



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y  
DOCTORADO EN INGENIERÍA**

**VULNERABILIDAD SÍSMICA EN CHILPANCINGO  
Y LA COLONIA ROMA**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**  
**MAESTRO EN INGENIERÍA**  
**(ESTRUCTURAS)**

**PRESENTA:**  
**EDUARDO ARELLANO MÉNDEZ**

**DIRIGIDA POR:**  
**DR. AMADOR TERÁN GILMORE**

**CIUDAD UNIVERSITARIA.**  
**ABRIL 2005**

M 343349



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, por haberme dado tantas bendiciones, una de las más importantes es la de permitirme llegar a este momento en que mi vida toma un nuevo sentido.

Agradezco a mis padres Isidoro y Lucila, pues me han dado todo lo que he necesitado y más, sobretodo amor y comprensión, me siento orgulloso y agradecido por ser su hijo. A mis hermanos, Evita, Doris, Chilo y Lucy a quienes quiero de una manera muy especial y de quienes recibo siempre palabras de aliento para seguir adelante.

Agradezco Al M.I. Hugón Juárez García, por brindarme su confianza y amistad, porque siempre ha creído en mí, fue con él con quien desarrollé la mayoría de las ideas plasmadas en éste documento, y quien me propuso la idea de realizar este trabajo

Agradezco al Dr. Alonso Gómez Bernal, por el empeño y dedicación brindados para la correcta elaboración de este proyecto, sin su guía y ayuda, este proyecto no sería una realidad.

Agradezco al Dr. Amador Terán Gilmore, por ser mi tutor en el programa de la Maestría en Ingeniería, además ha sido una continua fuente de inspiración para buscar superarme. Gracias por la ayuda desinteresada brindada en el desarrollo de este documento.

Agradezco a mis sinodales: Dr. Alonso Gómez Bernal, Dr. Oscar López Bátiz, Dr. Juventino Carlos Reyes Salinas, M.I. Octavio García Domínguez.

Agradezco al CONACYT quien me otorgó la beca que me permitió estudiar la maestría.

A los profesores del Departamento de Materiales de la UAM, por ser un ejemplo de vida que inspira a seguir su camino.

Esta Tesis se desarrolló dentro de un proyecto de investigación, el cuál comenzó hace varios años a cargo del Dr. Alonso Gómez Bernal y del M.I. Hugón Juárez García quienes han tenido la inquietud de estimar la Vulnerabilidad Sísmica en poblaciones mexicanas. El primer estudio fue conducido por el Dr. Alonso, al determinar la vulnerabilidad de la región de Ometepec Guerrero con un estudiante de la Maestría en Ingeniería Sísmica de la Universidad Autónoma de Guerrero, cuyos resultados se presentaron en el XII CNIS en 1999. Posteriormente, el M.I. Hugón Juárez aplicó el método a la Ciudad de Chilpancingo, en colaboración con el M.C. Andrés Gama García coordinador del programa de posgrado de la UAG, quien con algunos alumnos realizaron un censo de las estructuras en el centro de la ciudad. Al finalizar el censo de las estructuras, me integré en el proyecto al cual pertenezco hasta la fecha. Los resultados del estudio se han ido publicando en diferentes congresos, por ejemplo, en el XIII CNIS en 2001, en el 2002 en el CNIE. En ese periodo de tiempo el M.I. Hugón Juárez y el Dr. Alonso Gómez, proyectaron realizar el estudio de la vulnerabilidad, aplicando las mismas técnicas, a las

estructuras de la Colonia Roma en la Ciudad de México, los primeros resultados se presentaron en el XIV CNIS en 2003, y los resultados más recientes se publicaron en el 2004 en el XIV CNIE.

Agradezco la colaboración a las personas que han intervenido en alguna de las etapas de este estudio, han participado los alumnos de las Maestrías en Ingeniería Sísmica y Construcción de la Universidad Autónoma de Guerrero, los estudiantes de la Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma Metropolitana, en particular el Ing. José Francisco Lara Perea, Ing. Enrique Sánchez Barbosa, Ing. Efrén Mauricio Isidro González, Ing. Héctor Hugo Padilla Valdez, Ing. Eduardo Cruz Mendoza.

Finalmente, deseo mencionar que este trabajo estuvo patrocinado con el presupuesto a proyectos de investigación dentro de la Universidad Autónoma Metropolitana, y específicamente a los proyectos de investigación del área de Estructuras. Agradezco a la UAM-Azcapotzalco, particularmente al Departamento de Materiales por facilitarme todos los recursos que permitieron realizar este proyecto.

# CONTENIDO

## CAPÍTULO I: MÉTODOS PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD

1.1	Introducción.....	1
1.2	La vulnerabilidad sísmica dentro de un estudio de riesgo sísmico.....	1
1.3	Procedimientos para estimar la vulnerabilidad.....	2
1.3.1	Factores que definen la técnica adoptada para la evaluación de la vulnerabilidad..	2
1.3.2	Clasificación de las metodologías.....	3
1.3.3	Métodos empíricos.....	3
1.3.4	Métodos analíticos.....	4
1.3.5	Métodos experimentales.....	4
1.4	Aplicaciones e los métodos descritos.....	4
1.4.1	Métodos de categorización o caracterización.....	4
1.4.1.1	Aplicación del método MSK a Ometepec Guerrero.....	5
1.4.2	Métodos de inspección y puntaje.....	5
1.4.2.1	Aplicación del método italiano de puntaje.....	5
1.4.3	Métodos estadísticos y probabilistas.....	6
1.4.3.1	Aplicación de métodos basados en funciones de vulnerabilidad empíricas.....	6
1.4.4	Métodos simplificados.....	7
1.4.4.1	Aplicación del método simplificado a la Del. Cuahutémoc, DF.....	7
1.5	Estimación de la vulnerabilidad.....	7

## CAPÍTULO II: MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD BASADO EN LA ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA-98

2.1	Introducción.....	9
2.2	Escala Macrosísmica Europea.....	9
2.3	Procedimiento.....	10
2.3.1	Censo.....	10
2.3.1.1	Ubicación Detallada.....	10
2.3.1.2	Información Estructural.....	11
2.3.1.3	Información Fotográfica.....	11
2.3.2	Grados de Daño.....	11
2.3.3	Peligro sísmico.....	13
2.3.4	Cantidad de estructuras afectadas.....	14
2.3.5	Relación entre intensidad y aceleración.....	15
2.3.6	Relación entre las estructuras con las clases de vulnerabilidad.....	16
2.3.7	Vulnerabilidad.....	17
2.3.7.1	Mapas de clase de vulnerabilidad y grado de daño.....	17
2.3.8	Recomendaciones para elaborar un censo.....	17
2.4	Conclusiones.....	18

## CAPÍTULO III: VULNERABILIDAD SÍSMICA DE CHILPANCINGO, GRO.

3.1	Introducción.....	19
-----	-------------------	----

3.2	Definición de la zona de estudio.....	20
3.3	Censo.....	20
3.4	Base de datos.....	23
3.5	Adecuación de la EME-98 a las estructuras de la zona.....	24
3.6	Materiales predominantes.....	26
3.7	Características de las estructuras típicas.....	26
3.7.1	Caracterización de las estructura de mampostería.....	28
3.7.2	Caracterización de las estructuras de adobe.....	31
3.7.3	Caracterización de las estructuras de concreto.....	34
3.7.4	Estructuras típicas de madera.....	36
3.8	Comparación de los datos de la base con el INEGI 2000.....	37
3.9	Vulnerabilidad.....	38
3.10	Intensidad VII.....	39
3.10.1	Distribución del daño por clase de vulnerabilidad para intensidad VII.....	40
3.10.2	Distribución del daño por tipo de material para intensidad VII.....	40
3.10.3	Distribución del daño por el grado alcanzado para intensidad VII.....	40
3.11	Intensidad VIII.....	41
3.11.1	Distribución del daño por clase de vulnerabilidad para intensidad VIII.....	41
3.11.2	Distribución del daño por tipo de material para intensidad VIII.....	41
3.11.3	Distribución del daño por el grado alcanzado para intensidad VIII.....	41
3.12	Intensidad IX.....	42
3.12.1	Distribución del daño por clase de vulnerabilidad para intensidad IX.....	42
3.12.2	Distribución del daño por tipo de material para intensidad IX.....	42
3.12.3	Distribución del daño por el grado alcanzado para intensidad IX.....	42
3.13	Conclusiones.....	43

#### CAPÍTULO IV: VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA COLONIA ROMA, DF.

4.1	Introducción.....	45
4.2	Definición de la zona de estudio.....	45
4.3	Censo.....	47
4.4	Base de datos de la colonia roma.....	48
4.4.1	Formulario de captura.....	48
4.4.2	Mapas para el manejo de la información.....	49
4.4.3	Información estructural.....	49
4.4.4	Seguridad de elementos no estructurales.....	49
4.4.5	Información fotográfica.....	50
4.5	Análisis de la base de datos.....	50
4.5.1	Materiales.....	50
4.5.2	Estructuras de mampostería.....	51
4.5.2.1	Mampostería con refuerzo y ladrillo hueco.....	52
4.5.2.2	Mampostería con refuerzo y ladrillo sólido.....	53
4.5.2.3	Mampostería sin refuerzo.....	53
4.5.3	Estructuras de concreto reforzado.....	54
4.5.3.1	Concreto reforzado.....	54
4.5.3.2	Concreto prefabricado.....	54
4.5.4	Periodo de construcción.....	55

4.6 Mapas de clase de vulnerabilidad y daño actual.....	56
4.6.1 Mapa de clase de vulnerabilidad.....	56
4.6.2 Mapa de grado de daño.....	58
4.6.3 Mapa de clasificación de las estructuras.....	59
4.7 Peligro sísmico.....	60
4.8 Grados de daño ante la intensidad VIII, distribución por material.....	60
4.8.1 Mampostería sin refuerzo.....	61
4.8.2 Mampostería parcialmente reforzada.....	61
4.8.3 Mampostería confinada.....	61
4.8.4 Resumen de la mampostería.....	62
4.8.5 Estructuras de concreto.....	63
4.9 Distribución del daño por tipo de estructura.....	64
4.9.1 Grado mayor o igual a 2.....	64
4.9.2 Grado mayor o igual a 3.....	64
4.9.3 Grado mayor o igual a 4.....	65
4.10 Distribución del daño por clase de vulnerabilidad.....	65
4.10.1 Daño mayor o igual a 2.....	65
4.10.2 Daño mayor o igual a 3.....	65
4.10.3 Daño mayor o igual a 4.....	66
4.11 Conclusiones.....	67

#### APÉNDICE A: PELIGRO SÍSMICO.

A.1 Peligro sísmico en Chilpancingo, Gro.....	69
A.1.1 Peligro sísmico en Chilpancingo.....	70
A.1.1.1 Relaciones de atenuación.....	70
A.1.1.2 Análisis de la respuesta espectral.....	71
A.2 Peligro sísmico en la Ciudad de México.....	73
A.2.1 Antecedentes.....	73
A.2.2 Base de datos de sismos.....	73
A.2.3 Modelo matemático.....	74
A.2.4 Procedimiento.....	75
A.2.5 Resultados.....	76
A.2.6 Análisis espectral.....	77
A.2.7 Espectro de respuesta teórico en la colonia roma.....	77

#### APÉNDICE B: FORMATO PARA REALIZAR UN LEVANTAMIENTO DE DAÑO GENERAL PARA UNA ESTRUCTURA

B.1 Formato.....	79
------------------	----

#### APÉNDICE C: ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA DE INTENSIDADES 1998

C.1 Clasificaciones usadas en la Escala Macrosísmica Europea.....	82
C.2 Clasificación del daño.....	83
C.2.1 Clasificación del daño en estructuras de mampostería.....	83
C.2.2 Clasificación del daño en estructuras de concreto reforzado.....	84

C.3 Definiciones de cantidad.....	85
C.4 Definiciones de grado de intensidad.....	85
C.4.1 Organización de la escala.....	85
C.4.2 Observación preliminar.....	85
C.4.3 Intensidades.....	85

**APÉNDICE D: ADAPTACIÓN DE LAS CLASES DE VULNERABILIDAD DE LA EME-98 A LAS ZONAS DE ESTUDIO**

D.1 Mampostería de piedra.....	88
D.1.1 Piedra bruta o piedra suelta.....	88
D.1.1.1 Modos de falla típicos.....	89
D.1.2 Piedra simple.....	90
D.1.3 Piedras masivas.....	91
D.2 Mampostería de adobe o tabiques de tierra.....	91
D.2.1 Adobe sin refuerzo.....	92
D.2.2 Adobe con refuerzo de concreto.....	93
D.2.3 Bajareque.....	94
D.3 Estructuras con piedras manufacturadas.....	95
D.3.1 Mampostería no reforzada de tabique o block.....	95
D.3.2 No reforzada con muros de tabiques ( o bloques de concreto) y sistema de piso de concreto reforzado.....	96
D.3.3 Tabiques reforzados y mampostería confinada.....	96
D.4 Estructuras de concreto reforzado.....	97
D.4.1 Estructuras de marcos de concreto reforzado.....	97
D.4.2 Estructuras de muros de concreto reforzado.....	98
D.5 Estructuras de acero.....	99
D.6 Estructuras de madera.....	100
 BIBLIOGRAFÍA.....	 102

# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO I: MÉTODOS PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD

Figura 1.1 Diagrama de flujo para un estudio de riesgo sísmico.....	8
---	---

## CAPÍTULO II: MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD BASADO EN LA ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA-98

Figura 2.1 Escala Macrosísmica Europea.....	9
Figura 2.2 Clasificación del daño en estructuras de mampostería.....	12
Figura 2.3 Clasificación del daño en estructuras de concreto reforzado.....	13
Figura 2.4 Definición de Cantidad.....	14

## CAPÍTULO III: VULNERABILIDAD SÍSMICA DE CHILPANCINGO, GRO.

Figura 3.1 Cuenca Balsas-Mezcala.....	19
Figura 3.2 Ubicación de la zona de estudio.....	20
Figura 3.3 Detalle de la zona de estudio.....	21
Figura 3.4 Formatos de captura.....	21
Figura 3.5 Formulario de captura.....	24
Figura 3.6 Clases de vulnerabilidad para Chilpancingo Gro.....	25
Figura 3.7 Mampostería reforzada.....	29
Figura 3.8 Mampostería sin refuerzo.....	29
Figura 3.9 Adobe con refuerzo.....	31
Figura 3.10 Adobe sin refuerzo.....	31
Figura 3.11 Bajareque.....	32
Figura 3.12 Estructuras de concreto reforzado.....	34
Figura 3.13 Estructuras de concreto con sistemas de piso prefabricado.....	34
Figura 3.14 Estructuras de Madera.....	36

## CAPÍTULO IV: VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA COLONIA ROMA, DF.

Figura 4.1. Regionalización sísmica de la República Mexicana tomada de la página del Servicio Sismológico Nacional.....	46
Figura 4.2. Regionalización Geotécnica del valle de México tomada de la página del Servicio Sismológico Nacional.....	46
Figura 4.3. Zona de estudio en la Colonia Roma.....	47
Figura 4.4 Formulario de Captura.....	48
Figura 4.5 Distribución de las estructuras por tipo de material.....	51
Figura 4.6 Mampostería con refuerzo y ladrillo hueco.....	53
Figura 4.7 Mampostería con refuerzo y ladrillo sólido.....	53
Figura 4.8 Mampostería sin refuerzo.....	54
Figura 4.9 Concreto reforzado.....	55
Figura 4.10 Concreto Prefabricado.....	55

Figura 4.11 Características Estructurales Clase de Vulnerabilidad y Grado de daño.....	57
Figura 4.12 Clases de vulnerabilidad.....	58
Figura 4.13 Grados de daño.....	59
Figura 4.14 Distribución de las estructuras por tipo.....	60

#### APÉNDICE A: PELIGRO SÍSMICO.

Figura A.1 Leyes de atenuación para los suelos suaves de la ciudad de Chilpancingo.....	72
Figura A.2 Forma del espectro de respuesta de aceleraciones de Chilpancingo.....	72
Figura A.3. Ordenada espectral máxima en Chilpancingo.....	73
Figura A.4 Ubicación de los terremotos usados empleados.....	75
Figura A.5 Comparación entre el coeficiente b contra la magnitud del momento.....	76
Figura A.6 Espectro de respuesta y Espectro Sintético.....	78

#### APÉNDICE C: ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA DE INTENSIDADES 1998

Figura C.1 Clases de vulnerabilidad empleando la escala Macrosísmica Europea.....	82
Figura C.2 Clasificación del daño en estructuras de mampostería.....	83
Figura C.3 Clasificación del daño en estructuras de concreto reforzado.....	84
Figura C.4 Definiciones de cantidad de las estructuras dañadas.....	85

