con el fin de atender la emergencia, el Instituto de la Vivienda del Estado de Oaxaca (IVO) y la SEDESOL instalaron en forma inmediata cuatro centros de atención, utilizando 30 brigadas formadas por 98 técnicos, con la misión de elaborar un padrón de viviendas dañadas.

Al día siguiente del sismo, la delegación regional del INFONAVIT evaluó los daños. Cinco de las 12 viviendas afectadas en la ciudad de Huajuapán de León presentaron daño severo y las restantes daño ligero a moderado. De esa magnitud fueron también los daños observados en la unidad habitacional de Santa María Huatulco.

Para las labores de reconstrucción, el IVO y la SEDESOL crearon tres programas relacionados con cada uno con los niveles de daño. El “PAQUETE A” que atiende a las viviendas con daño menor, el “PAQUETE B” que aplica a las viviendas con daño parcial y el “PAQUETE C” para las viviendas que se perdieron totalmente. Los tres programas contemplan la entrega del material necesario para la reparación de los daños combinado con un programa de autoempleo. En el caso del “PAQUETE C”, se está construyendo un cuarto de usos múltiples de 36 m²; las figs. 9.2 y 9.3 muestran los tipos de construcción asociados a este paquete. En la tabla 9.6 se resumen las viviendas asignadas a cada paquete y el importe de cada uno de ellos, así como, el monto de reparación estimado por el INFONAVIT.



Figura 9.2 - Vivienda de bloque ligero que repone a una totalmente destruida en el estado de Oaxaca



Figura 9.3 - Vivienda de adobloque que repone a una totalmente destruida en el estado de Oaxaca

Tabla 9.6 - Programa de reparación y reconstrucción de vivienda

Paquete de ayuda	Viviendas afectadas	Costo de reparación por vivienda (miles de pesos)	Inversión en reparación y construcción (millones de pesos)
A (Daño menor)	2,780	2,082	5.8
B (Daño parcial)	4,337	6,780	29.4
C (Daño total)	738	21,978	16.2
INFONAVIT	12 y una unidad habitacional	-	1.1
TOTAL	7,867	TOTAL	52.5

Dado el escaso nivel de desarrollo de la entidad, la cantidad invertida en la reconstrucción de vivienda no será recuperable. Del total a invertir, el Gobierno Federal aportará el 60 por ciento, proveniente del FONDEN, y los gobiernos estatal y municipal el 40 por ciento restante.

Los fondos para la reconstrucción de los daños reportados por el INFONAVIT, los espera obtener de las compañías aseguradoras.

9.5.3 Infraestructura de salud y educación

En la región afectada prestan servicio el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado (ISSSTE), Petróleos Mexicanos (PEMEX) y la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA). De estas cuatro instituciones solamente se registraron daños en unidades de salud de la SSA. Esta institución cuenta con un total de 96 unidades médicas en la zona afectada, de las que 22 resultaron dañadas. Los daños se caracterizaron por desprendimiento de acabados y agrietamiento ligero de los muros divisorios y, en algunos casos, del acabado de los pisos; los elementos estructurales no resultaron dañados. En general, los daños a la infraestructura de salud se pueden clasificar como ligeros.

El costo de reparación de los daños, va desde los \$40,000 hasta los \$240,000. Las construcciones con las reparaciones de mayor costo fueron: el Hospital General de Putla de Guerrero (\$240,000), el Hospital General (\$125,000) y una clínica de consulta externa (\$180,000) de Huajuapán de León, la clínica de San Pedro y San Pablo Teposcolula (\$145,000) y la clínica de Tezoatlán de Segura y Luna (\$130,000). El monto total de los daños fue 2.1 millones de pesos.

Luego del sismo, el Gobierno del Estado envió brigadas del Instituto Estatal de Educación Pública de Oaxaca (IEEPO), del Comité Estatal para la Edificación del Aula en Oaxaca (CEPEAO), y del Comité

Administrador del Programa Federal de Construcción de Escuelas (CAPFCE) a la zona afectada con el objeto de censar los daños y de delinear un programa de reconstrucción de los espacios físicos.

La zona geográfica en la que ocurrieron daños en la infraestructura escolar comprendió los distritos de Huajuapán de León, Teposcolula, Nochistlán, Tlaxiaco, Juxtlahuaca, Putla, Coixtlahuaca y Silacayoapan en la región Mixteca y el distrito de Teotitlán en la región de la Cañada. En ellas fueron reportados 468 centros educativos con algún tipo de daño, que comprometieron un número superior a las 2 mil aulas. El número de alumnos afectados por esta situación superó los 56 mil.

El listado de las escuelas afectadas hace ascender el total de daños a 88.6 millones de pesos (costo de las reparaciones y reconstrucciones, según datos proporcionados por del IEEPO). Para cada obra se formuló un expediente técnico. Mención especial merecen los daños que sufrieron la Escuela Normal Experimental de San Pedro y San Pablo de Teposcolula en la que los daños directos ascendieron a 3.1 millones de pesos y, sobre todo, la Escuela Normal Rural de Vanguardia de Tamazulapán del Progreso. En este caso se está planteando una reconstrucción del plantel con un costo estimado de 32.8 millones de pesos. En ambos casos la construcción de albergues en un plazo muy breve permitió asegurar la continuidad operativa de sendos planteles.

La infraestructura educativa se encuentra asegurada por la Secretaría de Educación Pública sin embargo, dado el lapso que debe transcurrir para hacer efectiva las reclamaciones, fue necesario reparar los daños ante el inminente inicio del ciclo escolar 1999/2000. Existen algunos planteles estatales, como el de la Universidad de la Mixteca que por este carácter no se encuentran amparados por un seguro. Las autoridades estatales esperan recuperar, vía seguros, alrededor de 60 millones de pesos; el resto del costo de la reconstrucción será absorbido por la Secretaría de Educación Pública.