#### APÉNDICE D: ADAPTACIÓN DE LAS CLASES DE VULNERABILIDAD DE LA EME-98 A LAS ZONAS DE ESTUDIO

Figura D.1 Mampostería de piedra.....	88
Figura D.2 Mampostería de piedra bruta.....	88
Figura D.2 Sistema de piso de viviendas de Piedra y Adobe.....	89
Figura D.4 Flexión fuera del plano.....	89
Figura D.5 Penetración de las viga en el muro.....	90
Figura D.6 Falla por la mala colocación de sistemas de piso de teja.....	90
Figura D.7 Mampostería de piedra escuadrada.....	90
Figura D.8 Mampostería de piedra masiva.....	91
Figura D.9 Mampostería de Adobe.....	92
Figura D.10 Adobe sin refuerzo.....	92
Figura D.11 Adobe reforzado con concreto.....	93
Figura D.12 Adobe con sistema de piso de concreto.....	93
Figura D.13 Bajareque.....	94
Figura D.14 Sistema estructural de construcciones de Bajareque.....	94
Figura D.15 Daño en elementos flexibles.....	95
Figura D.16 Mampostería sin refuerzo con unidades manufacturadas.....	95
Figura D.17 Mampostería Confinada.....	96
Figura D.18 Estructura de concreto reforzado.....	97
Figura D.19 Estructura a base de marcos de concreto.....	98
Figura D.20 Estructura con marcos y muros de concreto.....	99
Figura D.21 Estructura a base de marcos de concreto.....	100
Figura D.22 Estructura de Madera.....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II: MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD BASADO EN LA ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA-98

Tabla 2.1 Clase de vulnerabilidad.....	10
Tabla 2.2 Relación entre Intensidad y Aceleración máxima del suelo.....	15
Tabla 2.3 Relación entre Intensidad y Aceleración máxima del suelo, y distribución del daño por clase de vulnerabilidad.....	16

### CAPÍTULO III: VULNERABILIDAD SÍSMICA DE CHILPANCINGO, GRO.

Tabla 3.1 Datos solicitados en la Información Detallada.....	22
Tabla 3.2 Datos solicitados en la Información Estructural.....	22
Tabla 3.3 Datos incluidos en la información fotográfica.....	22
Tabla 3.4. Parámetros recurrentes en las estructuras de la Base de Datos.....	24
Tabla 3.5 Material predominante en la zona de estudio.....	26
Tabla 3.6 Tipo de Material vs. Estructuración.....	27
Tabla 3.7 Material vs. Sistema de piso.....	27
Tabla 3.8 Material vs. Uso de la estructura.....	27
Tabla 3.9 Material vs. Cimentación.....	28
Tabla 3.10 Material vs. Número de niveles.....	28
Tabla 3.11 Estructuración vs. Refuerzo en Mampostería.....	29
Tabla 3.12 Número de niveles vs. Refuerzo en Mampostería.....	29
Tabla 3.13 Sistema de piso vs. Refuerzo en Mampostería.....	30
Tabla 3.14 Uso por nivel vs. Refuerzo en Mampostería.....	30
Tabla 3.15 Cimentación vs. Refuerzo en Mampostería.....	30
Tabla 3.16 Estructuración vs. Refuerzo en Adobe.....	32
Tabla 3.17 Número de niveles vs. Refuerzo en Adobe.....	32
Tabla 3.18 Sistema de piso vs. Refuerzo en Adobe.....	33
Tabla 3.19 Uso por nivel vs. Refuerzo en Adobe.....	33
Tabla 3.20 Cimentación vs. Refuerzo en Adobe.....	33
Tabla 3.21 Estructuración vs. Refuerzo en Concreto.....	35
Tabla 3.22 Número de niveles vs. Refuerzo en Concreto.....	35
Tabla 3.23 Sistema de piso vs. Refuerzo en Concreto.....	35
Tabla 3.24 Uso por nivel vs. Refuerzo en Concreto.....	36
Tabla 3.25 Cimentación vs. Refuerzo en Concreto.....	36
Tabla 3.26 Tipo de estructura en la Base de datos vs Censo INEGI-2000.....	37
Tabla 3.27 Estructuración en la Base de datos vs Censo INEGI-2000.....	37
Tabla 3.28 Sistema de piso de la Base de datos vs. Censo INEGI-2000.....	38
Tabla 3.29 Clase de vulnerabilidad asignada para las estructuras de la zona de estudio.....	38
Tabla 3.30 Aceleraciones máximas esperadas para cada uno de los escenarios de riesgo.....	39
Tabla 3.31 Número de estructuras dañadas para la intensidad VII de la EME-98.....	40
Tabla 3.32 Número de estructuras dañadas para la intensidad VIII de la EME-98.....	41
Tabla 3.33 Número de estructuras dañadas para la intensidad IX de la EME-98.....	43

## CAPÍTULO IV: VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA COLONIA ROMA, DF.

Tabla 4.1 Características Estructurales.....	50
Tabla 4.2 Distribución de las estructuras por tipo de material.....	51
Tabla 4.3 Estructuras de mampostería con y sin refuerzo.....	52
Tabla 4.4 Estructuras de concreto reforzado.....	55
Tabla 4.5 Clasificación de la estructura vs. Época de construcción.....	56
Tabla 4.6 Clasificación de las estructuras.....	59
Tabla 4.7 Cambio en los grados de daño de la Mampostería sin refuerzo.....	61
Tabla 4.8 Cambio en los grados de daño de la Mampostería parcialmente reforzadas.....	62
Tabla 4.9 Cambio en los grados de daño de la Mampostería confinada.....	62
Tabla 4.10 Resumen del cambio en los grados de daño de la Mampostería.....	63
Tabla 4.11 Cambio en los grados de daño del Concreto Reforzado.....	63
Tabla 4.12 Cambio a grado mayor o igual a 2.....	64
Tabla 4.13 Cambio a grado mayor o igual a 3.....	65
Tabla 4.14 Cambio a grado mayor o igual a 4.....	65
Tabla 4.15 Cambio a grados de daño mayor o igual a 2, distribución por clase.....	66
Tabla 4.16 Cambio a grados de daño mayor o igual a 3, distribución por clase.....	66
Tabla 4.17 Cambio a grados de daño mayor o igual a 4, distribución por clase.....	66

## APÉNDICE C: ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA DE INTENSIDADES 1998

Tabla A.1 Los sismos más destructivos para Chilpancingo.....	69
Tabla A.2 Lista de los sismos empleados para la determinación de la ley de atenuación...	70
Tabla A.3 Base de datos de terremotos.....	74
Tabla A.4 Coeficientes de regresión de la ecuación de atenuación.....	76

## **CAPÍTULO I**

### **MÉTODOS PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN.**

Los ingenieros civiles tenemos como una de nuestras labores principales tratar de ayudar a la sociedad, una manera de hacerlo es la prevención de desastres. México se encuentra situado en un territorio con gran actividad sísmica, dicha actividad ha ocasionado graves daños en sismos pasados; para mitigar estos daños han surgido nuevos reglamentos de construcción, otros fueron modificados y reflejan el estado actual del conocimiento sísmico en la zona. Por otra parte, muchas de las construcciones en nuestro país se realizan sin ninguna asesoría técnica, otras aún cuando hayan sido diseñadas para resistir fuerzas horizontales, se diseñaron con reglamentaciones anteriores; por lo tanto conviene tomar medidas preventivas que reduzcan la probabilidad de que resulten dañadas ante un evento sísmico de importancia.

Conociendo el peligro sísmico inherente de una zona de estudio, se puede determinar la vulnerabilidad de las construcciones existentes ante un escenario de peligro sísmico, luego se puede estimar el riesgo sísmico, es decir determinar la cantidad de construcciones que resultarían dañadas, el número de muertos y el costo para la sociedad si ocurriera cualquiera de los escenarios que esperamos. Una vez que conocemos las implicaciones tanto económicas como de pérdidas humanas, se puede realizar la recomendación a las autoridades para reducir la vulnerabilidad de las construcciones, reparando o reforzando según sea el caso. Además, de orientarlas para que se tomen las medidas preventivas en infraestructura para atender tal contingencia (creación de hospitales y de vías de comunicación).

Una definición de vulnerabilidad puede ser la siguiente: Nivel de daño esperado en las construcciones a consecuencia de un sismo, aunque el concepto de vulnerabilidad puede emplearse no solo para describir aspectos estructurales, también puede emplearse para describir aspectos no estructurales como las funcionales, operativas, etc.

#### **1.2 LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DENTRO DE UN ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO.**

De manera general, un estudio de riesgo, intenta predecir, para una zona de estudio, las consecuencias que traería la ocurrencia de un evento sísmico sobre una población, dichos efectos pueden orientarse a determinar, la cantidad de estructuras dañadas, el número de personas afectadas, el número de muertos, el costo de los daños, etc. Para poder realizar dichas estimaciones, el riesgo sísmico se basa en dos estudios, el de peligro sísmico y el de vulnerabilidad.

El estudio de peligro sísmico, contempla para una zona de estudio, los registros históricos de los sismos que han afectado la zona, las fuentes sísmicas y el tipo de mecanismos de generación, las distancias a dichas fuentes, etc. Estos datos permiten la formación de escenarios de riesgo para cada fuente (mediante leyes de atenuación). Como resultado de un estudio de peligro, se tienen los parámetros relativos al movimiento, es decir para cada escenario se tienen

las aceleraciones máximas del terreno, los espectros de respuesta, el contenido de frecuencias mediante espectros de Fourier, etc.

En un estudio de vulnerabilidad lo que se quiere determinar es la susceptibilidad que tienen las estructuras de la zona de estudio a resultar dañadas cuando sucede un sismo, y caracterizar la respuesta esperada (grados de daño) para valores crecientes del parámetro sísmico, que puede ser la aceleración máxima del terreno, o la intensidad alguno otro.

Cuando tenemos los dos estudios, para determinar el riesgo de la zona, debemos situar a las estructuras de la zona en el escenario sísmico y calcular el número de estructuras dañadas, el grado de daño alcanzado, las personas afectadas, el número de damnificados, los albergues requeridos, el número de muertos, el costo de los daños, etc.

En este trabajo, emplearemos los datos del peligro sísmico calculado para dos zonas que son de interés porque en ambas se presentan amplificaciones del movimiento debido a la presencia de estratos suaves, una es la Colonia Roma, que es una colonia dentro de una gran ciudad, y la otra es Chilpancingo que es una ciudad cercana a la zona de fallas, para ambas poblaciones, se determinará la vulnerabilidad y se hará una estimación sobre los daños estructurales en dicha zona para el escenario de riesgo más desfavorable.

Hay varias formas para determinar la vulnerabilidad de las estructuras, algunas de estas son: el uso de funciones de vulnerabilidad empíricas, métodos simplificados de análisis sísmico, métodos analíticos como el análisis dinámico modal espectral y análisis no lineal de estructuras.

Cada uno de estos métodos ofrece ventajas aunque también presente desventajas, en el caso de los métodos "exactos", que son más precisos, tienen la desventaja de requerir muchos recursos (personal calificado tiempo, recursos computacionales) para determinar la vulnerabilidad de una sola estructura, la ventaja de estos métodos se presenta cuando muchas estructuras tienen las mismas configuraciones estructurales y dimensiones (unidades habitacionales). Los métodos simplificados de análisis tienen la ventaja de poderse aplicar de manera masiva a las estructuras de manera relativamente rápida, la mayor desventaja de estos métodos es que usualmente sólo consideran un parámetro para determinar la vulnerabilidad, (coeficiente sísmico resistente) además deben calibrarse con métodos refinados. Los métodos más eficientes en cuanto a velocidad de calculo son los que utilizan funciones de vulnerabilidad, pues estos requieren menos recursos computacionales, aunque determinar estas funciones requiere de mucho esfuerzo, pero una vez conocida la función calcular la vulnerabilidad para un grupo de estructuras es muy rápido.

### **1.3 PROCEDIMIENTOS PARA ESTIMAR LA VULNERABILIDAD.**

La definición de la naturaleza y alcance del estudio de vulnerabilidad sísmica, está condicionado al tipo de daño que se pretende evaluar y el nivel de peligro existente. Hay diferentes metodologías de evaluación de la vulnerabilidad de las estructuras, cada una con parámetros que permiten definir la acción sísmica y el daño esperado. Algunas metodologías definen la vulnerabilidad en términos relativos (clases e índices de vulnerabilidad), otras en términos absolutos (matrices de probabilidad de daño, funciones de vulnerabilidad y curvas de fragilidad). Las principales diferencias entre las técnicas relativas y absolutas es que las primeras

permiten calificar a las estructuras y determinar la predisposición a sufrir más o menos daño, pero sin estimarlo directamente, las segundas conducen a relaciones explícitas que permiten estimar de manera directa los daños esperados para cualquier nivel de acción sísmica. Además existen variantes que mezclan ambas técnicas.

### **1.3.1 Factores que definen la técnica adoptada para la evaluación de la vulnerabilidad.**

Las técnicas de evaluación de la vulnerabilidad dependen de muchos factores, entre los más importantes tenemos:

- Naturaleza y objetivo del estudio
- Información disponible
- Características del elemento que se desea estudiar.
- Metodología de evaluación empleada
- Resultado esperado
- Destinatario de la información.

La selección de la metodología depende del número de elementos a calcular así como de su complejidad, por ejemplo, el estudio de presas, se basa en métodos deterministas para el cálculo de la vulnerabilidad, mientras que el estudio de las estructuras de un estado se basa en métodos probabilistas. Cuando se desea determinar la vulnerabilidad de un grupo de estructuras en una ciudad o colonia, pueden emplearse métodos deterministas o probabilistas, dependiendo de la cantidad de recursos requeridos en cada caso, si el método para determinarlas características de las estructuras es analítico, entonces puede aplicarse de manera eficiente a zonas donde muchas las estructuras sean iguales como son las unidades habitacionales, mientras que si el método para determinar las características estructurales se hace por categorías (clases de vulnerabilidad), es posible aplicarlo a zonas extensas con estructuras diferentes entre sí, pero con un desempeño sísmico similar de las estructuras de cada categoría.

Cada metodología mide parámetros diferentes, daño en las edificaciones, afectación de sistemas de comunicación, costos de reparación, etc. Además esta información debe elaborarse pensando en el usuario que la va a manejar, es decir, pueden ser las autoridades de protección civil que desean estimar la cantidad de recursos demandados en un sismo (camas de hospital, ambulancias, albergues, etc.), las aseguradoras para fijar las primas o el gobierno, para asignar recursos a planes de contingencia, etc.

### **1.3.2 Clasificación de las metodologías.**

De manera general, se pueden clasificar a las metodologías en tres tipos básicos en función de la fuente de información (Safina, 2002).

- Métodos empíricos
  - a) Categorización (Clases de Vulnerabilidad)
  - b) Inspección y Puntaje (Índice de vulnerabilidad)
  - c) Análisis simplificados
- Métodos Analíticos

- a) Mecánicos
  - Métodos Experimentales

### **1.3.3 Métodos empíricos.**

Se caracterizan por ser subjetivos, están basados en la experiencia sobre el desempeño de diversos tipos de edificaciones durante sismos y la caracterización de deficiencias en la respuesta sísmica. Se usan cuando la disponibilidad de la información es limitada, cuando se esperan datos preliminares, o cuando se desea aplicarlo a zonas extensas. Tienen enfoque poco exigentes y que son muy económicos de implementar. Los métodos empíricos incluyen los métodos de categorización, los de puntaje así como los basados en análisis simplificados.

### **1.3.4 Métodos analíticos.**

Estos métodos evalúan la resistencia estimada de la estructuras ante movimientos del terreno empleando como base, modelos mecánicos de la respuesta estructural, e involucrando como datos, resistencias, rigideces, etc. Constituyen un enfoque muy completo, exigente y costoso. Generalmente son bastante laboriosos y dependen en cierta medida del grado de sofisticación de la evaluación, de la calidad de la información y de la representatividad de los modelos empleados.

### **1.3.5 Métodos experimentales.**

Dichos métodos, recurren a ensayos dinámicos para determinar las propiedades de las estructuras, generalmente se realizan mediante ensayos de campo orientados a determinar las propiedades dinámicas (periodos y formas modales), aunque también pueden elaborarse modelos a escala de la estructura en cuestión y medir la respuesta ante un evento simulado. El método contempla aspectos como la interacción suelo estructura, la participación de los elementos no estructurales en la rigidez de la estructura, la degradación de resistencia por la presencia de grietas, etc., todo esto, para formar modelos simplificados de la estructura y compararlos con los espectros de sitio. En caso de que la estructura se encuentre en el intervalo de aceleraciones altas (coincidencia del periodo con el del terreno) la estructura se considera vulnerable, por lo que deberán emplearse otros métodos (analíticos) que permitan decir si la resistencia suministrada a la estructura es adecuada para las demandas a la que estará sujeta. Aunque sus resultados no siempre son determinantes, permiten en orientar sobre el estado de la edificación y los posibles efectos que los sismos han tenido sobre ella.

## **1.4 APLICACIONES DE LOS MÉTODOS DESCRITOS.**

### **1.4.1 Métodos de categorización o caracterización.**

Clasifican a las edificaciones de acuerdo a tipos o en clases de vulnerabilidad atendiendo a la experiencia (juicio de expertos) sobre el desempeño sísmico que han tenido las estructuras durante sismos intensos. El resultado suele ser subjetivo, por lo que muchas veces se limita a evaluaciones preliminares. Ejemplos de esta metodología son la clasificación de estructuras de

acuerdo a la clase de vulnerabilidad propuesta por la Escala Macrosísmica Europea o EME-98 (Grünthal, 1998) y su antecesora la escala MSK-64

#### *1.4.1.1 Aplicación del Método MSK a Ometepepec Guerrero (Álvarez y Gómez-Bernal, 1999)*

La vulnerabilidad es el grado de daño o pérdida experimentada ante cierta intensidad sísmica, en este caso la intensidad se mide con la escala de Medveder-Sponhever-Karnick (MSK-64). Se deben conocer las intensidades que se presentan en una zona determinada, para hacerlo hay que apoyarse en datos históricos (isosistas), o conocer el peligro sísmico de la zona. Se elabora un inventario de las construcciones existentes (Censo), en este inventario se clasifican las construcciones por el tipo y calidad de la construcción (caracterización de los tipos de estructuras), dicha división se hace en tres tipos, las estructuras tipo A que son casas de piedra, estructuras rurales, casas de adobe (arcilla). Las estructuras Tipo B que son edificios de ladrillo, construcciones con bloques (block), estructuras mixtas (mitad de madera), estructuras de piedra labrada. Y las estructuras Tipo C: Estructuras con marcos de concreto precolado, construcciones de paneles prefabricados, estructuras de madera bien construidas.

Una vez que se tiene el Censo se pueden emplear las tablas de Pinto y otros (1993) para determinar el porcentaje de estructuras dañadas, con la intensidad MSK, estas tablas además de los porcentajes, tienen el grado de daño. Los Grados de Daño que se presentan en las estructuras son cinco, el Grado 0 o Sin daño; el Grado 1: Daño ligero. Grietas finas en el recubrimiento, y caída o desprendimiento de pequeños pedazos de recubrimiento; el Grado 2: Daño Moderado. Pequeñas grietas en muros, caída de pedazos grandes de recubrimiento, grietas en chimeneas, partes de chimeneas se caen; el Grado 3: Daño fuerte o severo. Grietas grandes y profundas en los muros, caída de chimeneas; el Grado 4: Destrucción. Grandes grietas con separación de muros, partes del edificio colapsadas, desconexión de partes del edificio, muros estructurales colapsados.; el Grado 5: Colapso total de edificios. Relacionando los datos del censo con los porcentajes y grado de daño se determina el número de estructuras dañadas, para un escenario de riesgo caracterizado mediante una intensidad de la escala MSK.

#### **1.4.2 Métodos de inspección y puntaje.**

Permiten identificar y caracterizar las posibles deficiencias sísmicas de una edificación, atribuyendo valores numéricos (puntos) a cada componente significativa de la estructura ponderando en función de su importancia relativa, conduce a la determinación de un índice de vulnerabilidad. Aunque éstos métodos son subjetivos, la aplicación a edificaciones de una misma tipología de regiones de sismicidad importante permite una evaluación preeliminar para jerarquizar relativamente el nivel de vulnerabilidad sísmica de cada edificación. En zonas caracterizadas por una moderada sismicidad, estas metodologías pueden considerarse representativas y más aún, suficientes para describir el nivel de daño esperado, sobretodo si se cuenta con funciones de vulnerabilidad apropiadas para la región. Sin embargo, para aquellas edificaciones que evidencien una vulnerabilidad relevante y que son importantes, se recomienda complementar estas técnicas con metodologías analíticas o experimentales.

#### 1.4.2.1 Aplicación del método italiano de puntaje para la determinación del índice de vulnerabilidad (Safina, 2002).

Para la evaluación del riesgo sísmico en edificios el Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti GNDT (Safina, 2002) cuenta con un importante soporte de datos observados sobre daños sísmicos en edificios durante los recientes terremotos ocurridos en Italia. El método permite la evaluación del índice de vulnerabilidad y evaluar los daños por sismo.

Para la evaluación del índice de vulnerabilidad, el método propone un total de 11 parámetros cuya influencia sobre el daño sísmico es determinante. Según la calificación asignada, cada parámetro cuenta con un valor  $K_i$  y un coeficiente de ponderación  $W_i$  que responde a la importancia del parámetro de acuerdo a la calificación de expertos. El índice de vulnerabilidad se normaliza para valores entre 0 y 100 y representa una medida del grado de vulnerabilidad de la edificación. El índice de vulnerabilidad, puede relacionarse con otros indicadores como el índice de daño o el grado de daño obtenidos como consecuencia de un sismo determinado. Estos parámetros dependen del tipo de edificación por ejemplo, para edificios de mampostería no reforzada, cada parámetro se califica en una escala de A hasta D, mientras que para edificios de hormigón armado, cada parámetro se califica en una escala de A hasta C, organizados en forma decreciente, conforme la calidad del parámetro decrezca.

#### 1.4.3. Métodos Estadísticos y probabilistas.

##### 1.4.3.1 Aplicación de métodos basados en funciones de vulnerabilidad empíricas a las estructuras de Guadalajara (Chávez, 1997)

Los métodos estadísticos, se basan en el manejo de la información, pueden emplearse para describir los daños post-sísmicos de un evento, y emplear las estadísticas de dicho evento en la formulación de funciones que definan el comportamiento de las estructuras, hacer pruebas de hipótesis de las variables que se crean relevantes en el comportamiento (resistencias o estructuraciones) y probar su significancia.

Los métodos probabilistas permiten ajustar funciones continuas que describan el comportamiento de una estructura (empleando algunos parámetros estructurales) cuando se varía un dato que describa a un sismo, como puede ser el valor de la aceleración máxima del terreno. Dichas funciones generalmente se calibran con terremotos pasados y con los daños que ocasionaron, de tal manera que ajusten de forma adecuada para el tipo o tipos de estructuras que fueron creadas. Los valores de daño pueden formularse en términos estructurales o económicos, como el costo de reparación esperado.

Se propone utilizar funciones de Vulnerabilidad empíricas que relacionan el nivel de daño experimentado por construcciones de un cierto tipo, con la Intensidad de Mercalli Modificada (IMM). Para una zona de estudio, se determina en primer lugar el peligro sísmico, es decir, las aceleraciones máximas registradas debido a los sismos que han afectado a la zona así como la distancia entre la zona y el epicentro de cada sismo. Posteriormente, se procede a caracterizar el movimiento del suelo partiendo de la profundidad de la roca, la estratigrafía, los periodos del suelo y los factores de amplificación. El tercer paso consiste en caracterizar las estructuras del lugar, dividiéndolas por materiales, tipo de estructuración y subdividiéndolas por edades.

En el caso de las estructuras de Guadalajara, las estructuras se dividieron en tres tipos, Grupo 1 Marcos de concreto armado y muros de relleno; Grupo 2 Muros de ladrillo de lama o Block y castillos de concreto reforzados; Grupo 3 Muros de Block con muy poco refuerzo. Además de que se dividieron en intervalos de edad, Intervalo A, edad < 15 años; el Intervalo B  $15 < \text{Edad} < 45$ ; y el Intervalo C, Edad > 45. Se debe adoptar alguna función de vulnerabilidad, en este caso eligieron la función de Cochrane y Sahaad para relacionar Daño medio vs. IMM. El daño medio queda definido por el cociente de la suma del costo de reparación de las construcciones dañadas entre el costo de reemplazar todas las construcciones de esas características. Se define la superficie dañada como la multiplicación del daño medio por el área construida con ese tipo de construcción. Para determinar la vulnerabilidad total se debe sumar la contribución la superficie dañada para cada tipo de construcción.

#### **1.4.4 Métodos simplificados.**

##### **1.4.4.1 Aplicación del Método Simplificado a la Delegación Cuahutémoc, DF. (Iglesias y otros, 1987).**

El método supone un mecanismo de falla de entrepiso localizado en los elementos verticales muros y columnas aplicable a edificios poco esbeltos, de mediana altura, se supone que la falla en una estructura se origina cuando en un entrepiso se igualan la fuerza cortante actuante y la resistente. Cuando sucede esta condición, se puede despejar el valor del coeficiente de cortante basal, denominado coeficiente de resistencia para cada entrepiso, en el caso de que una estructura se hayan presentado daños estructurales graves, se puede considerar al valor del coeficiente de resistencia como una medida de la intensidad del sismo en el lugar que se encuentra ubicado el edificio. Para obtener la fuerza cortante resistente, se suman las resistencias de los elementos verticales en cada dirección de acuerdo a su rigidez. La resistencia a cortante asociada a cada elemento se determina multiplicando el área bruta por el esfuerzo cortante promedio. Para decir si una estructura es o no vulnerable, se compara el valor del coeficiente sísmico resistente de la estructura con el valor reglamentario y si es mayor, entonces se dice que la estructura no es vulnerable, de lo contrario, si se considera vulnerable y se recomienda su refuerzo.

#### **1.5 ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD**

Una división en el estudio de las vulnerabilidades es el momento en que se determina la vulnerabilidad, si se determina antes de que ocurra un sismo, sirve para tomar medidas de mitigación de daños. El otro momento es después de un sismo, cuando la vulnerabilidad se determina a partir de las estructuras dañadas, en este caso, la vulnerabilidad sirve para explicar por que las estructuras de un material se dañaron y otras no, o por que las estructuras de cierto tipo sólo se dañaron en una zona de la ciudad. De esta manera se pueden definir dos casos:

- **Vulnerabilidad Predefinida:** Se estima en función de las variables que intervienen en el diseño y construcción, las bases del cálculo, los métodos constructivos, los materiales, la mano de obra y la calidad de inspección.

- Vulnerabilidad Observada: Se estima basados en una base estadística de daños causados por terremotos pasados, y al considerar el tipo de suelo, que pueden provocar efectos locales de amplificación.

En el caso de Chilpancingo y la Colonia Roma, se quería aplicar una metodología que permitiera determinar la vulnerabilidad estructural de una zona amplia. La metodología debía ser sencilla, pero a su vez robusta, por ello, se decidió emplear una técnica basada en el juicio de expertos; además, de se debía obtener cantidades de estructuras dañadas así como los patrones de daño probables. Por estas razones optamos por emplear la técnica de categorización, empleando a la Escala Macrosísmica Europea (EME-1998) que clasifica a las estructura por material y clase de vulnerabilidad, el efecto del sismo lo toma mediante la intensidad, el daño lo clasifica mediante grados daño para cada material.

El tipo de estudio que se realiza en este trabajo, es entonces un estudio de vulnerabilidad predefinida, basados en métodos de categorización. En la Figura 1.1 se muestra el diagrama de flujo para llevar a cabo un estudio de riesgo, vamos a seguir los pasos para determinar dicho estudio, pero empleando los resultados sobre el estudio de peligro sísmico publicados por Gómez-Bernal y otros (1999 y 2004).

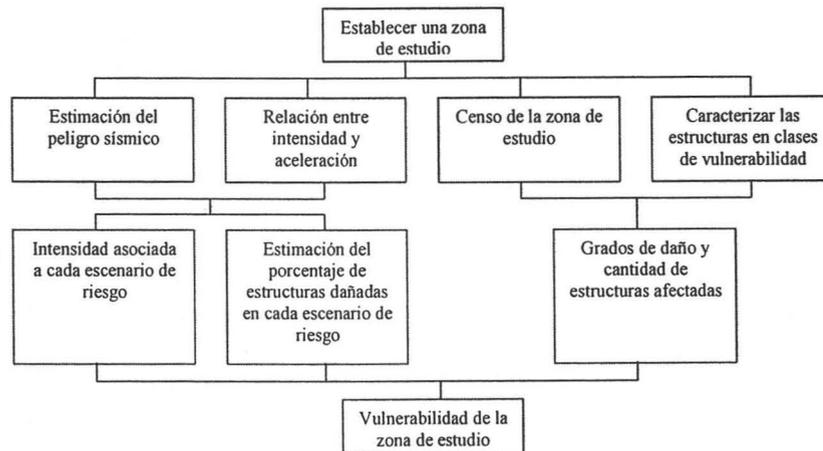


Figura 1.1 Diagrama de flujo para un estudio de riesgo sísmico (Gómez-Bernal y otros, 2004).

## CAPÍTULO II

### MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD BASADO EN LA ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA-98

#### 2.1 INTRODUCCIÓN.

En el capítulo anterior se describen diferentes maneras para determinar la vulnerabilidad sísmica en una zona, el método elegido en esta tesis, es un método indirecto que se basa en la respuesta estructural observada en sismos anteriores. Un grupo de expertos se han dedicado a observar el daño asociado a estructuras de distintos materiales y refuerzos en sismos importantes, y han desarrollado la Escala Macrosísmica Europea que relaciona la intensidad del movimiento con los grados de daño.

#### 2.2 ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA

La Escala Macrosísmica Europea 1998 (EME-98), clasifica a las estructuras por tipo de material y refuerzo empleado (ver la Figura 2.1), el comportamiento ante fuerzas laterales se describe mediante la clase de vulnerabilidad.

Tipo de Estructura	Clase de Vulnerabilidad					
	A	B	C	D	E	F
MAMPOSTERÍA	Cantos rodados, rocas	○				
	Adobe (ladrillo de tierra)	○	—			
	Roca simple	○	—			
	Roca masiva		○	—		
	Sin refuerzo, con unidades de rocas manufacturadas	○	—			
	Sin refuerzo, con pisos de concreto reforzado		○	—		
	Reforzada o confinada		○	—		
CONCRETO REFORZADO	Marco sin diseño sismorresistente (DSR)		○	—		
	Marco con nivel moderato de DSR		○	—		
	Marco con alto nivel de DSR		○	—		
	Muros sin DSR		○	—		
	Muros con moderato nivel de DSR		○	—		
	Muros con alto nivel de DSR		○	—		
ACERO			○	—		
MADERA		○	—			

○ Clase más típica de vulnerabilidad;      — Rango probable;  
 ..... Rango de casos menos probables, casos excepcionales

Figura 2.1 Escala Macrosísmica Europea.

La respuesta sísmica se representa mediante la clase de vulnerabilidad por seis grados (Tabla 2.1), la clase A se asigna a estructuras con materiales de poca resistencia y sin diseño sismorresistente, la clase F se asigna a estructuras que tienen un elevado diseño sismorresistente capaces de resistir grandes aceleraciones con muy poco daño gracias a un detallado dúctil.

Tabla 2.1 Clase de vulnerabilidad.

Clase de Vulnerabilidad	Descripción
A	Muy alta
B	Alta
C	Media
D	Baja
E	Muy baja
F	Casi Nula

## 2.3 PROCEDIMIENTO

La selección de una zona de estudio se realiza de dos maneras, la primera es elegir una zona dónde históricamente se han presentado daños y la segunda es elegir una zona desarrollada recientemente que no haya experimentado movimientos intensos pero que por su importancia sea necesario estimar las pérdidas.

Una vez que se ha identificado la necesidad de realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica se procede a delimitar la zona, puede hacerse en una colonia, en una ciudad o en un municipio, en éste método se debe realizar un censo de las estructuras, por lo que conviene limitar la zona. Los límites pueden establecerse mediante la cantidad de recursos requeridos para elaborar el trabajo o mediante una investigación documental que defina dónde se concentraron los daños en sismos anteriores.

Debe realizarse un censo que permita identificar cada una de las estructuras en un mapa, clasificarlas por tipo de material, estructuración y finalmente por clase de vulnerabilidad. En el censo se incluyen los parámetros estructurales más relevantes así como los datos sobre la ubicación y mantenimiento.

### 2.3.1 Censo

La información del censo puede agruparse en tres categorías principales, Ubicación detallada, Información Estructural e Información Fotográfica. Para recabar dichos datos se desarrolló un formato de captura que puede consultarse en el apéndice B. Una de las ventajas de éste método es que puede aplicarse de forma masiva, por personas capacitadas, no necesariamente sean especialistas como ingenieros civiles, arquitectos o estudiantes avanzados de dichas carreras.

#### 2.3.1.1 Ubicación Detallada.

Incluye los datos de la calle, el número, entre que calles se encuentra, si se encuentra en una esquina, la colonia, el código postal.

### 2.3.1.2 Información Estructural

La Información Estructural incluye los datos más relevantes de una estructura, como son:

- Número de niveles
- Año de la construcción
- Uso de la estructura (detallado por nivel)
- Número de ocupantes o habitantes
- Tipo de estructura o material con el que se construyó la vivienda
- Estructuración
- Sistema de piso empleado
- Tipo de cimentación
- Colindancias
- Posición en la manzana
- Regularidad en planta
- Regularidad vertical
- Daños previos
- Reparaciones anteriores
- Seguridad en elementos no estructurales
- Mantenimiento
- Observaciones.

En las observaciones se sugiere incluir información de problemas visibles en la estructura, como pueden ser grietas, hundimientos, desplomes, presencia de columnas cortas, etc.