Tabla 9.7 - Estimación de daños directos en el sector educativo

Nivel de daño	Número de escuelas	Costo de reparación (en miles de pesos)
Con daños mayores:	17	56,589.9
Escuela Normal Rural Vanguardia de Tamazulapán		32,783.2
Normal de San Pedro y San Pablo de Teposcolula		3,091.8
Centro de Integración Social 17, Eloxochitlán de Flores Magón, Teotitlán		1,275.8
Escuela Normal Experimental de Huajuapán de León		1,560.2
Primaria Abraham Castellanos, San. Juan Bautista de Coixtlahuaca		1,157.0
Primaria Miguel Hidalgo y Costilla, San. Juan Bautista de Coixtlahuaca		1,321.4
CONALEP Santiago Huajolotitlán, Huajuapán de León.		1,038.5
Niños Héroes de Chapultepec Santiago Ihuitlán, Coixtlahuaca		1,107.8
CECYTE Plantel 8, Yolomécatl, Teposcolula		907.0
Albergue Indígena, Sto. Dgo. Yanhuitlán		1,713.8
CBTIS N. 130 Tamazulapán del Progreso		1,517.9
Hermanos Flores Magón, Teotitlán		718.2
Justo Rodríguez, Sto. Dgo. Yanhuitlán		507.5
Ignacio Zaragoza Santiago Cacaloxtepec		788.6
Lic. Benito Juárez Sta. María Chilchotla		517.8
José Dgo. Vázquez, Heroica Ciudad de Tlaxiaco		837.2
Ctro. Bach. Tecnológico Ind. 2, Tlaxiaco		746.2
Con daños de menor magnitud:	451	31,926.0
Total de escuelas con daños:	468	88,515.9
Costo estimado de los albergues ⁹		5,000.0
Total de efectos directos en el sector educativo:		93,519.9

⁹ Incluye la Escuela Normal alternativa construida provisionalmente en Tamazulapán cuyo costo estimativo fue de 2 millones de pesos.

Los servicios educativos fueron suspendidos los días 16 y 17 de junio a efecto de valorar los daños y dictaminar el estado de las instalaciones. Las clases se reanudaron el 18, salvo en los casos de las 17 escuelas que fueron calificadas con daños mayores por haber sufrido daño severo en sus edificios.

9.5.4 Monumentos históricos e inmuebles religiosos

En 109 municipios se registraron daños en inmuebles históricos. El número de inmuebles afectados fue de 191, de los cuales 185 corresponden a templos, y seis a palacios de tipo municipal civil. De estos, en la tabla 9.8, se resumen 159 que han sido clasificados de acuerdo a la época en que se construyeron y al daño que sufrieron.

El distrito más afectado a este respecto fue el de Huajuapán de León, seguido por Teposcolula y Teotitlán; este último fue el más afectado por ser uno con mayor población de la zona. En cuanto a los edificios afectados, la mayoría fueron construidos en los siglos XVIII y XIX.

De la tabla 9.8 se concluye que un 30 por ciento de los inmuebles sufrieron daños mayores, un 35 por ciento medianos y en un 35% fueron menores.

Con respecto a la cuantificación de estos daños, los dictámenes técnicos formulados por los especialistas ante la Coordinación Nacional de Monumentos Históricos del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) a través de su centro en Oaxaca, de la Dirección General de Sitios y Monumentos, del Instituto Nacional de Bellas Artes (INBA) y de la Comisión Nacional para la Preservación del Patrimonio determinaron un monto total de daños de 62.4 millones de pesos, de los cuales 61.7 millones serán aportados por él. FONDEN y el resto por el Estado y Municipios. La Secretaría de Gobernación publicó el 2 de julio en el Diario Oficial de la Federación la Declaratoria de Desastre Natural para efectos de las reglas de operación del Fondo.

Tabla 9.8 - Número de edificios dañados según antigüedad y ubicación

Distrito	Antigüedad, Siglo				Total	Tipo de daño		
	XVI	XVII	XVIII	XIX		A (mayor)	B (medio)	C (menor)
Coixtlahuaca	2	2	7	2	13	2	10	1
Nochixtlán	4	4	7	2	17	1	8	8
Juxtlahuaca	0	0	0	1	1	0	0	1
Silacayoapan	0	0	3	2	5	0	1	4
Teposcolula	7	4	7	5	23	7	7	9
Huajuapán	1	4	42	28	75	27	23	25
Tlaxiaco	1	2	0	1	4	3	0	1
Teotitlán	0	3	7	7	17	7	5	5
Cuicatlán	0	0	2	2	4	1	2	1
TOTALES	15	19	75	50	159	48	56	55

La Secretaría de Desarrollo Urbano, Comunicaciones y Obras Públicas (SEDUCOP) presentó en septiembre un informe preciso de daños en los inmuebles municipales, que incluyen agencias de policía, mercados, casas de la cultura y palacios. El total de daños cuantificados ascendió a 7.5 millones de pesos¹⁰. Así, el total de daños en el renglón de monumentos históricos e inmuebles religiosos ascendería a prácticamente 70 millones.

¹⁰ Es posible que haya cierta duplicación en esta cifra respecto a la incluida en el párrafo anterior, pero se estima que se compensa por los edificios reportados con posterioridad a la Declaratoria de Desastre inicial y que están siendo incluidos en el programa de reconstrucción.

Se establecieron tres centros de operación: Huajuapán, Tamazulapán y Teotitlán. Los arquitectos del INAH visitan las comunidades afectadas para coordinarse con las autoridades civiles y el comité del templo para informar del inicio de la obra, los apoyos suministrados por el programa y los que se requerirán de la comunidad, formalizando los compromisos mediante un acta de inicio de la obra.

Los recursos económicos se utilizan para proporcionar materiales y contratar mano de obra local a través de los Comités Comunitarios y serán aplicados en varias etapas. El programa se ha visto afectado por solicitudes extemporáneas presentadas por las comunidades acerca de inmuebles dañados (en la mayoría de los casos se trata de inmuebles históricos con daños más o menos serios). Estos se han estado incorporando al listado de inmuebles por atender. El otro factor de retraso ha sido la pertinaz temporada de lluvias que ha dificultado la realización de los trabajos. Se planea, en todo caso, que al 15 de diciembre próximo se habrá concluido el 80 por ciento de las obras.

Finalmente, cabe agregar, que en muchos casos, los monumentos históricos estaban siendo objeto de labores de mantenimiento y restauración con anterioridad al sismo. Por ejemplo, en el impresionante convento e iglesia de Teposcolula, el proyecto en marcha fue modificado para tomar en cuenta los efectos destructivos de este último sismo.