### 2.3.1.3 Información fotográfica

Permite mostrar detalles de la vivienda que son difíciles de describir en el formato del censo. Se debe tomar por lo menos una fotografía de cada estructura y en caso de encontrar defectos (grietas o humedades) tomar fotografías de detalles.

El censo puede compararse con la información de otros censos (INEGI) que contengan información estructural, el censo del INEGI de 2000 y de 1990, contienen información útil que puede contrastarse con la de la zona de estudio, pero hay que tener en cuenta que la información recabada por el INEGI no se hizo por personas con una formación técnica.

### 2.3.2 Grados de Daño

En la escala EMS-98 hay cinco grados de daño, el grado de daño uno llamado daño despreciable, es el daño sobre elementos no estructurales; el grado de daño cinco, o destrucción, implica el colapso de las estructuras. Una ventaja al seleccionar a la EME-98 como medida de la intensidad sísmica, es que incluye los patrones de grietas que pueden presentarse en estructuras de concreto y de mampostería.

En la Figura 2.2, se muestra el patrón de grietas en estructuras de mampostería para cada uno de los cinco grados de daño, en la Figura 2.3, se muestra el correspondiente a las estructuras de concreto.

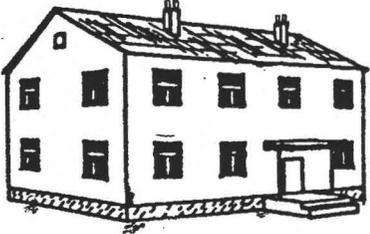
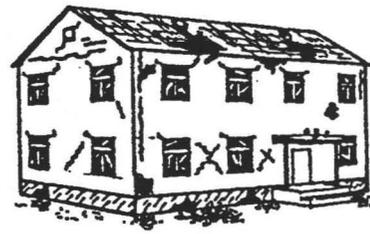
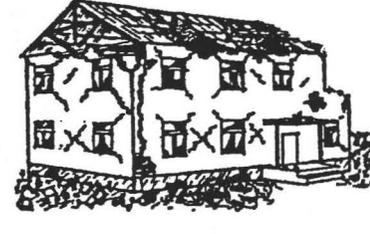
	<p><b>Grado 1: Daños de despreciables a ligeros</b>  <i>(ningún daño estructural, daños no-estructurales ligeros)</i>                  Grietas superficiales en muy pocos muros.                  Caída sólo de pequeños trozos de recubrimiento.                  Caída de piedras sueltas de las partes altas de los edificios en muy pocos casos.</p>
	<p><b>Grado 2: Daños moderados</b>  <i>(daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)</i>                  Grietas en muchos muros.                  Caída de trozos bastante grandes de recubrimiento.                  Colapso parcial de chimeneas.</p>
	<p><b>Grado 3: Daños de importantes a graves</b>  <i>(daños estructurales moderados, daños no-estructurales graves)</i>                  Grietas grandes y generalizadas en la mayoría de los muros.                  Caída de tejas, Fractura de chimeneas por la línea del techo, falla de elementos individuales no-estructurales (muros divisorios y tejados).</p>
	<p><b>Grado 4: Daños muy graves</b>  <i>(daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves)</i>                  Se dañan seriamente los muros; falla estructural parcial de techos y losas.</p>
	<p><b>Grado 5: Destrucción</b>  <i>(daños estructurales muy graves)</i>                  Colapso total o casi total.</p>

Figura 2.2 Clasificación del daño en estructuras de mampostería.

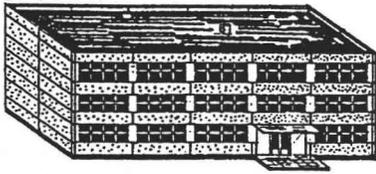
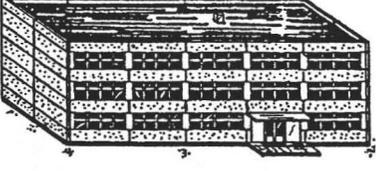
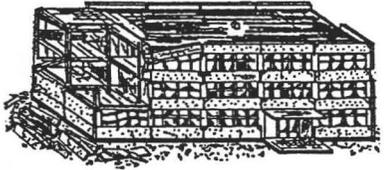
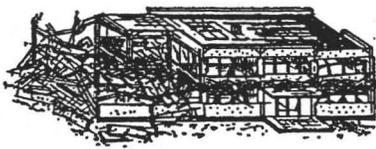
	<p><b>Grado 1: Daños de despreciables a ligeros</b>  <i>(Sin daño estructural, daños no estructurales ligeros)</i>                  Grietas finas en el recubrimiento de marcos o en la base de los muros.                  Grietas finas en tabiques y muros divisorios.</p>
	<p><b>Grado 2: Daños moderados</b>  <i>(daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)</i>                  Grietas en vigas y columnas de marcos y en muros estructurales.                  Grietas en tabiques y muros divisorios; caída del recubrimiento y revestimientos frágiles. Caída del mortero en las uniones de muros prefabricados.</p>
	<p><b>Grado 3: Daños de importantes a graves</b>  <i>(daños estructurales moderados, daños no-estructurales graves)</i>                  Grietas en las uniones de vigas y columnas; en la base de los marcos y en las uniones de los muros acoplados.                  Desconchamiento del recubrimiento del concreto, pandeo de las varillas de refuerzo.                  Grandes grietas en tabiques y muros divisorios; falla individual de muros prefabricados divisorios.</p>
	<p><b>Grado 4: Daños muy graves</b>  <i>(daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves)</i>                  Grandes grietas en elementos estructurales con falla en compresión del concreto y fractura de las barras de refuerzo; ruptura de la unión viga columna, inclinación de columnas.                  Colapso de algunas columnas o colapso individual de un piso superior.</p>
	<p><b>Grado 5: Destrucción</b>  <i>(daños estructurales muy graves)</i>                  Colapso de la planta baja o de partes del edificio (por ejemplo alas).</p>

Figura 2.3 Clasificación del daño en estructuras de concreto reforzado.

### 2.3.3 Peligro Sísmico

Para determinar el peligro sísmico de la zona, en primer lugar debe conocerse la historia sísmica, se requiere conocer la magnitud y ubicación de los sismos así como los mapas de intensidades; en sismos recientes, se cuenta, además con registros de sismos

intensos. Los sismos se clasifican por el mecanismo de falla que los origina y por su magnitud. Se realizan regresiones que permitan establecer leyes de atenuación para la aceleración máxima, en ocasiones deben realizarse correcciones para representar las condiciones locales del terreno cuando no se cuenta con registros que representen el comportamiento de la zona de estudio.

A partir de los registros clasificados por magnitud, se realizan regresiones para determinar el espectro de respuesta del sitio, generalmente se observa que los sismos de magnitud baja tienen sus máximos en periodos cortos y que los sismos de mayor magnitud, tienen los máximos en periodos más altos (Gómez-Bernal y otros, 2004). Con leyes de atenuación para cada mecanismo sismogénico, se plantean los posibles escenarios de riesgo y sus correspondientes aceleraciones máximas.

### 2.3.4 Cantidad de estructuras afectadas

Las definiciones de cantidad de estructuras dañadas en la EME se hacen de manera subjetiva (ver Figura 2.4), es decir, los intervalos de los porcentajes de daño son descriptivos, “pocos”, “muchos” y “la mayoría”, dichos intervalos tienen una forma gráfica, pero pueden convertirse a valores numéricos, sin embargo, en los límites hay superposición en los valores, esta condición fue promovida por los creadores de la escala, para darle robustez. Cuando se emplean los porcentajes de estructuras dañadas así como el grado de daño, para asignar la intensidad a una población después de un movimiento sísmico, influye la experiencia de quien use la escala para asignar la intensidad, y se aprecia la flexibilidad para no tener que pasar a una intensidad mayor por haber rebasado ligeramente los límites del intervalo; el que se superen los intervalos, puede indicar problemas locales ya sea en la calidad de los materiales de las estructuras o en los efectos locales del suelo.

Cuando la escala se emplea para tratar de predecir el comportamiento de las estructuras ante un escenario de riesgo, los porcentajes de daño pueden alterarse debido a la presencia de daño actual: Sí un grupo de estructuras perteneciente a una clase de vulnerabilidad presenta daños actualmente, cuando ocurra un sismo, que induzca una intensidad determinada mediante una aceleración máxima del terreno, el porcentaje de daño registrado será mayor en ese grupo de estructuras con daño previo que el grupo de estructuras sanas, el grado de daño máximo, puede ser superior al esperado por la escala, porque en la escala los parámetros se han desarrollado de pasar de una condición de sana a una condición dañada. Es por ello que los porcentajes pueden diferir, pero se debe justificar la alteración en los porcentajes esperados.

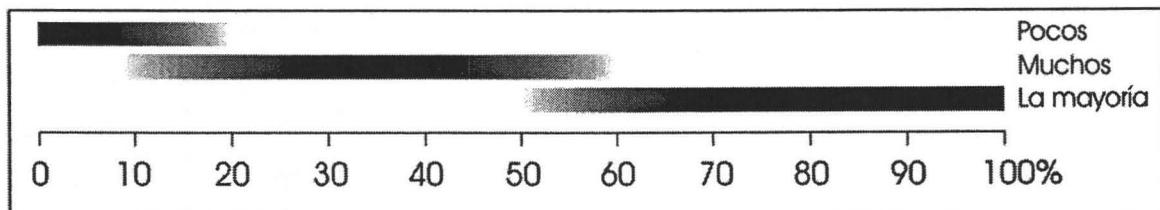


Figura 2.4 Definición de Cantidad.

El número de estructuras dañadas se obtiene al multiplicar el número de estructuras de cada clase, por el porcentajes de daño esperado y realizar la suma. La distribución espacial del daño, puede realizarse tomando en cuenta el espectro de respuesta de la zona de estudio y estimando el periodo de las estructuras, así las estructuras con periodos cercanos al del suelo serán las que sufran más daño y la distribución espacial se realiza ubicando a cada estructura en el plano correspondiente, esto es directo cuando las características dinámicas del suelo en la zona de estudio pueden considerarse constantes, de lo contrario (en una zona muy grande) deben establecerse distintos espectros de respuesta de acuerdo con las características dinámicas del suelo y realizar el procedimiento descrito considerando dichas diferencias.

### 2.3.5 Relación entre intensidad y aceleración

Existen varios autores que proponen relaciones entre intensidad y aceleración máxima del terreno (relación que cambia para cada lugar), pocos de ellos hacen referencia a la intensidad medida con la Escala Macrosísmica Europea, por ser de reciente creación, se hizo en 1992 y se actualizó en 1998. Se requiere de ésta relación para poder estimar la intensidad a partir los escenarios de peligro sísmico, Münchener en 1998 propuso una relación para la aceleración máxima del terreno y la EMS-92 (ver Tabla 2.2) que es la que empleamos en este trabajo. La mayoría de los autores que han propuestos relaciones entre aceleración máxima del terreno e intensidad, lo han hecho basados en la Escala de Mercalli Modificada (EMM). La EME y la EMM tienen características similares, para empezar, ambas tienen 12 grados de intensidad, las dos se basan en los efectos sobre las personas, objetos, la naturaleza y los daños en los edificios, sin embargo, las aceleraciones con las que se relacionan los grados de la EME y la EMM no son iguales, además, conviene seleccionar la relación entre intensidad y aceleración máxima del terreno que se haya realiza con un mecanismo similar a de la zona de estudio.

Tabla 2.2 Relación entre Intensidad y Aceleración máxima del suelo

Escala Sismicas de intensidades					
MM 1956	En términos descriptivos	Aceleración % g	EMS 1992	RF 1883	JMA 1951
I	Imperceptible	< 0.1	II	II	I
II	Muy Suave	0.1 - 0.2	III	III	
III	Suave	0.2 - 0.5		IV	
IV	Moderado	0.5 - 1	IV	IV	II
V	Poco Fuerte	1 - 2		V	V
VI	Fuerte	2 - 5	VI	VI	IV
VII	Muy Fuerte	5 - 10		VII	
VIII	Destructivo	10 - 20	VII	VIII	V
IX	Devastador	20 - 50		VIII	
X	Aniquilador	50 - 100 (=1g)	IX	IX	VI
XI	Desastre	1 - 2 g			
XII	Desastre Mayor	> 2 g	XI	X	VII
			XII		

RF 1883 Rossi Forel  
MM 1956 Mercalli Modificada  
JMA 1951 Agencia Meteorológica de Japón  
EME 1992 Escala Macrosísmica Europea  
(Mejarada de la Medwedew Sponheuer Karnik 1964)

En la escala EME-98 se definen las cantidades de estructuras dañadas de forma gráfica, sin embargo, en la Tabla 2.3, se muestra la relación entre la aceleración máxima del terreno y la intensidad, para cada intensidad, y para todas las clases de vulnerabilidad, se muestra el grado de daño alcanzado, la última columna de la tabla, relaciona la aceleración máxima del terreno con los grados de intensidad propuesta por Münchener en 1998, se han tratado de ajustar lo mejor posible las aceleraciones para cada intensidad.

Tabla 2.3 Relación entre Intensidad y Aceleración máxima del suelo, y distribución del daño por clase de vulnerabilidad.

EMS	Definición	Daño												Acel. % g
		A		B		C		D		E		F		
		Grado	%	Grado	%	Grado	%	Grado	%	Grado	%	Grado	%	
I	No sentido													<0.1
II	Apenas sentido													<0.16
III	Débil													0.16-0.46
IV	Ampliamente Observado													0.46-1.4
V	Fuerte	1	0-15	1	0-15									1.4-3.8
VI	Levemente Dañino	1	15-55	1	15-55	1	0-15							3.8-7
		2	0-15	2	0-15									
VII	Dañino	3	15-55	2	15-55	2	0-15	1	0-15					7-16.5
		4	0-15	3	0-15									
VIII	Gravemente dañino	4	15-55	3	15-55	2	15-55	2	0-15					16.5-43
		5	0-15	4	0-15	3	0-15							
IX	Destructor	5	15-55	4	15-55	3	15-55	2	15-55	2	0-15			43-79.6
				5	0-15	4	0-15	3	0-15					
X	Muy destructor	5	55-100	5	15-55	4	15-55	3	15-55	2	15-55	2	0-15	79.6-136
						5	0-15	4	0-15	3	0-15	2	0-15	
XI	Devastador			5	55-100	4	55-100	4	15-55	3	15-55	2	15-55	136-200
						5	15-55	5	0-15	4	0-15	3	0-15	
XII	Completamente devastador	Destr.	100	Destr.	100	Destr. casi	100	Destr.	55-100	Destr.	55-100	Destr.	55-100	>200

### 2.3.6 Relación entre estructuras y clases de vulnerabilidad

La EME-98 relaciona a las estructuras por tipo de material y grado de refuerzo mediante las clases de vulnerabilidad. También establece las bases para asignar las clases de vulnerabilidad (Grünthal, 1998). Esta información resulta muy útil, pues al comparar las características de las estructuras que dieron origen a la EME, se observan diferencias importantes con las estructuras en estudio, por ello, las clases de vulnerabilidad de la escala se adaptan empleando el comportamiento esperado de las estructuras.

Las estructuras de la EME son los sistemas estructurales europeos, aunque se incluyen sistemas empleados en otras partes del mundo, ya que la escala se realizó analizando el comportamiento de las estructuras a nivel mundial. Algunos sistemas son muy distintos a los mexicanos, como las construcciones de madera, que en Europa son estructuras realizadas con criterios ingenieriles a las que se les proporciona tratamientos contra el fuego e insectos, mientras que en México, las estructuras de madera, generalmente las poseen personas de escasos recursos, realizadas de forma artesanal y por procedimientos de de autoconstrucción. Las estructuras de madera en la en la escala original tienen una clase similar a las estructuras de mampostería confinada, debido a su flexibilidad que les permite enfrentar los sismo casi sin sufrir daño, mientras que las realidad de las estructuras de madera en México es que se comportan como la mampostería no reforzada, es decir,

tienen una vulnerabilidad Alta. Diferencias como ésta indican la necesidad de adaptar las estructuras de la EME para que representen adecuadamente el comportamiento de las estructuras en la zona de estudio. En el Apéndice A pueden verse las consideraciones tomadas para adaptar las clases de vulnerabilidad a Chilpancingo y la Colonia Roma.

### **2.3.7 Vulnerabilidad**

Para cada escenario de peligro sísmico, se tiene la aceleración máxima esperada en el terreno; con la relación entre intensidad y aceleración máxima del terreno, puede determinarse la intensidad esperada para cada escenario del peligro sísmico. La EME-98 proporciona para cada Intensidad y clase de vulnerabilidad, el porcentaje de estructuras que alcanzarán un grado de daño. De esa manera, para cada escenario del peligro sísmico, habrá un porcentaje del grado de daño, asignado a las clases de vulnerabilidad.