9.5.6 Infraestructura económica

En el rubro de transportes y comunicaciones los daños suman 0.53 millones de pesos, que resultan del retiro de los derrumbes de taludes en carreteras federales y estatales. Al momento de realizarse este informe, las tareas de limpieza se habían agravado debido a las lluvias torrenciales. Los derrumbes y la limpieza de los mismos no implicó desvíos del tránsito vehicular que pudieran incrementar el costo de transportación en las carreteras afectadas.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) reportó cortes de energía y daño en sus inmuebles. Los primeros tuvieron una duración aproximada de 1.4 h. La reparación de los daños suma 0.4 millones de pesos, que representó apenas el 0.3 por ciento de los ingresos mensuales de la CFE en el Estado de Oaxaca.

CAPÍTULO 10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis y evaluación de los efectos del sismo de Tehuacán del 15 de junio hasta aquí presentados, se derivan algunas conclusiones y propuestas que se exponen a continuación.

10.1 CONCLUSIONES

El sismo tuvo efectos en un amplio radio geográfico, que incluye a siete estados de la República. Ocasionó algunas pérdidas de vidas humanas. El número de personas damnificadas que debieron refugiarse en albergues fue moderado, y sólo debieron permanecer en ellos menos de tres días.

Los daños totales, valorados fundamentalmente a costo de reposición, ascendieron a algo más de 1.4 millardos de pesos (alrededor de 150 millones de dólares); más de las tres cuartas partes de los cuales se concentraron en el Estado de Puebla, el 15 por ciento en Oaxaca y el 7 por ciento restante en los estados de Morelos, México, Tlaxcala, Veracruz y Guerrero.

Los efectos destructivos más relevantes se registraron en monumentos históricos, viviendas, escuelas y hospitales. Llama la atención la magnitud relativamente elevada de los daños en viviendas, hospitales y escuelas, dada la intensidad más bien moderada del sismo y, no obstante que se cuenta en los estados de Puebla y Oaxaca con reglamentos de construcción bastante actualizados. En el caso de las escuelas, algunas evidenciaron alta vulnerabilidad debido a deficiencias constructivas; en otras se registraban fallas en el diseño estructural.

La zona afectada se caracteriza por la existencia de una gran densidad de edificios y monumentos históricos, especialmente iglesias y conventos. Varios de ellos son considerados importantes desde el punto de vista del patrimonio cultural de la nación, o poseen un elevado valor histórico, arquitectónico y estético. El daño en monumentos históricos, que fue apreciable, es, sin embargo, comparable al ocasionado por sismos pasados de similar o superior intensidad. En efecto, la zona de Puebla-Oaxaca se ve sujeta a sismos similares al del 15 de junio cada 20 a 30 años.

La severidad de los daños debe atribuirse, por su parte, tanto a debilidades de los materiales y estructuración de los monumentos históricos, como a un mantenimiento inadecuado de los mismos. En su rehabilitación se da prioridad a la restauración estética y al concepto arquitectónico original. No resulta, por lo tanto, posible aplicar soluciones generales; el enfoque debe ser más bien casuístico. Lo anterior no excluye la posibilidad de llevar a cabo propuestas estructurales y arquitectónicas de rehabilitación que hayan demostrado un comportamiento satisfactorio frente a casos similares.

Los daños en viviendas, sobre todo en los Estados de Puebla y Oaxaca fueron considerables (superaron los 45 mil) y afectaron en su mayor parte a viviendas de adobe y mampostería simple, especialmente vulnerables. Estas se encontraban localizadas en un gran número de municipios predominantemente rurales de marginalidad mediana a elevada.

En el caso de los monumentos históricos, gracias, en parte a la intervención del Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CONACULTA) a través de la Delegación del INAH en los estados involucrados, se tuvo acceso expedito a los recursos del FONDEN para la reconstrucción o reparación. En el caso de la vivienda, en cambio, los recursos no fluyeron en forma tan expedita, sobre todo en el caso de Oaxaca,

situación que aparentemente estuvo relacionada con la acreditación de los aportes estatales y municipales, especialmente en zonas de marginalidad alta o muy alta.

Por el papel crucial que juegan frente a los desastres, llama también la atención el tipo y severidad del daño en hospitales, sobre todo en aquellas instalaciones que presumiblemente habían sido diseñadas estructural y arquitectónicamente siguiendo criterios de mayor exigencia. En dos de los más afectados en el Estado de Puebla, las autoridades consideraron los daños como suficientemente graves para disponer de su evacuación total, en un caso, y parcial en el otro. En ambos casos se habían construido elementos divisorios en contacto con la estructura sismorresistente, provocando daños no estructurales, e incluso estructurales.

10.2 RECOMENDACIONES

En el caso de hospitales, debería estudiarse explícitamente las demandas ante sismos moderados y la consiguiente capacidad estructural. 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, y prueba de ello es lo ocurrido a raíz del sismo de Tehuacán, 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, el proceso de reconstrucción iniciado a los pocos días de registrado el sismo abrió la posibilidad -que de hecho se empezó a materializar- de 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 deberán desarrollar programas de escala controlada (programa piloto) en comunidades rurales en los que participaran autoridades, universidades y colegios de profesionistas locales. El programa debería contemplar la caracterización y análisis de vulnerabilidad, la reducción de la misma mediante rehabilitación de la vivienda, así como proyectos específicos de capacitación y evaluación de la

población que participará en las actividades de construcción. En lo que respecta a la vivienda de interés social, sería recomendable contar con guías de evaluación del daño y de rehabilitación. También en este caso la mayor parte de la información técnica está disponible.

Convendría identificar y evaluar la idoneidad de las diferentes técnicas que se han empleado en el país en la restauración de monumentos históricos. Ello facilitaría la toma de decisiones adecuadas y el uso más eficiente de los recursos económicos. En efecto, si en el caso de los monumentos e edificios históricos se aceptara un tipo de rehabilitación que mejorara sustancialmente sus características estructurales, se incrementaría la *rentabilidad* de la inversión necesaria para llevarla a cabo, ya que la tasa de daños en el tiempo disminuiría. Los recursos que se ahorrarían en los años futuros al no ser necesaria una restauración tan amplia se podrían destinar a programas de reducción de la vulnerabilidad de las viviendas, por ejemplo.

Este enfoque no significaría sacrificar en medida apreciable el valor estético del monumento a costa de incrementar su seguridad. Si bien las intervenciones serían incluso “explícitas”, se debería buscar que su impacto visual y constructivo fuera el menor posible. En esta familia de soluciones técnicas estarían algunas discutidas en el cuerpo del informe, como son la instalación de tensores entre arranques de arcos y bóvedas o de zunchos y anillos de confinamiento para limitar los desplazamientos horizontales relativos.

Si se toma en cuenta que los daños en algunas estructuras, en ciudades como Puebla, por ejemplo, se pueden explicar por *efectos de sitio*, al ser modificadas las características del sismo por estratos de suelo blando o por rellenos artificiales, resulta obvia, entonces, la conveniencia de desarrollar un trabajo para zonificar, sísmica y geotécnicamente, las poblaciones más relevantes y que están más expuestas a este tipo de fenómeno.

Una vez superada la fase de emergencia e iniciada la de rehabilitación y reconstrucción, el acceso a los recursos del FONDEN no fue en todos los casos tan expedito como hubiera sido conveniente. Se tiene la impresión de que no es un problema de falta de recursos, sino de los procedimientos y de la insuficiente coordinación interinstitucional de las entidades participantes. Debería también intentar adecuarse las exigencias de coparticipación financiera de estados y municipios contenidas en las reglas de operación del Fondo, en función del nivel de desarrollo o grado de marginalidad, en su caso, de los mismos.

Sería conveniente realizar esfuerzos similares de evaluación del impacto para eventos pasados, en particular desde el punto de vista económico para los cuales exista información suficiente. Ello podría servir de base para plantear escenarios de sismos futuros, así como para analizar los resultados de actividades de mitigación llevadas a cabo en el pasado. De esta manera se podrían proponer planes preventivos de reducción de la vulnerabilidad que tendieran a mitigar las probables pérdidas.

ANEXO I

INDICADORES SOCIALES DE LOS MUNICIPIOS AFECTADOS

OAXACA

Distrito	Población	Porcentaje de población analfabeta mayor de 15 años	Porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada	Porcentaje de población ocupada con ingreso menor a dos salarios mínimos.	Grado de marginación
Municipio					
COIXTLAHUACA					
CONCEPCION BUENAVISTA	1 004	18.0	61.3	96.3	ALTA
SAN CRISTOBAL SUCHIXTLAHUACA	328	9.0	4.0	96.3	BAJA
SAN JUAN BAUTISTA COIXTLAHUACA	3 398	20.3	52.3	94.4	ALTA
SAN MATEO TLAPILTEPEC	278	29.2	28.9	100	ALTA
SAN MIGUEL TEQUIXTEPEC	1 093	20.2	50.8	94.6	ALTA
SAN MIGUEL TULANCINGO	490	24.7	37.9	98.0	ALTA
SANTA MAGDALENA JICOTLAN	121	10.9	3.8	100.0	MEDIA
SANTA MARIA NATIVITAS	800	27.2	37.1	92.8	ALTA
SANTIAGO IHUITALAN PLUMAS	625	21.3	30.6	93.9	ALTA
SANTIAGO TEPETLAPA	132	18.8	27.5	93.3	ALTA
TLACOTEPEC PLUMAS	572	17.7	5.61	86.5	MEDIA
HUAJUAPAM					
ASUNCION CUYOTEPEJI	845	22.1	8.7	93.7	ALTA
COSOLTEPEC	1 065	13.4	16.5	88.2	MEDIA
FRESNILLO DE TRUJANO	1 017	38.3	55.6	91.5	ALTA
HUAJUAPAN DE LEON	39 488	15.8	34.7	69.3	BAJA
MARISCALA DE JUAREZ	3 292	25.8	17.3	85.7	ALTA
SAN ANDRES DINICUITI	2 156	27.3	22.5	84.6	ALTA
SAN JERONIMO SILACAYOAPILLA	1 901	27.6	35.5	87.4	ALTA
SAN JORGE NUCHITA	3 321	38.4	3.9	84.6	ALTA
SAN JOSE AYUQUILA	1 288	34.3	59.5	95.9	ALTA
SAN JUAN BAUTISTA SUCHITEPEC	515	21.6	14.3	98.0	ALTA
SAN MARCOS ARTEAGA	2 223	24.5	21.1	82.9	MEDIA
SAN MARTIN ZACATAPEC	1 399	34.5	62.1	63.9	ALTA
SAN MIGUEL AMATITLAN	6 139	43.2	83.9	93.6	MUY ALTA
SAN PEDRO Y SAN PABLO TEQUIXTEPEC	2 529	20.8	31.2	93.7	ALTA
SAN SIMON ZAHUATLAN	1 810	77.5	100	96.6	MUY ALTA