Para determinar la vulnerabilidad, las estructuras se dividen en tipo de material, a cada estructura censada, se le asigna una clase de vulnerabilidad basados en las características estructurales. Además, se determina si existe daño en la estructura y de que grado es, este dato, permite modificar el porcentaje de daño esperado, pues una estructura dañada, alcanzará un grado de daño mayor que una estructura sana. Para cada escenario de peligro sísmico, se obtendrá el incremento en el grado de daño en cada clase de vulnerabilidad, es decir al determinar la vulnerabilidad, pasaremos de daño actual a daño esperado, los patrones de daño nos indicarán el estado de las estructuras después del sismo, la posibilidad de reparar el daño y nos una idea aproximada de los servicios de emergencia requeridos para atender a la población.

#### *2.3.7.1 Mapas de clase de vulnerabilidad y grado de daño*

La información del censo y los resultados obtenidos, se manejan de una manera muy eficiente, cuando se hace a través de mapas, se pueden realizar una serie de mapas por tipo de material, por clase de vulnerabilidad actual, grado de daño actual y grado de daño esperado para cada uno de los escenarios de riesgo, esta información en manos de los encargados de los servicios de emergencia, protección civil o su similar, permite enviar los recursos adecuados para esa zona, inclusive por dirección a los lugares más afectados. Con éstos mapas se conforma un Atlas de Riesgo Sísmico para una zona, también pueden manejarse de forma digital con mapas de riesgo de inundaciones, hundimientos, incendios, etc.

Por medio de los mapas digitales se puede superponer la información, por ejemplo, pueden establecerse correlaciones entre el daño, la intensidad, el periodo de las estructuras con las curvas de aceleraciones del suelo.

### **2.3.8 Recomendaciones para elaborar un Censo.**

Para realizar un censo, se debe contar con un mapa detallado de la zona en estudio, llevar un control independiente de los expedientes por brigada, contar con grabadoras de

mano para hacer anotaciones respecto a los detalles importantes de la vivienda cuando estos no puedan ser almacenados en el formato del Censo, mencionar las estructuras que puedan requerir de una nueva visita para realizar estudios más detallados (cuando las condiciones de la estructura puedan poner en riesgo la integridad de sus ocupantes) así como especificar el número de fotografías, rollo, etc. de cada vivienda censada. Hay que emplear un índice sobre la confiabilidad de la información que refleje la certeza de los datos o si es que fueron supuestos por los encuestadores basados en las características exteriores y de las edificaciones vecinas, además conviene anotar la disponibilidad de los dueños para realizar nuevas visitas para ampliar los datos. Como los datos del censo, podrían emplearse para evaluar la capacidad sísmica de Nivel 1 de acuerdo con el Manual propuesto por la Secretaría General de Obras del Gobierno del DF (DDF, 1986), por ello, deben tomarse los datos de regularidad en rigidez y elevación, así como la presencia de entrantes y salientes en la estructura.

## 2.4 CONCLUSIONES

Se tienen que adaptar las clases de vulnerabilidad de la EME-98 para que representen las estructuras de las mexicanas, deben plantearse relaciones entre aceleración máxima del terreno e intensidad EME para poder relacionar el grado de daño con el sismo, además, deben definirse tablas de grados de daño que tomen en cuenta el grado de daño actual.

Hay que generar mapas para mostrar la distribución de las estructuras, los daños actuales y los estimados en sismos futuros. El conjunto de mapas formará un atlas de riesgo, dónde se muestren cuales pueden ser las zonas más afectadas.

Debe tenerse mucho control sobre los datos, para evitar en lo posible regresar por información dudosa o faltante.

## CAPÍTULO III VULNERABILIDAD SÍSMICA DE CHILPANCINGO, GRO.

### 3.1 INTRODUCCIÓN.

La ciudad de Chilpancingo es una de las ciudades con mayor riesgo sísmico en México y en el mundo, debido a la corta distancia entre la ciudad y la zona de ruptura de la mayoría de los temblores de subducción que se generan en el estado de Guerrero, otra de las razones importantes es que Chilpancingo se encuentra asentada en un valle, de acuerdo a las características estratigráficas y geológicas del valle, se producen amplificaciones importantes del movimiento del terreno.

La ciudad de Chilpancingo, está localizada en la latitud 15° N y longitud 99.5° W, se asienta sobre un valle que se localiza en la provincia fisiográfica denominada Cuenca Balsas-Mezcala perteneciente a la Sierra Madre del Sur, en la Figura 3.1 puede verse el mapa de la cuenca hecho por Figueroa en 1959. De acuerdo a las características estratigráficas y geológicas del valle, se producen amplificaciones importantes del movimiento en el terreno (Gómez-Bernal y otros, 1999).

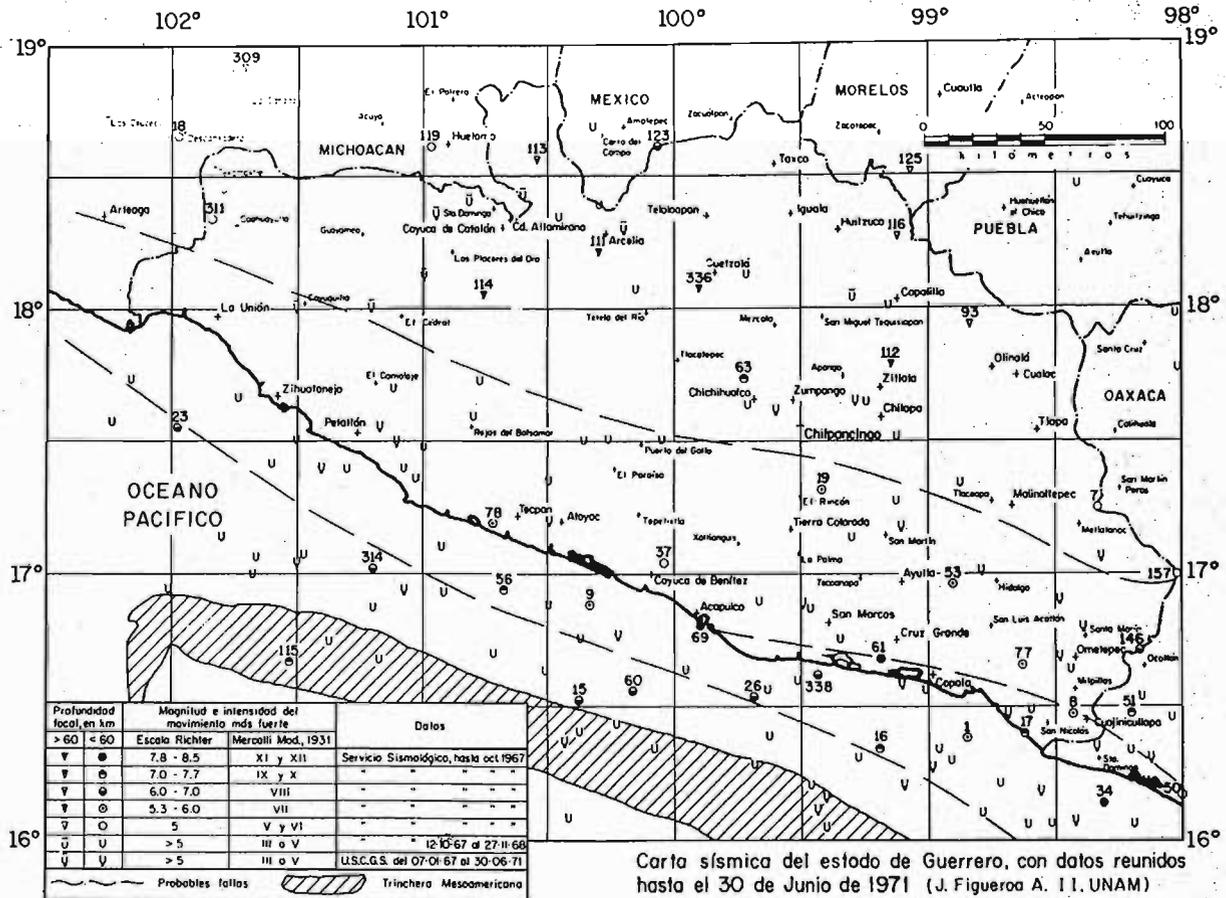


Figura 3.1 Cuenca Balsas-Mezcala

En los sismos de 1907, 1957 y 1985, las construcciones sufrieron daños serios, presentaron colapsos parciales y totales, edificios públicos se dañaron; esto indica la necesidad de elaborar un estudio de riesgo sísmico. Por estas razones y por lo expuesto antes, referentes al peligro sísmico, se decidió elaborar un estudio de vulnerabilidad de Chilpancingo.

### 3.2 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

De acuerdo con lo establecido en el Capítulo 2, primero se debe delimitar la zona de estudio. En la Figura 3.2 se muestra la ciudad de Chilpancingo, la zona de estudio, que está achurada, se observa que ésta zona se ubica a un costado del río Huacapa mostrado en línea gruesa, en el lado derecho del río la densidad de población es mayor, hay muchas casas y comercios, en cambio, del lado izquierdo, se encuentran pocas estructuras, se observan algunos campos de cultivo, poco poblados, es por ellos, que en esa margen del río se decidió no incluirla. Las estructuras estudiadas pertenecen a la Colonia Centro de Chilpancingo Gro.

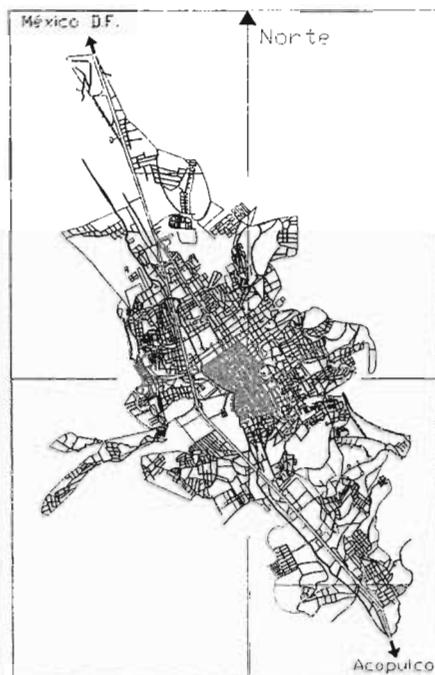


Figura 3.2 Ubicación de la zona de estudio.

### 3.3 CENSO

Para realizar el censo, fue necesario dividir la zona de estudio, dado que había 5 brigadas de alumnos, la zona se dividió en 5 partes, la brigada azul con 11 manzanas representada en la figura por las líneas verticales, la rosa con 15 manzanas representada por las líneas horizontales, la naranja con 20 manzanas representada por los rombos, la amarilla con 19 manzanas representada de forma maciza y la verde con 12 manzanas representada por las cruces, en total son 77 manzanas, de diferente tamaño como se observa en la Figura 3.3

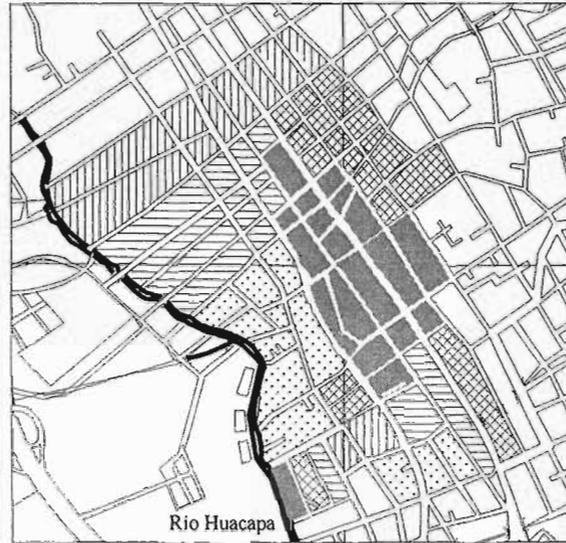


Figura 3.3 Detalle de la zona de estudio

En la elaboración del censo, se utilizaron diferentes formatos de captura, uno por cada brigada (ver Figura 3.4), sin embargo, cada tipo incluía los datos necesarios para llenar un expediente de la estructura. Los parámetros de la Ubicación detallada, se muestran en la Tabla 3.1, los datos solicitados para recabar la Información Estructural se muestran en la Tabla 3.2, las observaciones se hicieron de forma libre, pero tratando de que aportara información relevante de mantenimiento, separación entre estructuras y errores estructurales; la Información Fotográfica de interés se muestra en la Tabla 3.3.

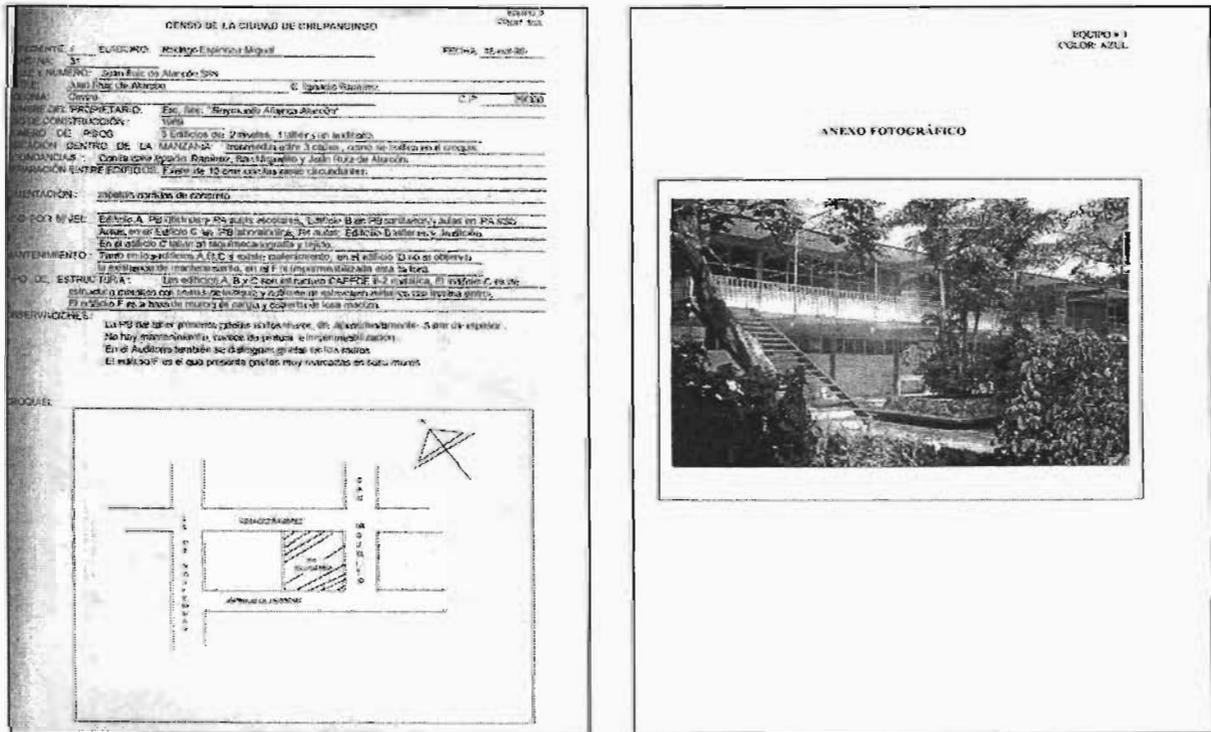


Figura 3.4 Formatos de captura

Tabla 3.1 Datos solicitados en la Información Detallada

Calle y número
Entre la calle y la calle
Colonia
Código Postal
Ubicación dentro de la manzana

Tabla 3.2 Datos solicitados en la Información Estructural

Número de pisos
Año de construcción
Uso de la estructura por nivel
Tipo de estructura
Estructuración
Sistema de piso empleado
Tipo de cimentación
Colindancias

Tabla 3.3 Datos incluidos en la información fotográfica.

Fotografía de la estructura completa
Detalles de la estructura
Grietas
Mantenimiento
Desplome
Humedades

En este censo no se tomaron algunos datos, como los datos de regularidad en planta y elevación, daños previos por sismos, reparaciones, seguridad de elementos no estructurales. En el parámetro de ubicación dentro de la manzana, se describen los datos a partir de ejes cardinales (Norte, Sur, etc.) orientando a la manzana de forma aproximada, y las colindancias se hacen tomando en cuenta la manzana ya orientada, es decir algunas estructuras tendrán sus colindancias al norte y al sur y otras las tendrán al oriente y al poniente.

A pesar de que la zona de estudio, se dividió por manzanas, no se creyó útil tener un parámetro que definiera a cual manzana pertenecía la estructura y por lo tanto, sólo se cuenta con el número de expediente de manera consecutiva.

El censo lo realizaron estudiantes de maestría en ingeniería sísmica y construcción de la Universidad Autónoma de Guerrero, todos ellos ingenieros civiles, por lo que la información se considera confiable, sin embargo siempre existen parámetros de incertidumbre debido a que las personas entrevistadas, en ocasiones no quisieron proporcionar la información respectiva, o no se pudo entrevistar a nadie y el expediente se elaboró tomando en cuenta lo que se podía ver de la estructura y apoyados en los patrones estructurales de las viviendas vecinas, pero en general, se trató que la información fuera lo más confiable posible.