Distrito	Población	Porcentaje de población analfabeta mayor de 15 años	Porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada	Porcentaje de población ocupada con ingreso menor a dos salarios mínimos.	Grado de marginación
Municipio					
SANTA CATARINA ZAPOQUILA	703	26.8	54.2	98.7	ALTA
SANTA CRUZ TACACHE DE MINA	2 539	29.7	9.1	81.5	ALTA
SANTA MARIA COMOTLAN	1 507	27.6	12.4	88.1	ALTA
SANTIAGO AYUQUILLA	2 242	27.4	75.3	94.3	ALTA
SANTIAGO CACALOXTEPEC	1 275	50.4	1.3	81.9	ALTA
SANTIAGO CHAZUMBA	4 600	16.7	25.1	87.9	MEDIA
SANTIAGO HUAJOLOTITLAN	4 555	14.9	12.2	88.2	MEDIA
SANTIAGO MILTEPEC	424	18.7	26.7	97.8	ALTA
SANTO DOMINGO TONALA	6 631	33.7	41.5	88.1	ALTA
SANTO DOMINGO YODOHINO	573	18.3	6.4	100	MEDIA
SANTOS REYES YACUNA	1 345	68.4	96.8	67.7	MUY ALTA
TEZOATLAN DE SEGURA Y LUNA	12 008	32.1	28.8	95.2	ALTA
ZAPOTITLAN PALMAS	1 551	39.2	14.4	81.1	ALTA
JUXTLAHUACA					
SAN MIGUEL TLACOTEPEC	3 335	38.5	24.5	66.8	ALTA
SAN SEBASTIAN TECOMAXTLAHUACA	8 861	39.1	44.3	90.0	ALTA
SANTIAGO JUXTLAHUACA	29 416	49.6	34.1	76.4	ALTA
SANTOS REYES TEPEJILLO	1 595	44.0	7.6	74.2	ALTA
NOCHIXTLAN					
ASUNCION NOCHIXTLAN	12 299	19.4	36.9	82.6	MEDIA
MAGDALENA JALTEPEC	3 752	24.4	72.2	94.3	ALTA
SAN ANDRES NUXIÑO	2 168	15.3	95.1	93.4	ALTA
SAN ANDRES SINAXTLA	700	17.6	5.1	85.1	BAJA
SAN FRANCISCO JALTEPETONGO	1 256	14.4	42.3	88.6	ALTA
SAN FRANCISCO NUXAÑO	424	17.9	68.6	100	ALTA
SAN JUAN DIUXI	1 784	44.9	68.8	95.6	MUY ALTA
SAN JUAN TAMAZOLA	660	23.2	92.6	97.0	MUY ALTA
SAN MATEO ETLATONGO	1 121	18.2	46.4	92.8	ALTA
SAN MIGUEL CHICAHUA	2 200	34.8	91.0	90.3	MUY ALTA
SAN MIGUEL HUATLA	1 671	37.6	87.5	82.8	MUY ALTA
SAN PEDRO CANTAROS COXCALTEPEC	1 077	17.1	69.7	97.8	ALTA
SAN PEDRO TEOZACOALCO	1 356	18.8	40.5	99.1	ALTA
SAN PEDRO TIDAA	926	27.3	11.6	96.3	ALTA

Distrito	Población	Porcentaje de población analfabeta mayor de 15 años	Porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada	Porcentaje de población ocupada con ingreso menor a dos salarios mínimos.	Grado de marginación
Municipio					
SANTA MARIA CHACHOAPAM	850	13.6	40.4	89.3	MEDIA
SANTIAGO APOALA	1 321	48.4	78.2	93.7	MUY ALTA
SANTIAGO HUAUCLILLA	976	13.7	47.6	95.4	ALTA
SANTIAGO TILANTONGO	4 117	35.4	83.3	97.6	MUY ALTA
SANTO DOMINGO YANHUITLAN	1 630	18.4	30.5	86.6	MEDIA
YUTANDUCHI DE GUERRERO	1 313	31.7	77.5	96.0	MUY ALTA
SILACAYOAPAN					
GUADALUPE DE RAMIREZ	1 309	27.9	75.8	91.2	ALTA
SAN JUAN CIENEGUILLA	593	21.5	0.9	75.7	MEDIA
SAN JUAN IHUALTEPEC	751	38.3	100	89.6	ALTA
SAN LORENZO VICTORIA	1 084	24.2	3.8	79.8	MEDIA
SAN NICOLAS HIDALGO	860	24.7	7.1	95.2	ALTA
SANTIAGO DEL RIO	921	41.9	44.8	94.2	ALTA
SANTIAGO TAMAZOLA	3 185	29.9	80.6	83.4	ALTA
SANTIAGO YUCUYACHI	1 311	36.8	20.3	81.9	ALTA
SILACAYOAPAN	8 293	34.8	26.1	85.4	ALTA
ZAPOTITLAN LAGUNAS	2 915	47.0	58.3	86.8	ALTA
TEOTILAN					
ELOXOCHITLAN DE FLORES MAGON	3 124	62.2	57.5	87.7	MUY ALTA
HUAUTLA DE JIMENEZ	27 204	50.2	54.1	85.6	ALTA
SAN JERONIMO TECOATL	1 542	49.7	22.3	88.8	ALTA
SAN LUCAS ZOQUIAPAM	6 139	52.7	41.1	88.3	MUY ALTA
SAN MATEO YOLOXOCHITLAN	2 934	40.3	31.4	94.9	ALTA
SAN MIGUEL HUATEPEC	ND	ND	ND	ND	ND
SANTA CRUZ ACATEPEC	986	53.6	27.2	94.3	MUY ALTA
SANTA MARIA CHILCHOTLA	18 745	52.5	85.9	92.0	MUY ALTA
SANTIAGO TEXCALCINGO	2 480	49.0	95.9	96.0	MUY ALTA
TEOTITLAN DE FLORES MAGON	7 084	19.1	7.5	80.5	BAJA
TEPOSCOLULA					
SAN ANDRES LAGUNA	610	20.5	17.9	97.9	BAJA
SAN ANTONIO MONTE VERDE	5 585	33.6	43.3	94.3	MUY ALTA
SAN ANTONIO ACUTLA	331	35.8	15.3	100	ALTA
SAN BARTOLO SOYALTEPEC	895	29.3	49.5	97.2	ALTA
SAN JUAN TEPOSCOLULA	1 393	21.9	55.5	85.0	ALTA
SAN PEDRO NOPALA	1 031	26.9	41.4	97.5	ALTA

Distrito	Población	Porcentaje de población analfabeta mayor de 15 años	Porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada	Porcentaje de población ocupada con ingreso menor a dos salarios mínimos.	Grado de marginación
Municipio					
SAN PEDRO TOPILTEPEC	452	18.7	4.7	96.0	MEDIA
SAN PEDRO Y SAN PABLO TEPOSCOLULA	3 454	13.8	36.9	83.2	MEDIA
SAN PEDRO YUCUNAMA	262	17.1	12.7	80.0	MEDIA
SAN SEBASTIAN NICANANDUTA	1 582	43.6	3.0	97.3	ALTA
SAN VICENTE NUÑU	568	14.8	19.9	88.5	ALTA
SANTA MARIA NDUAYACO	660	16.7	27.1	94.2	ALTA
SANTIAGO NEJAPILLA	296	26.9	2.7	95.9	ALTA
SANTIAGO YOLOMECATL	1 729	16.7	14.4	83.5	BAJA
SANTO DOMINGO TLATAYAPAM	161	26.0	29.1	95.7	ALTA
SANTO DOMINGO TONALTEPEC	347	29.8	100	95.2	ALTA
TEOTONGO	1 154	29.9	13.1	91.9	ALTA
TRINIDAD VISTA HERMOSA, LA	393	31.3	15.2	96.3	ALTA
VILLA DE TAMAZULAPAN DEL PROGRESO	6 202	14.8	10.7	73.1	BAJA
VILLA TEJUPAM DE LA UNION	2 201	21.2	15.9	88.9	MEDIA
TLAXIACO					
SAN PEDRO MARTIR YUCUXACO	1 544	19.1	72.7	92.6	ALTA
OAXACA (Estado)	3 228 895	20.5	31.5	49.8	ALTA
PROMEDIO NACIONAL	93 716 332*	10.6	20.6		