Un parámetro que no se incluyó pero que es importante para realizar inferencias estadísticas con los datos de la zona de estudio a toda la ciudad, es la calificación por el propio encuestador sobre la calidad de los datos recabados, poniendo niveles de confiabilidad 1 (confiables) y 0 (supuestos).

Es conveniente mencionar que en la obtención de la información con frecuencia se presentaban dificultades, sobre todo cuando las estructuras eran viejas; ya que muchas veces las personas que las habitaban no eran los dueños originales y desconocían datos como el tipo de material en los muros, tipo de cimentación, etc., además de que por las características propias de la construcción no se tenía acceso a dicha información, en algunos lugares incluso sin la entrevista a los dueños podía llenarse el expediente, ya que la cimentación estaba al descubierto, y los muros sin recubrimiento, y se notaban las dalas y castillos así como el sistema de piso.

### 3.4 BASE DE DATOS

Para el manejo de la información, se decidió elaborar una base de datos en Microsoft® Access, el programa maneja la información por medio de tablas que pueden visualizarse mediante formularios, para Chilpancingo elaboramos un formulario de captura que se muestra en la Figura 3.5, el formulario es sencillo pero resume la información más importante de las estructuras. En este programa pueden realizarse consultas, que permitan agrupar la información para cada parámetro de interés; también pueden elaborarse consultas de referencia cruzada, éstas permiten relacionar dos parámetros y observar como se relacionan. El formulario cuenta con menús desplegables en que se muestran todas las opciones posibles y a los que pueden añadirse nuevos valores en caso de encontrar características diferentes no contempladas. En el formulario no se incluyó la información fotográfica, aunque todas las fotografías se encuentran almacenadas en los archivos pertenecientes a la Universidad Autónoma Metropolitana, actualmente en papel y en formato digital.

Hay algunos tipos de estructuras que podrían despreciarse debido a su baja proporción respecto al total, sin embargo, excluirlas puede ser un error debido a su importancia social o a su valor histórico. El caso de las estructuras de acero, es el mejor ejemplo pues representan menos del 1% de las estructuras, sin embargo, son estructuras de varios niveles, destinadas a oficinas y albergan una población numerosa, por lo que excluirlas sería un error.

Los parámetros detallados que predominaron en las construcciones censadas, se muestran en la Tabla 3.4. En la base de datos buscaron patrones en los datos que indicaran la posibilidad de agrupar las estructuras con características estructurales similares como material, estructuración, etc.; a este proceso se le conoce como caracterización de las estructuras. En el censo los materiales de construcción predominantes, fueron el adobe, y la mampostería aunque también existen estructuras de concreto y acero.

Expediente Número	<input type="text"/>		
Calle y número	<input type="text" value="Juan Ruiz de Alarcón S/N"/>	Entre	<input type="text" value="Ignacio Ramírez"/> y <input type="text" value="Juan Ruiz de Alarcón"/>
Colonia	<input type="text" value="Centro"/>	CP	<input type="text" value="39000"/>
		Ubicación en la manzana	<input type="text" value="Norte"/>
		Uso por nivel	<input type="text" value="Servicio comunitario"/>
Número de pisos	<input type="text" value="2"/>	Tipo de estructura	<input type="text" value="Mampostería con refuerzo"/>
Año de construcción	<input type="text" value="1969"/>	Estructuración	<input type="text" value="Mixta"/>
Colindancias	<input type="text" value="NTE: Casa 1 nivel"/>	Sistema de piso	<input type="text" value="Losas macizas"/>
		Cimentación	<input type="text" value="Zapatas corridas"/>
Observaciones	<input type="text" value="La PB del taller presenta grietas en los muros, de aproximadamente 3 mm, de espesor. No hay mantenimiento, carece de pintura e impermeabilización. En el edificio F presenta grietas más marcadas."/>		

Figura 3.5 Formulario de captura

Tabla 3.4. Parámetros recurrentes en las estructuras de la Base de Datos.

Uso por nivel	Tipo de estructura	Estructuración	Sistema de piso	Cimentación
Casa habitación	Acero	Bajareque	Lámina	Cajón
Estacionamiento	Adobe con refuerzo	Losas macizas	Losas macizas	Mampostería de adobe
Planta baja comercial, pisos superiores habitacionales	Adobe sin refuerzo	Losas reticulares	Losas reticulares	Mampostería de piedra
Planta baja comercio y habitación	Concreto prefabricado	Marcos	Madera y teja	Pilotes de punta
Servicio comunitario	Concreto reforzado	Marcos y muros de carga	Otros	Polines enterrados en el suelo
Servicio particular comercio	Mampostería con refuerzo	Mixta	Sin techo	Sin cimentación
Servicio público	Mampostería sin refuerzo	Muros de carga	Vigueta y bovedilla	Zapatas aisladas
Terreno baldío	Otros	Muros de concreto		Zapatas aisladas más piedra
		Muros de madera		Zapatas corridas
		Sin estructura		
		Sistema de techo de madera		
		Vigueta y bovedilla		

### 3.5 ADECUACIÓN DE LA EME-98 A LAS ESTRUCTURAS DE LA ZONA

Existen diferencias de refuerzo entre las estructuras pertenecientes a cada material, estas variantes son determinantes en el comportamiento global de la estructura; por ello se subdividieron las estructuras, atendiendo a las clases de vulnerabilidad que se tienen en la EME (ver apéndice A), pero como no todos los sistemas estructurales de Chilpancingo se apegan a la EME ni los sistemas tienen el mismo comportamiento, debieron hacerse algunas adecuaciones, ver la Figura 3.6.

Algunas consideraciones relevantes hechas para Chilpancingo es que existen estructuras de madera recubiertas con adobe, conocidas en la región como bajareque (Apéndice D), estas estructuras son muy vulnerables, como quedó demostrado en el sismo

que afectó Ometepec (Álvarez y Gómez-Bernal, 1999), por ello que se les asignó una Clase de Vulnerabilidad probable A y para casos excepcionalmente bien construidos se les asignó la Clase B. Otras estructuras con diferencias en el comportamiento, son las de madera, que en la EME tienen clase de vulnerabilidad muy baja (clase D), debido a que se emplean criterios ingenieriles en su diseño, en Chilpancingo no sucede lo mismo, pues las casas de madera son de las personas con menores ingresos, hechas por autoconstrucción y con materiales sin tratamientos insecticidas ni contra el fuego, por ello les cambiamos la clase de vulnerabilidad, quedaron como Clase de Vulnerabilidad A cuando tienen mal mantenimiento y Clase B cuando el mantenimiento es adecuado.

Los edificios históricos, hechos de piedra masiva en el pasado se comportaron mal, por ello se les asignó una Clase B, ya que durante su vida útil han sufrido muchos ciclos de carga y debido a sus características arquitectónicas no se han reforzado, sólo se les ha restituido la resistencia. En el caso de la mampostería confinada, pudo considerarse la Clase de vulnerabilidad E, ya que la experiencia en la zona les ha indicado que entre más cerradas estén los elementos confinantes de concreto, tendrán un mejor comportamiento, en la zona los muros confinados además de tener el refuerzo perimetral, se divide al tablero en cuatro módulos mediante un refuerzo en forma de cruz como se muestra en la Figura D.16 (ver Apéndice D.)

Tipo de estructura			Clase de Vulnerabilidad						Observaciones
			A	B	C	D	E	F	
Mampostería	Piedra	Piedra bruta o piedra suelta	X						Poco Frecuente
		Piedra Simple (labrada) Piedras Masivas (monumentos)	e p	X X					Poco Frecuente
	Adobe	Adobe sin refuerzo	X						Frecuente
Adobe con refuerzo de madera		p	X					Frecuente	
Adobe con refuerzo de concreto			X	p					
Adobe con refuerzo de tirantes de acero		p	X						
Adobe con alma de carrizos o cañas, Bajareque	X	e							
Tabique	Tabique no reforzados/ Bloques de concreto	p	X	e				Frecuente	
	Tabiques no reforzados con pisos de concreto reforzado		p	X				Poco Frecuente	
	Tabiques reforzados y mampostería confinada			e	X	p		Frecuente	
Concreto Reforzado	Marcos	Marcos sin Diseño Sismo Resistente (DSR)		p	X	e		Poco Frecuente	
		Marcos con moderado nivel de Diseño Sismo Resistente (DSR) Marcos con alto nivel de Diseño Sismo Resistente (DSR)			p	X	p	Frecuente	
	Muros	Muros sin Diseño Sismo Resistente (DSR) Muros con moderado nivel de Diseño Sismo Resistente (DSR) Muros con alto nivel de Diseño Sismo Resistente (DSR)		e	X e	p X e	p p p	Poco Frecuente Frecuente	
Acero	Estructuras de acero					p	X	p	Poco Frecuente
Madera	Estructuras de madera		X	p					Poco Frecuente
Grado de vulnerabilidad. A = Muy alta B = alta C = media D = baja E = muy baja F = casi nula			Comportamiento esperado X = clase de vulnerabilidad más probable p = intervalo probable e = intervalo menos probable, casos excepcionales.						

Figura 3.6 Clases de vulnerabilidad para Chilpancingo Gro.

### 3.6 MATERIALES PREDOMINANTES

En la zona de estudio se censaron 1306 estructuras, los datos del censo, se usan para estimar el número de estructuras dañadas así como el número de personas afectadas. La Tabla 3.5 muestra la distribución de las estructuras por tipo de material, las estructuras de mampostería son la mayoría (1069 estructuras, 81.9 %), le siguen en cantidad, las estructuras de adobe (121 estructuras, 9.26%), las de concreto (79 estructuras, 6.05%), las de madera (14 estructuras, 1.07%), las de acero (8 estructuras, 0.61%) y por último las de bajareque (2 estructuras, 0.15%) que son una estructuración distinta de las de adobe. En forma general, las estructuras características del municipio de Chilpancingo están hechas con cuatro tipos de materiales: Madera, Adobe, Mampostería y Concreto.

### 3.7 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRUCTURAS TÍPICAS

En las Tablas 3.5 a 3.10, se muestran los datos de los materiales, pero sin hacer distinción en el nivel de refuerzo, el término “Adobe” agrupa al reforzado, al no reforzado, y al bajareque, de la misma manera, el término “Mampostería” agrupa la mampostería reforzada y no reforzada, en el término “Concreto”, tenemos al reforzado y al presforzado.

Tabla 3.5 Material predominante en la zona de estudio.

Material	No. de estructuras	%
Estructuras de adobe	121	9.26
Mampostería	1069	81.9
Concreto	79	6.05
Acero	8	0.61
Madera	14	1.07
Bajareque	2	0.15
Baldíos	13	1
Total	1306	100

La Tabla 3.6 representa la relación entre el material de construcción y el tipo de estructuración empleado, se observa que las estructuraciones predominantes son los muros de carga y los marcos rellenos con muros, mientras que la Tabla 3.7 muestra los sistemas de piso empleados en las estructuras de la zona de estudio, en su mayoría las estructuras poseen un sistema de piso que proporciona suficiente rigidez en su plano para poderlo considerar un diafragma rígido, los otros sistemas de piso no proporcionan el diafragma rígido y por el contrario pueden provocar fallas locales en los apoyos de las vigas principales.

Las estructuras de la zona de estudio están destinadas a uso habitacional, también hay estructuras destinadas a uso comercial exclusivamente, y estructuras que tienen ambos propósitos, en la planta baja hay comercio y los superiores habitacionales o en la parte frontal hay accesorias y en la parte trasera es habitacional; en conjunto estos tres usos son el 89% de las estructuras (Tabla 3.8), sin embargo la mayoría se destinan a casa habitación.

Tabla 3.6 Tipo de Material vs. Estructuración.

Material	Bajareque	Muros de madera	Muros de carga	Marcos y muros	Sin estructura	Total
Acero	0	0	3	5	0	8
Adobe	2	0	119	1	1	123
Concreto	0	0	44	35	0	79
Madera	0	14	0	0	0	14
Mampostería	0	0	995	68	6	1069
Sin estructura	0	0	0	0	13	13
Total	2	14	1161	109	20	1306

Tabla 3.7 Material vs. Sistema de piso.

Material	Lámina	Losa maciza	Losa reticular	Madera y teja	Sin techo	Vigueta y bovedilla	Total
Acero	3	5	0	0	0	0	8
Adobe	29	7	4	79	2	2	123
Concreto	4	65	4	0	0	6	79
Madera	12	0	0	2	0	0	14
Mampostería	96	750	156	52	14	1	1069
Sin estructura	0	0	0	0	13	0	13
Total	145	827	164	135	31	4	1306

Tabla 3.8 Material vs. Uso de la estructura.

Material	Casa habitación	Estacionamiento	Planta baja comercial, pisos superiores habitacionales	Planta baja comercio y habitación	Servicio comunitario	Servicio particular comercio	Servicio público	Terreno baldío	Total
Acero	1	1	1	0	1	2	2	0	8
Adobe	84	0	12	10	0	14	2	1	123
Concreto	23	2	32	0	3	11	8	0	79
Madera	13	0	0	0	0	1	0	0	14
Mampostería	594	5	273	40	7	96	38	16	1069
Sin estructura	0	0	0	0	0	0	0	13	13
Total	715	8	318	50	11	124	50	30	1306

Lo que respecta a la cimentación, predominan las estructuras con cimentaciones tradicionales, la mampostería de piedra es la más frecuente (ver Tabla 3.9). Cabe mencionar que el parámetro zapatas corridas podría estar sobreestimado debido a que los dueños muchas veces no conocían ese dato, pues no eran los dueños originales.

En estos casos, las personas que elaboraron el censo, consideraron que debido a la calidad del confinamiento elevado, (incluso superior al que piden las NTC-Mampostería) lo más lógico era considerar zapatas corridas de concreto como cimentación, sin embargo no tenemos evidencia de ello.

Tabla 3.9 Material vs. Cimentación.

Material	Cajón	Mampostería de adobe	Mampostería de piedra	Polines enterrados en el suelo	Sin cimentación	Zapatillas corridas	Total
Acero	0	0	0	0	0	8	8
Adobe	0	20	101	2	0	0	123
Concreto	4	0	0	0	0	75	79
Madera	0	0	0	14	0	0	14
Mampostería	0	0	629	0	0	440	1069
Sin estructura	0	0	3	0	10	0	13
Total	4	20	733	16	10	523	1306

La mayoría de las estructuras en estudio son bajas de uno o dos niveles (ver Tabla 3.10), en las estructuras de madera, predominan las de un nivel, en las estructuras de adobe predominan también predominan las de un nivel, sin embargo, en las estructuras de mampostería, predominan las estructuras de dos niveles aunque la proporción de las de un nivel es casi la misma que la de dos niveles, también son frecuentes las de tres niveles con una tercera parte de las de dos niveles. Las estructuras de concreto tampoco son de mucha altura, predominando las de 4 y 5 niveles. En términos generales, las estructuras son bajas, pues la estructura más alta es de 8 niveles de acero.

Tabla 3.10 Material vs. Número de niveles.

Material	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Acero	1	2	2	1	1	0	0	0	1	8
Adobe	0	117	4	2	0	0	0	0	0	123
Concreto	1	22	30	10	7	6	0	1	2	79
Madera	1	13	0	0	0	0	0	0	0	14
Mampostería	10	383	459	150	51	15	1	0	0	1069
Sin estructura	9	4	0	0	0	0	0	0	0	13
Total	22	541	495	163	59	21	1	1	3	1306

### 3.7.1 Caracterización de las estructura de Mampostería.

Las estructuras de mampostería divididas en mampostería reforzada (ver Figura 3.7) y mampostería no reforzada (ver Figura 3.8), en total son 1069 estructuras, de ellas, las reforzadas son 1034 y sin refuerzo son 35 (ver Tabla 3.11). De las estructuras reforzadas, la mayoría (961) están estructuradas con muros de carga, esto representa el 93 %; 67 estructuras (6.5%) tienen elementos de concreto un poco mayores, por lo que pueden considerarse como marcos, y las restantes 6 sólo son terrenos bardeados. Las estructuras de mampostería sin refuerzo, son en su mayoría de un nivel (26) lo que representa el 74%, hay una estructura de cero niveles (ver Tabla 3.12). Esto representa a los terrenos baldíos, con bardas sin refuerzo. Las estructuras con refuerzo también son bajas, pues en su mayoría tienen entre uno y tres niveles (958) como lo indica la Tabla 3.12, lo que representa el 93%, puede observarse que la mayoría de las estructuras de mampostería con refuerzo, son de dos niveles (451), esa tendencia se mantiene cuando se observan las estructuras de mampostería en general.

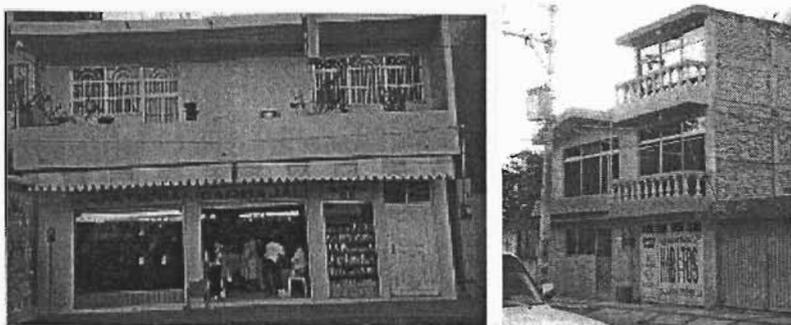


Figura 3.7 Mampostería reforzada



Figura 3.8 Mampostería sin refuerzo

Tabla 3.11 Estructuración vs. Refuerzo en Mampostería.

Estructuración	Mampostería con refuerzo	Mampostería sin refuerzo	Total
Bajareque	0	0	0
Muros de madera	0	0	0
Muros de carga	961	35	996
Marcos y muros de carga	67	0	67
Sin estructura	6	0	6
Total	1034	35	1069

Tabla 3.12 Número de niveles vs. Refuerzo en Mampostería.

Número de niveles	Mampostería con refuerzo	Mampostería sin refuerzo	Total
0	9	1	10
1	357	26	383
2	451	8	459
3	150	0	150
4	51	0	51
5	15	0	15
6	1	0	1
Total	1034	35	1069

Hay 893 estructuras de mampostería reforzada con sistema de piso de losa de concreto (Tabla 3.13), 129 estructuras tienen sistemas de piso ligeros que no proporcionan un diafragma rígido y por el contrario pueden producir fallas locales en los muros debido al punzonamiento de vigas las principales. El 60% de las estructuras de mampostería no

reforzada tienen sistemas de piso o techos ligeros (ver Tabla 3.13), y el restante 40% tienen diafragmas rígidos como sistema de piso.

Tabla 3.13 Sistema de piso vs. Refuerzo en Mampostería.

Sistema de piso	Mampostería con refuerzo	Mampostería sin refuerzo	Total
Lámina	85	11	96
Losa	893	14	907
Madera y teja	44	8	52
Sin techo	12	2	14
Total	1034	35	1069

Hay 574 estructuras en la zona de estudio destinadas a vivienda exclusivamente (ver Tabla 3.14), 268 para uso habitacional y comercios mientras que para uso comercial exclusivamente hay 93, estos tres usos representan al 90% de las estructuras con refuerzo. La mampostería no reforzada, se destina principalmente a casa habitación.

La cimentación de las estructuras de mampostería reforzada, es de piedra en su mayoría (Tabla 3.15), aunque al obtener la información de este rubro no se tiene mucha certeza, debido a la escasa información por parte de los propietarios, y notamos que hay muchas estructuras que poseen zapatas corridas, pero en este caso creo que no son zapatas de concreto, sino mampostería de piedra, y sólo pocas de estas estructuras tendrán zapatas corridas de concreto, las estructuras más altas y recientes.

Tabla 3.14 Uso por nivel vs. Refuerzo en Mampostería.

Uso de la estructura	Mampostería con refuerzo	Mampostería sin refuerzo	Total
Casa habitación	574	20	594
Estacionamiento	5	0	5
Planta baja comercial, pisos superiores habitacionales	268	5	273
Planta baja comercio y habitación	38	2	40
Servicio comunitario	7	0	7
Servicio particular comercio	93	3	96
Servicio público	36	2	38
Terreno baldío	13	3	16
Total	1034	35	1069

Tabla 3.15 Cimentación vs. Refuerzo en Mampostería.

Cimentación	Mampostería con refuerzo	Mampostería sin refuerzo	Total
Mampostería de piedra	594	35	629
Zapatas corridas	440	0	440
Total	1034	35	1069

Por todo lo anteriormente expuesto, se puede decir que las estructuras características de mampostería son: estructuras con refuerzo, configuradas mediante muros de carga (las más recientes con separación entre los elementos de concreto inferiores a la reglamentación

del DF.), cimentadas mediante mampostería de piedra, con sistema de piso de losa maciza de concreto (que es un diafragma rígido), de poca altura (uno o dos niveles).

### 3.7.2 Caracterización de las estructuras de Adobe.

Las estructuras de adobe, incluyen las de adobe con refuerzo (Figura 3.9), adobe sin refuerzo (Figura 3.10) y al bajareque (Figura 3.11), en total estas estructuras son 123 (ver Tabla 3.5); de ellas, sólo hay 2 de bajareque, poco más de la mitad (67) son de adobe con refuerzo y las restantes (54) son de adobe no reforzado. En la Tabla 3.16 se muestra la estructuración para cada tipo de refuerzo, tanto las estructuras reforzadas como las que no tienen refuerzo, poseen sistemas estructurales basados en muros de carga. El sistema estructural de las estructuras de bajareque se logra por medio de marcos de madera unidos mediante un enrejado de madera que se recubre de adobe al que se le denomina precisamente “bajareque”, en la zona de estudio representan un porcentaje muy bajo (0.15% del total y 1.6% de las estructuras de adobe), pero en todo el municipio, la presencia del bajareque es importante, como se verá más adelante.

Las estructuras de adobe son bajas, pues en su mayoría (97%) son de un solo nivel (Tabla 3.17); hay algunas que son de dos niveles en adobe reforzado, incluso hay dos estructuras de 3 niveles, en este caso cuando a una estructura se decide ampliar, y lo que se hace es reforzar la estructura existente, dejando a la estructura mixta, pues en la planta baja son de adobe y en las superiores de tabique rojo recocido o de block, éstas estructuras no se clasifican en el término mixta de la base de datos, porque en ese rubro se colocaron las que son de concreto y acero.



Figura 3.9 Adobe con refuerzo



Figura 3.10 Adobe sin refuerzo

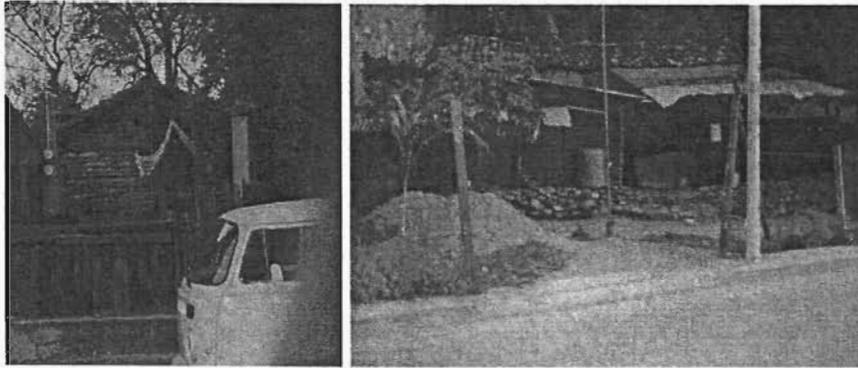


Figura 3.11 Bajareque

Las estructuras de adobe reforzado tienen un sistema de piso de madera y teja dado que el refuerzo consiste en elementos de concreto verticales y horizontales que limitan la flexión fuera del plano, también hay sistemas de piso de losa maciza de concreto que crea el diafragma rígido lo que propicia que los muros trabajen en conjunto, las estructuras de adobe sin refuerzo y con sistema de piso de madera con teja, no tienen elementos que limiten la separación de los muros en los vértices, por lo que la falla típica de estas estructuras es la mostrada en la Figura D.13. Las estructuras de bajareque de la zona de estudio no representan al conjunto de las estructuras del municipio, sin embargo, tienen el sistema de piso flexible en ambos casos representativo de este sistema estructural.

Tabla 3.16 Estructuración vs. Refuerzo en Adobe.

Estructuración	Adobe con refuerzo	Adobe sin refuerzo	Bajareque	Total
Bajareque	0	0	2	2
Muros de madera	0	0	0	0
Muros de carga	66	53	0	119
Marcos y muros de carga	0	1	0	1
Sin estructura	1	0	0	1
Total	67	54	2	123

Tabla 3.17 Número de niveles vs. Refuerzo en Adobe.

Número de niveles	Adobe con refuerzo	Adobe sin refuerzo	Bajareque	Total
0	0	0	0	0
1	62	53	2	117
2	3	1	0	4
3	2	0	0	2
Total	67	54	2	123

El destino de las estructuras de adobe en la zona de estudio, lo mismo que las de mampostería es en su mayoría habitacional (Tabla 3.26), otras están destinadas para uso habitacional y comercial colocado accesorias en la parte frontal de las viviendas y en la parte trasera las habitaciones, también hay algunas destinadas exclusivamente a fines comerciales, estos tres usos predominantes representan el 97.5% del total. En los usos no se

aprecia diferencias significativas entre los refuerzos, aunque lo que podría esperarse es que las destinadas a comercio fueran las reforzadas, pero la información recabada nos indica que no es así, y lo mismo hay estructuras reforzadas que sin refuerzo para usos comerciales.

Tabla 3.18 Sistema de piso vs. Refuerzo en Adobe.

Sistema de piso	Adobe con refuerzo	Adobe sin refuerzo	Bajareque	Total
Lámina	13	15	1	28
Losa	11	2	0	13
Madera y teja	41	37	1	78
Sin techo	2	0	0	2
Total	67	54	2	121

La cimentación de las estructuras de adobe reforzadas o no, implican cimientos corridos de piedra (Tabla 3.27), o cimientos hechos con el mismo material de los muros que es poco recomendable debido a la escasa resistencia. Las estructuras de bajareque no poseen cimentación, solamente se hincan polines de madera directamente en el suelo, rodeándolos con piedras y apisonando bien el conjunto, esta cimentación es muy vulnerable a la humedad y a los insectos, máxime que los polines no reciben tratamientos especiales contra insectos.

Tabla 3.19 Uso por nivel vs. Refuerzo en Adobe.

Uso	Adobe con refuerzo	Adobe sin refuerzo	Bajareque	Total
Casa habitación	41	41	2	82
Planta baja comercial, pisos superiores habitacionales	8	4	0	12
Planta baja comercio y habitación	8	2	0	10
Servicio particular comercio	9	5	0	14
Servicio público	0	2	0	2
Terreno baldío	1	0	0	1
Total	67	54	2	121

Tabla 3.20 Cimentación vs. Refuerzo en Adobe.

Cimentación	Adobe con refuerzo	Adobe sin refuerzo	Bajareque	Total
Mampostería de adobe	5	15	0	20
Mampostería de piedra	62	39	0	101
Polines enterrados en el suelo	0	0	2	2
Total	67	54	2	123

Estos datos nos permiten concluir que las estructuras características de adobe en la zona son bajas (un nivel), tienen un sistema estructural de muros de carga poco reforzados, con sistemas de piso flexibles que puede generar fallas locales en los muros dónde se apoyan las vigas, tienen cimientos corridos de piedra, el uso es habitacional en su mayoría.

### 3.7.3 Caracterización de las estructuras de concreto

Las estructuras de concreto de la zona de estudio (ver Figura 3.12), las tenemos divididas de acuerdo a criterios constructivos, es decir las que son coladas en el lugar y las que son prefabricadas, sin embargo, las coladas en lugar son las que predominan (ver Tabla 3.21), y las que están clasificadas como prefabricadas, poseen solamente los sistemas de piso prefabricados de vigueta y bovedilla (ver Figura 3.13). La Tabla 3.21 muestra como se encuentran estructuradas, hay dos estructuraciones, la de “muros de carga”, donde todos los marcos de concreto están rellenos por muros de mampostería, y la denominada “marcos y muros de carga” en la que algunas partes están soportadas por marcos de concreto, y otras en combinación de marcos rellenos con muros de mampostería.

En el caso de los marcos con muros de carga, incluye las estructuras de marcos tridimensionales sin muros y a marcos donde hay muros de mampostería en pocas crujías. Las estructuras de concreto reforzado, son de mediana altura, las más altas son de 8 niveles, y la mayoría, no superan los 3 niveles (ver Tabla 3.22), las estructuras con sistemas de piso prefabricado también son de mediana altura, sólo una supera los 3 niveles (ver Tabla 3.22).

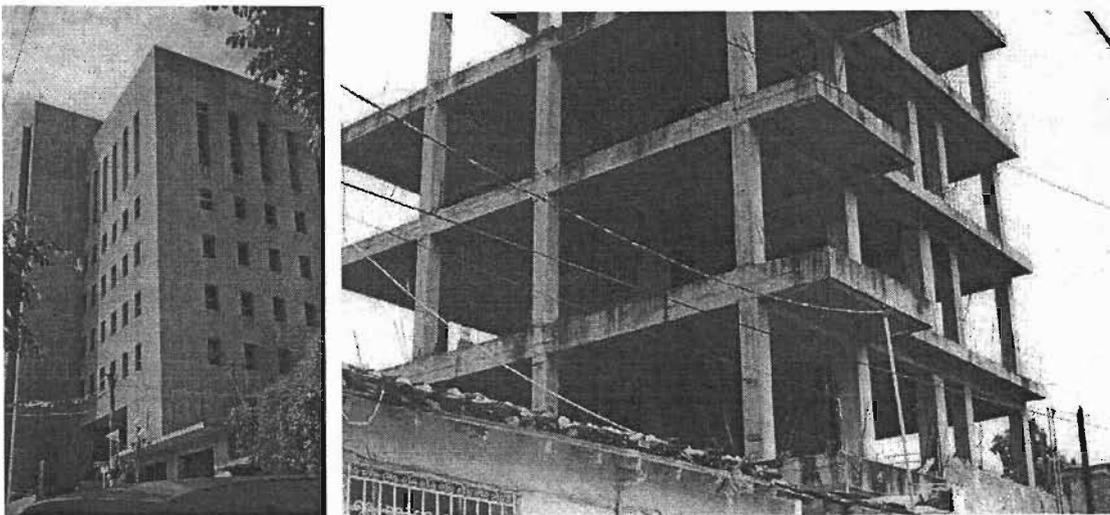


Figura 3.12 Estructuras de concreto reforzado.



Figura 3.13 Estructuras de concreto con sistemas de piso prefabricado.

Tabla 3.21 Estructuración vs. Refuerzo en Concreto.

Estructuración	Concreto reforzado	Concreto prefabricado	Total
Muros de carga	41	3	44
Marcos y muros de carga	32	3	35
Total	73	6	79

Tabla 3.22 Número de niveles vs. Refuerzo en Concreto.

Número de niveles	Concreto reforzado	Concreto prefabricado	Total
0	1	0	1
1	20	2	22
2	28	2	30
3	9	1	10
4	7	0	7
5	6	0	6
7	1	0	1
8	1	1	2
Total	71	5	79

El sistema de piso predominante es el de losa maciza de concreto (ver Tabla 3.23), hay 65 estructuras de este tipo, 4 con losas reticulares y 6 con vigueta y bovedilla, estos sistemas pueden considerarse como diafragmas rígidos que repartirán la carga y harán que la estructura trabaje en conjunto evitando fallas en muros por trabajar en flexión fuera de su plano, las estructuras con sistemas de piso de lámina son bodegas que tienen armaduras de techo cubiertas con lámina metálica las cuales no pueden considerarse diafragmas rígidos, sin embargo, hay que mencionar que son sistemas ligeros y que disminuyen las fuerzas sísmicas, al reducir la masa.

Tabla 3.23 Sistema de piso vs. Refuerzo en Concreto.

Sistema de piso	Concreto reforzado	Concreto prefabricado	Total
Lámina	4	0	4
Losa maciza	65	0	65
Losa reticular	4	0	4
Vigueta y bovedilla	0	6	6
Total	73	6	79

Las estructuras de concreto se usan para muchos fines diferentes, no se puede decir que se concentran en un solo tipo, pero como en la zona de estudio, predomina el uso habitacional, sucede lo mismo con este tipo de estructuras (ver Tabla 3.24), se tienen estructuras de uso habitacional exclusivamente y otras de uso habitacional en los pisos superiores y con accesorias en la planta baja.

La cimentación de este tipo de estructuras se realiza por medio de zapatas corridas de concreto (ver Tabla 3.25), solamente las estructuras más elevadas, tienen cimentaciones compensadas por medio de cajones de cimentación, como lo indica la Tabla 3.25.

Tabla 3.24 Uso por nivel vs. Refuerzo en Concreto.

Uso	Concreto reforzado	Concreto prefabricado	Total
Casa habitación	23	0	23
Estacionamiento	2	0	2
Planta baja comercial, pisos superiores habitacionales	29	3	32
Servicio comunitario	3	0	3
Servicio particular comercio	9	2	11
Servicio público	7	1	8
Total	73	6	79

Tabla 3.25 Cimentación vs. Refuerzo en Concreto.

Cimentación	Concreto reforzado	Concreto prefabricado	Total
Cajón	4	0	4
Zapatatas corridas	69	6	75
Total	73	6	79

Por todo lo anteriormente expuesto, se puede decir que las estructuras características de concreto son: estructuras de mediana altura, configuradas con marcos de concreto rellenos con muros de mampostería, cimentadas mediante zapatas corridas de concreto, con sistema de piso de concreto, el uso predominante es el habitacional en los pisos superiores y comercial en planta baja.