* Población Nacional en 1997

PUEBLA

Distrito	Población	Porcentaje de población analfabeta mayor de 15 años	Porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada	Porcentaje de población ocupada con ingreso menor a dos salarios mínimos.	Grado de marginación
Municipio					
ACATLAN DE OSORIO	31 817	21.8	39.9	70.4	MEDIA
AJALPAN	42 097	49.6	45.1	90.3	MUY ALTA
ATLIXCO	112 570	12.9	23.9	66.6	BAJA
CAÑADA DE MORELOS	ND	ND	ND	ND	ALTA
CHALCHICOMULA DE SESMA	30 091	23.0	14.4	85.4	MEDIA
CHIAUTLA DE TAPIA	19 762	26.8	31.5	75.9	MEDIA
CHAPULCO	4 766	18.8	26.6	81.1	ALTA
ESPERANZA	12 120	22.4	26.3	83.4	MEDIA
IZUCAR DE MATAMOROS	66 144	20.7	23.9	67.3	BAJA
PALMAR DE BRAVO	31 542	33.0	27.2	87.2	ALTA
SAN ANDRES CHOLULA	45 816	12.3	62.8	74.7	BAJA
SAN GABRIEL CHILAC	11 813	31.8	17.6	85.0	MEDIA
SAN MATEO OZOLCO	ND	ND	ND	ND	ND
SAN MARTIN TEXMELUCAN	111 664	ND	6.82	ND	BAJA
SAN PEDRO CHOLULA	89 797	ND	ND	ND	BAJA
SANTA MARIA LA ALTA	ND	ND	ND	ND	ND
SOLTEPEC	10 902	ND	ND	ND	ALTA
TECAMACHALCO	52 757	18.3	21.5	78.3	MEDIA
TEHUACAN	190 416	13.3	15.6	74.9	BAJA
TECALI DE HERRERA	15 601	ND	16.2	ND	MEDIA
TEHUITZINGO	11 967	ND	25.2	ND	ALTA
TEPEXI DE RODRIGUEZ	16 813	ND	37.4	ND	ALTA
TLACOTEPEC DE BENITO JUAREZ	36 605	ND	14.8	ND	ALTA
TOCHTEPEC	16 049	ND	7.31	ND	MEDIA
PUEBLA (Estado)	4 624 365	13.83	20.5	41.3	MUY BAJA
PROMEDIO NACIONAL	93 716 332*	10.6	20.6		

ND: no disponible

* Población Nacional en 1997

ANEXO II

FICHAS DE LEVANTAMIENTO DE DAÑO PARA MONUMENTOS HISTÓRICOS DEL INAH EN PUEBLA



Instituto Nacional de Antropología e Historia
Centro INAH Puebla

DICTAMEN DE DAÑOS SISMO DEL 15 DE JUNIO DE 1999

I. DATOS DEL INMUEBLE

NOMBRE O ADVOCACIÓN DEL INMUEBLE: EX-CONVENTO DE TOCHIMILCO		FECHA: 01 - JULIO - 1999	CLAVE: 021.188.001
UBICACIÓN: CENTRO		TIPO DE ARQUITECTURA: CONVENTUAL	
LOCALIDAD: TOCHIMILCO		SIGLO: XVI (X) XVII () XVIII () XIX () XX ()	
MUNICIPIO: TOCHIMILCO	EDO: PUEBLA	DAÑOS BIENES MUEBLES SI (X) NO ()	
RESPONSABLE Y/O PROPIETARIO: _____			

REGIMEN DE PROPIEDAD:	FEDERAL (X) ESTATAL () MUNICIPAL () CIVIL () PARTICULAR () OTRO: _____
USO: TEMPLO CATOLICO CONVENTO	USO ACTUAL: CONVENTUAL
ESTADO ACTUAL DE CONSERVACIÓN: CON PELIGRO DE ESTABILIDAD	

II. DESCRIPCIÓN

CONJUNTO ARQUITECTÓNICO: TEMPLO DE UNA SOLA NAVE RECTANGULAR DIVIDIDA EN CUATRO CUERPOS CON CUBIERTAS NERVADAS Y RETABLO EN EL PRESBITERIO. EL SOTO CORO PRESENTA LAS MISMAS CARACTERÍSTICAS. EL EXTERIOR PRESENTA UN GRAN ATRIO TIPO CONVENTUAL. DENOTÁNDOSE UNA CAPILLA ABIERTA EN CUYOS ACCESOS SON ARCADAS DE PIEDRA. EL CONVENTO SE PRESENTA EN DOS NIVELES CON CLAUSTRO DE CUYOS CORREDORES DE ARCADAS Y COLUMNAS ACCEDEN A LOS SERVICIOS DE REFECTORIO. BIBLIOTECA. CELDAS Y SALAS CAPITULARES. EN EL CONJUNTO DE LA CIUDAD SE PRESENTA COMO LA IMAGEN DE LA ESTRUCTURA URBANA. SE DENOTA EN EL CONJUNTO UNA CAPILLA DE LA TERCERA ORDEN CUBIERTA CON LOSA PLANA Y VIGUERÍA. MATERIALES Y FÁBRICAS: PISOS, MUROS, ENTREPISOS, CUBIERTAS, OTROS. PISOS DE LADRILLO, PIEDRA Y ESTUCCO; MUROS DE PIEDRA DE LIMOSNA RECUBIERTOS CON ESTUCCO Y EN ALGUNOS SE DENOTA TRABERTINO Y ADOBE; EN LOS PASILLOS Y ELEMENTOS DE ATRIO SE LOCALIZAN COLUMNAS Y ARCADAS DE PIEDRA; LAS CUBIERTAS SON DE BOVEDAS CATALANAS SOPORTADAS POR VIGUERÍA Y BOVEDAS DE CAÑÓN Y LUNETO EN ESTRUCTURA DE PIEDRA Y TABIQUE. EN NAVE SE LOCALIZAN PILARES ADOSADOS DE PIEDRA Y LADRILLO LAS CUALES SOPORTAN ARCADAS Y NERVADURAS DE PIEDRA SOBRE LOS CUALES EXISTEN CUBIERTAS DE BOVEDAS DE TRACERIA Y PAÑUELO EN TABIQUE Y TRABERTINO. EN RETABLOS EXISTEN MADERAS DE SABINO Y OTRAS MADERAS DE LA REGIÓN. LA TORRE DE TERS CUERPOS Y LA ESPADAÑA SON DE PIEDRA CON MORTEROS DE CEMENTANTE. SUELOS: (TIPO) DE TEPETATE, PIEDRA Y COMPACTADO DE ARENA CON RELLENO DE LIMOSNA.
--

III. DIAGNÓSTICO.

ESTRUCTURA: APOYOS AISLADOS Y CORRIDOS. ENTREPISOS. CUBIERTAS. OTROS. ACABADOS: (PISOS, MUROS, PLAFONES). BIENES MUEBLES EL TEMPLO PRESENTA AGRIETAMIENTOS LONGITUDINALES CON TRAYECTORIA ORIENTE - PONIENTE Y CON DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL. EN LA NAVE SE ENCUENTRAN GRIETAS INCLINADAS DESCENDENTES HACIA LOS LUNETOS Y VENTANAS. EL SOTOCORO PRESENTA AGRIETAMIENTOS INCLINADOS A NIVEL DEL TIMPANO DEL MURO PONIENTE; EL CIPRES PRESENTA FISURAS INCLINADAS EN CAPITEL Y PEQUEÑOS DESPRENDIMIENTOS DE MATERIAL. SE ENCUENTRAN GRIETAS Y FISURAS EN CORREDORES, CELDAS, SALA DE PROFUNDIS, REFECTORIO; LAS GRIETAS VAN EN SENTIDO HORIZONTAL, VERTICAL Y DIAGONAL. LA TORRE PRESENTA AGRIETAMIENTOS INCLINADOS AL NIVEL DE CLAVES Y ARCOS DEL TERCER Y CUARTO CUERPO. LA ESPADAÑA SE ENCUENTRA FRACTURADA Y LIGERAMENTE DESPLAZADA AL NIVEL DEL ARCO DE MEDIO PUNTO Y EN SUS SOPORTES, PRESENTA DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL EN SU PARTE INFERIOR; SE OBSERVAN FISURAS EN PRETILES A NIVEL DE LAS GARGOLAS. EL ATRIO EN SUS PORTADAS PRESENTA FISURAS EN CLAVES Y ARRANQUES DE HORNOS. NOTA: ALGUNOS MUROS EN EL CONJUNTO, SE SEPARARON DE LAS LOSAS PROVOCANDO HUNDIMIENTOS DE LOS MISMOS. ESTE INMUEBLE SE ENCUENTRA CATALOGADO Y ES MONUMENTO HISTORICO POR DETERMINACION DE LEY CONFORME A LOS ARTICULOS 35 Y 36 DE LA LEY FEDERAL SOBRE MONUMENTOS Y ZONAS ARQUEOLOGICAS, ARTISTICOS E HISTORICOS, DEL 6 DE MAYO DE 1972.

IV. DICTAMEN

- SE RECOMIENDA QUE EL INMUEBLE NO SE UTILICE EVITANDO LA CERCANIA DE EQUIPO DE SONIDO Y MATERIAL EXPLOSIVO. LA INTERVENCIÓN DEBE SER INMEDIATA REQUIRIENDOSE DE DICTAMEN ESTRUCTURAL POR ESPECIALISTA. ASI COMO UNA ASESORIA ESPECIALIZADA YA QUE ESTA EN RIESGO DE COLAPSO.
- EL TRATAMIENTO GENERAL DE CUBIERTAS DEBERA ELIMINAR ELEMENTOS AJENOS A LA ESTRUCTURA DEL EDIFICIO.
- EN LA LOCALIZACIÓN DE FISURAS Y GRIETAS SE PREPARARA UN RECUBRIMIENTO DE CAL PARA EVITAR QUE NO EXISTAN FILTRACIONES DE AGUA Y DETERMINAR EN LOS ESTUDIOS SU PROFUNDIDAD Y LONGITUD.
- ES NECESARIO EFECTUAR REESTRUCTURACION EN BOVEDAS Y MUROS REINTEGRANDO EL TEJIDO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA Y RESCATAR LOS DESPRENDIMIENTOS DE JUNTAS DE APLANADOS Y PINTURA.
- EN LAS ESTRUCTURAS DAÑADAS Y A PUNTO DE COLAPSO ES NECESARIO EFECTUAR TROQUELAMIENTOS Y APUNTALAMIENTOS PARA DEFINIR UNA ESTABILIDAD EN EL EDIFICIO Y ASI PROCEDER A LA REESTRUCTURACION DEL MISMO.
- POR SU COMPLEJIDAD ES NECESARIO QUE EN FORMA INMEDIATA SE INTERVENGA POR LA CORRESPONSABILIDAD DE PERSONA FISICA, MORAL O CONSTRUCTORA PARA EVITAR PROBLEMAS DE DESESTABILIZACION EN EL EDIFICIO Y CON ELLO CONTAR CON UNA GARANTIA EN SU INTERVENCIÓN. TENIENDO COMO CONCEPTO EN LOS PROCESOS LA EXISTENCIA DE PERITOS EN MATERIA DE CONSOLIDACION, REESTRUCTURACION Y RESTAURACION.

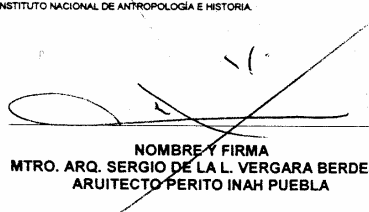
V. DESCRIPCIÓN DE INTERVENCIÓN

PARTIDA:	\$ COSTO
A) CONSOLIDACION, TROQUELAMIENTOS Y APUNTALAMIENTO	\$ 1,500,000.00
B) REESTRUCTURACION DEL EDIFICIO	\$ 3,500,000.00
TOTAL	\$ 5,000,000.00

VI. PROGRAMA DE EJECUCIÓN:

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
EMERGENTE													TRES MESES
INVERSIÓN \$	500	600	400										\$ 1,500,000.00
MEDIANO PLAZO													TRES MESES
INVERSIÓN \$			1000	1500	1000								\$ 3,500,000.00

NOTA: NO SE PODRÁN REALIZAR OBRAS ADICIONALES HASTA CONTAR CON LA AUTORIZACIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA.


 NOMBRE Y FIRMA
 MTRO. ARQ. SERGIO DE LA L. VERGARA BERDEJO
 ARQUITECTO PERITO INAH PUEBLA

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Auvinet, G. (1976). "Puebla, Pue.", Memorias de la VIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Guanajuato, Gto., Vol. 2, pp. 183-210.
- Azomoza, G., Vera, A. y Reyes, L. (1998). "Zonificación geotécnica para el área urbana del valle de Puebla", Memorias de la XIX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Puebla, Pue., Vol. 1, pp. 67-74.
- Chávez-García, F.J., Cuenca, J., Lermo, J. y Mijares, H. (1995). "Seismic microzonation of the city of Puebla, Mexico", Proceedings of the Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Vol. 2, pp. 545-548.
- Departamento del Distrito Federal (DDF, 1987). "Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería", Gaceta Oficial del Departamento del D.F., 28 de septiembre de 1987, 21 pp.
- Departamento del Distrito Federal (DDF, 1996). "Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto", Gaceta Oficial del Departamento del D.F., 25 de marzo de 1996, 68 pp.
- Fundación ICA (1988). "Experiencias derivadas de los sismos de septiembre de 1985", Editorial Limusa, 133 pp.
- Gobierno Constitucional del Estado de Puebla (GCEP, 1994). "Reglamento de construcciones para el municipio de Puebla", Periódico Oficial del Estado de Puebla, 22 de abril de 1994, 182 pp.
- Gutiérrez, C. (1999). Comunicación personal.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y Gobierno del Estado de Puebla (1998). "Anuario estadístico del estado de Puebla".
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y Gobierno del Estado de Puebla (1998). "Anuario estadístico del estado de Oaxaca".
- López, A. (1999). Comunicación personal.
- López, B., Quaas, R., Ruíz, R., Ortega, M., Almora, D. y Vázquez, R. (1999). "Red de Observación Sísmica del CENAPRED. Registros obtenidos durante 1998", Cuaderno de Investigación, CENAPRED, 139 pp.
- Meli, R. (1998). "Ingeniería estructural de los edificios históricos", Fundación ICA, 220 pp.
- Ordaz, M. (1999). Comunicación personal.
- Pestana-Nascimento, J.M, Mendoza, M.J., Mayoral, J.M., Moss, R.E.S., Sancio, R.B., Seed, R.B., Bray, J.D. y Romo, M.P. (1999). "Preliminary report on the geotechnical engineering aspects of the June 15 and June 21, 1999 Mexico earthquakes of the churches", Página electrónica: www.eerc.berkeley.edu.
- Romo, M.P. y Ovando, E. (1995). "Zonificación sísmica y geotécnica. Estado del Arte", Memorias del X Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Guadalajara, Jal., Vol. 4, pp.558-614.
- Ruiz, J., Zepeda, J.A., Alcocer, S.M. y Meli, R. (1994). "Reparación y refuerzo de una estructura tridimensional de mampostería confinada de dos niveles a escala natural", Memorias del IX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, octubre-noviembre, Zacatecas, Zac., Vol. 2, pp. 596-605.
- Singh, S.K., Ordaz, M., Pacheco, J.F., Quaas, R., Alcántara, L., Alcocer, S., Gutiérrez, C., Meli, R., Ovando, E., et al. (1999). "A preliminary report on the Tehuacan, Mexico Earthquake of June 15, 1999 (Mw=7.0)", *Seismological Research Letters*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Roberto Meli los comentarios y revisiones a este informe. Asimismo se reconoce el apoyo de los distintos funcionarios del Sistema Nacional de Protección Civil, ingenieros residentes y personal encargado, en general, que contribuyeron al buen desarrollo de las visitas. En la siguiente lista se tratan de incluir a todos ellos. De antemano una disculpa por las inevitables omisiones.

Ing. Gabriel Maldonado Velázquez; recorrido por el Hospital San Alejandro del IMSS, Puebla
Ing. José Luis Galeazzi Birra; Presidente Municipal, Atlixco, Puebla
Ing. Raúl López; estudio inicial de mecánica de suelos del Hospital San Alejandro del IMSS, Puebla
Ing. Roberto Sánchez Trejo; revisión estructural del Hospital San Alejandro del IMSS, Puebla
Ing. Saúl Cruz Roa; INFONAVIT, México D.F.
Ing. Sergio Martínez Romo; Jefe de Conservación de la Zona 6, Hospital San José del IMSS, Puebla
Ing. Víctor Manuel Méndez Huerta; Jefe de Conservación y Apoyo Operativo de la Zona 7, Hospital de Traumatología y Ortopedia del IMSS, Puebla
Lic. Anselmo Sotelo; Protección Civil del Estado de Morelos
Lic. Jorge Peimenet; Protección Civil del Estado de Morelos
Profr. Guillermo Melgarejo Palafox; Director del Sistema Estatal de Protección Civil, Puebla
Profra. María Luisa Hernández Quiroz; Directora de la Escuela Primaria Rural Federal Miguel Negrete, San Mateo Ozolco, Puebla
Sr. Arturo Tapia Lezama; Coordinador de Bomberos, Atlixco, Puebla
T.L. Carlos Gómez Pérez; Coordinador Municipal de Protección Civil, Atlixco, Puebla



SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN
COORDINACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES
Av. Delfín Madrigal No.665,
Col. Pedregal de Sto. Domingo,
Del. Coyoacán,
México D.F., C.P. 04360
www.cenapred.gob.mx
www.proteccioncivil.gob.mx