### 3.7.4 Estructuras típicas de madera

Las estructuras de madera en la zona de estudio (ver Tabla 3.6) están estructuradas por medio de muros de madera (ver Figura 3.14) formados por polines en sus vértices y unidos por medio de tablas, poseen sistemas de techo de vigas de madera cubiertas con lámina o con teja (ver Tabla 3.7), no tienen cimentación sino que los polines de madera que forman los marcos, se entierran en el suelo directamente, y en el mejor de los casos, se ahogan en concretos de baja calidad (ver Tabla 3.9), éstas estructuras de un solo nivel (ver Tabla 3.10), se destinan a casa habitación (ver Tabla 3.8) y son de las estructuras más vulnerables en Chilpancingo, debido a la escasa técnica constructiva y al nulo mantenimiento que produce descomposición de la madera en la base de los muros y proporciona puntos débiles que fallan fácilmente cuando se presenta un evento sísmico de importancia.

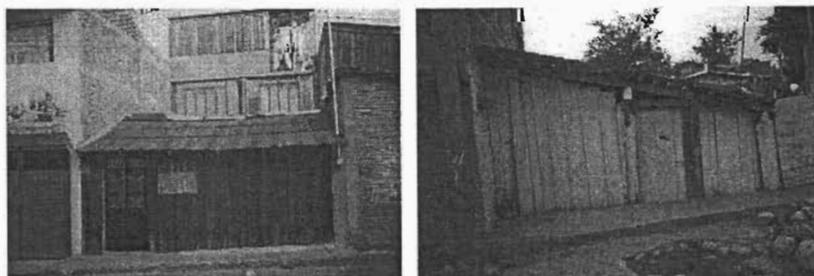


Figura 3.14 Estructuras de Madera.

### 3.8 COMPARACIÓN DE LOS DATOS DE LA BASE CON EL INEGI 2000

Los datos del estudio y los de los censo INEGI 2000 se comparan para determinar si la zona censada, puede representar a todas las estructuras del municipio. El número de estructuras en el censo INEGI 2000 es de 41954, en el que se incluyen las 66 comunidades que integran al municipio de Chilpancingo, 65 comunidades son rurales o semiurbanas (INEGI 2000), la mayoría tienen menos de 1000 estructuras (110 en promedio) y representan el 27% del total en el municipio. Para poder comparar las estructuras de la base de datos con las del Censo INEGI 2000, se realizaron correlaciones entre las tablas para tener descritas las estructuras en los mismo términos, los detalles del procedimiento pueden verificarse en el artículo “Caracterización de las estructuras típicas de la ciudad de Chilpancingo” (Juárez y otros, 2001).

La Tabla 3.26 muestra las equivalencias entre el material de construcción de las estructuras, en la que se observan diferencias importantes, las más significativas son entre las estructuras de madera, pues en el censo del INEGI tenemos un porcentaje 20 veces mayor que en la zona de estudio, lo que se explica tomando en cuenta que el INEGI incluye muchas comunidades no urbanas donde hay menos recursos lo que propicia la autoconstrucción con madera y adobe. El término mampostería, incluye todo lo construido con materiales pétreos, es decir la mampostería propiamente dicha y al concreto, ya que en el censo INEGI estaban agrupados, las diferencias se deben a que si en las comunidades rurales se construye con madera, el porcentaje de estructuras de mampostería baja.

Tabla 3.26 Tipo de estructura en la Base de datos vs Censo INEGI-2000.

INEGI			ZONA DE ESTUDIO		
Material	Total	Porcentaje	Material	Total	Porcentaje
Adobe	5124	12.2	Adobe	121	9.26
Mampostería	25866	62.7	Mampostería	1148	87.9
Madera	8864	21.1	Madera	14	1.07
Otros	2100	5	Otros	23	1.76
<b>TOTAL</b>	<b>41954</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>1306</b>	<b>100</b>

La Tabla 3.27 muestra las equivalencias en estructuración, nuevamente las mayores diferencias, son con las estructuras con muros de madera, pues el 3.3% de las estructuras en la base de datos tienen ese tipo de estructuración, y en el municipio completo su proporción es mucho mayor con el 21.3 %. El bajareque en el municipio es mayor que en la zona urbana, ambos efectos, hacen que la proporción de estructuras con muros de carga en el municipio sea menor (74%) que en la base de datos (95%).

Tabla 3.27 Estructuración en la Base de datos vs Censo INEGI-2000.

INEGI			ZONA DE ESTUDIO		
Material	Total	Porcentaje	Material	Total	Porcentaje
Embarro o bajareque	1542	3.70	Embarro o bajareque	2	0.15
Madera	8864	21.26	Madera	44	3.29
Muros de carga	30990	74.34	Muros de carga	1240	95.02
No especificado	529	0.70	No especificado	20	1.53
<b>TOTAL</b>	<b>41954</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>1306</b>	<b>100</b>

La Tabla 3.28 muestra las equivalencias en los sistemas de piso o techo. Aproximadamente el 75% de las estructuras en estudio, tienen el sistema de piso de “losa”, mientras que en el municipio el 51% de las estructuras tienen dicho sistema. La proporción del sistema de piso “palma, tejamanil, madera y teja” en ambas zonas es similar mientras que los porcentajes de “lámina” difiere de manera significativa. Si parte del comportamiento ante un sismo depende de que el sistema de piso pueda formar un diafragma rígido, se espera que las estructuras se comporten de forma muy distinta en ambos casos.

Con diferencias tan importantes en porcentajes y comportamiento esperado, se concluye que no es posible extrapolar los porcentajes de la Base de datos a todo el municipio, ni siquiera a toda la ciudad, ya que al subestimar las construcciones con paredes de madera, se estaría sobrestimando el porcentaje de edificaciones estructuradas con muros de carga.

Tabla 3.28 Sistema de piso de la Base de datos vs. Censo INEGI-2000.

INEGI			ZONA DE ESTUDIO		
Material	Total	Porcentaje	Material	Total	Porcentaje
Lámina	17220	41.04	Lámina	143	10.95
Palma, tejamanil, madera y teja	2953	7.04	Palma, tejamanil, madera y teja	133	10.18
Losa	21526	51.31	Losa	971	74.35
Otros	255	0.61	Otros	59	4.52
<b>TOTAL</b>	<b>41954</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>1306</b>	<b>100</b>

### 3.9 VULNERABILIDAD

Relacionando los datos de las estructuras típicas con los que corresponden a la Figura 3.6 (atendiendo lo descrito en el apéndice D), podemos resumir las clases de vulnerabilidad asignada mediante la Tabla 3.29

Tabla 3.29 Clase de vulnerabilidad asignada para las estructuras de la zona de estudio.

Tipos de estructura	Número	Clase asignada	%del total
Adobe sin refuerzo	54	A	4.13
Adobe con refuerzo de concreto	67	B	5.13
Adobe con alma de carrizos o cañas, Bajareque	2	A	0.15
Tabique no reforzados con unidades de piedra manufacturada	35	C	2.68
Tabiques reforzados y mampostería confinada	1034	D	79.17
Marcos de concreto con muros de carga sin Diseño Sismo Resistente	44	C	3.37
Marcos de concreto con muros de carga diseñados con un nivel moderado de Diseño Sismo Resistente	22	D	1.68
Marcos con moderado nivel de diseño sismorresistente	13	D	1.00
Estructuras de acero	8	E	0.61
Estructuras de madera	14	A	1.07
Sin estructura	13	F	1.00
Total	1306		100

Basados en los escenarios de riesgo del apéndice A y sus aceleraciones máximas esperadas resumidas en la Tabla 3.30, podemos estimar los porcentajes de estructuras dañadas, tomando la clase de vulnerabilidad asignada, como la clase con mayor probabilidad de ocurrencia, es decir la que está marcada con X en la Figura 3.6.

Para los escenarios de riesgo I, II y IV la aceleración máxima del suelo, implica una intensidad en la EME-98 de VIII (ver Tabla 2.4), sin embargo, los porcentajes de daño esperado, deben diferir entre ellos, es por ello que conviene construir tablas como la 2.4 que involucren fracciones de intensidad, es decir la aceleración del escenario IV correspondería a una intensidad entre VIII y IX (I8.5), de esa manera los porcentajes de daño esperado, reflejarían las diferencias entre aceleraciones, pero por el momento, los resultados de la intensidad VIII serán válidos para los tres escenarios. En un futuro, se deberán construir tablas con fracciones de intensidad para obtener mejores resultados.

Tabla 3.30 Aceleraciones máximas esperadas para cada uno de los escenarios de riesgo.

Escenario	Mecanismo	Magnitud ( $M_w$ )	Distancia ( Km. )	Aceleración máxima del suelo ( g )	Intensidad
I	Intra-placa	7.7	200 km.	0.25	VIII
II	Inter-placa	8.0	800 km.	0.39	VIII
III	Inter-placa	7.7	100 km.	0.52	IX
IV	Superficial	7.0	70 km.	0.28	VIII

Para el escenario de riesgo III, la aceleración máxima del terreno, se encuentra en el intervalo de aceleraciones correspondiente al grado de daño IX, en los datos históricos de la Tabla A.1, se observa que las intensidades en Chilpancingo, han alcanzado valores de IX y X en la escala Mercalli Modificada lo que corresponde de manera aproximada a la IX de la EME-98.

Los grados de daño definidos por la EME pueden observarse en el apéndice C, incluyen cinco grados de daño que van desde daño no estructural hasta el colapso, para obtener los grados de daño inferiores, en este trabajo se distribuye el daño, suponiendo concentraciones de daño mayores en los grados más bajos.

Por lo expuesto anteriormente, y para ser más consistentes, las estimaciones de las estructuras dañadas, se hacen para las intensidades esperadas, y no para los escenarios de riesgo, también se incluye la intensidad VII, aunque no pertenece a los escenarios de riesgo, se podría presentar ante un sismo menor.

### 3.10 INTENSIDAD VII

Para la Intensidad VII en la EME-98, se determinaron los posibles porcentajes de las estructuras dañadas y el correspondiente grado de daño, en la Tabla 3.31 se muestran las cantidades de las estructuras, y el dato entre paréntesis, es el porcentaje respecto al total de estructuras censadas. El porcentaje que podrían alcanzar las estructuras es de 26.99%

Tabla 3.31 Número de estructuras dañadas para la intensidad VII de la EME-98  
Los números entre paréntesis, son porcentajes respecto al total de estructuras.

Tipos de estructura	Clase asignada	Número de estructuras	GD	GD	GD	GD	GD	Total de daños
			1	2	3	4	5	
Adobe sin refuerzo	A	54 (4.13)	0	16 (1.24)	30 (2.27)	8 (0.62)	0	54 (4.13)
Adobe con alma de carrizos o cañas, Bajareque	A	2 (0.15)	0	1 (0.08)	1 (0.08)	0	0	2 (0.15)
Estructuras de madera	A	14 (1.07)	0	4 (0.32)	8 (0.59)	2 (0.16)	0	14 (1.07)
Adobe con refuerzo de concreto	B	67 (5.13)	20 (1.54)	37 (2.82)	10 (0.77)	0	0	67 (5.13)
Tabique no reforzados con unidades de piedra manufacturada	C	35 (2.68)	19 (1.47)	5 (0.4)	0	0	0	24 (1.87)
Marcos de concreto con muros de carga sin Diseño Sismo Resistente	C	44 (3.37)	24 (1.85)	7 (0.519)	0	0	0	31 (2.36)
Tabiques reforzados y mampostería confinada	D	1034 (79.17)	155 (11.88)	0	0	0	0	155 (11.88)
Marcos de concreto con muros de carga diseñados con un nivel moderado de Diseño Sismo Resistente	D	22 (1.68)	3 (0.25)	0	0	0	0	3 (0.25)
Marcos con moderado nivel de diseño sismorresistente	D	13 (1.0)	2 (0.15)	0	0	0	0	2 (0.15)
Estructuras de acero	E	8 (0.61)	0	0	0	0	0	0
Sin estructura	F	13 (1.0)	0	0	0	0	0	0
Total		1306 (100)	223 (17.14)	70 (5.34)	49 (3.71)	10 (0.8)	0	352 (26.99)

### 3.10.1 Distribución del daño por clase de vulnerabilidad para intensidad VII

El porcentaje de estructuras con daño para este escenario de riesgo es de 26.99%, ese porcentaje se distribuye de la siguiente forma (Tabla 3.36), para las estructuras tipo A, 5.35% (GD4 0.8%, GD3 2.94% y GD2 1.61%) las estructuras tipo B 5.13% (GD3 0.77%, GD2 2.82% y GD1 1.54%), estructuras tipo C 4.23% (GD2 0.91%, GD1 3.32%), y las estructuras tipo D, 12.28% con GD1.

### 3.10.2 Distribución del daño por tipo de material para intensidad VII

El porcentaje de estructuras con daño se distribuye de la siguiente manera de acuerdo con los materiales (ver Tabla 3.36), Adobe 9.41% (GD4 0.62%, GD3 3.12%, GD2 4.11% y GD1 1.54%), las estructuras de Madera 1.07% (GD4 0.16%, GD3 0.59% y GD2 0.32%), Mampostería 13.75% (GD2 0.4% y GD1 13.35%), Concreto 2.76 (GD2 0.51% y GD1 2.25%).

### 3.10.3 Distribución del daño por el grado alcanzado para intensidad VII

Las estructuras censadas, podrían alcanzar los siguientes grados de daño. Grado de daño 4, el 0.8%, el Grado de daño 3, el 3.71%, el Grado de daño 2, el 5.34%, y Grado de daño 1, el 17.14% del total de estructuras censadas. Cabe mencionar que el daño estructural de importancia, puede tomarse a partir del grado de daño 3, y para la intensidad VII de la EME, significaría un daño del 4.5%, que no es muy alto.

### 3.11 INTENSIDAD VIII

Para la Intensidad VIII en la EME-98, se determinó el posible número de estructuras dañadas, y el correspondiente grado de daño, en la Tabla 3.37 se muestran las cantidades, y el dato entre paréntesis es el porcentaje respecto al total de estructuras censadas. El porcentaje de estructuras que podrían alcanzar daño es de 73.81%. Todas las estructuras con clase de vulnerabilidad A y B podrían sufrir algún tipo de daño, además la mayoría de las estructuras con clase C pueden daño.

#### 3.11.1 Distribución del daño por clase de vulnerabilidad para intensidad VIII

El porcentaje de estructuras con daño para este escenario de riesgo es de 73.81%, ese porcentaje se distribuye de la siguiente forma (Tabla 3.32), para las estructuras tipo A, 5.35% (GD5 0.8%, GD4 2.94% y GD3 1.61%) las estructuras tipo B 5.13% (GD4 0.77%, GD3 2.82% y GD2 1.54%), estructuras tipo C 6.04% (GD3 0.91%, GD2 3.32% y GD1 1.81%), y las estructuras tipo D, 57.29% (GD2 12.28% y GD1 45.1%).

#### 3.11.2 Distribución del daño por tipo de material para intensidad VIII

El porcentaje de estructuras con daño se distribuye de la siguiente manera de acuerdo con los materiales (ver Tabla 3.32), Adobe 9.41% (GD5 0.62%, GD4 3.12%, GD3 4.11% y GD2 1.54%), las estructuras de Madera 1.07% (GD5 0.16%, GD4 0.59% y GD3 0.32%), Mampostería 58.07% (GD3 0.4%, GD2 13.35% y GD1 44.34%), Concreto 5.24% (GD3 0.51%, GD2 2.25% y GD1 2.48%).

#### 3.11.3 Distribución del daño por el grado alcanzado para intensidad VIII

Tabla 3.32 Número de estructuras dañadas para la intensidad VIII de la EME-98  
Los números entre paréntesis, son porcentajes respecto al total de estructuras.

Tipos de estructura	Clase asignada	Número de estructuras	GD					Total de daños
			1	2	3	4	5	
Adobe sin refuerzo	A	54 (4.13)	0	0	16 (1.24)	30 (2.27)	8 (0.62)	54 (4.13)
Adobe con alma de carrizos o cañas, Bajareque	A	2 (0.15)	0	0	1 (0.08)	1 (0.08)	0	2 (0.15)
Estructuras de madera	A	14 (1.07)	0	0	4 (0.32)	8 (0.59)	2 (0.16)	14 (1.07)
Adobe con refuerzo de concreto	B	67 (5.13)	0	20 (1.54)	37 (2.82)	10 (0.77)	0	67 (5.13)
Tabique no reforzados con unidades de piedra manufacturada	C	35 (2.68)	11 (0.8)	19 (1.47)	5 (0.04)	0	0	35 (2.67)
Marcos de concreto con muros de carga sin Diseño Sismo Resistente	C	44 (3.37)	13 (1.01)	24 (1.85)	7 (0.51)	0	0	44 (3.37)
Tabiques reforzados y mampostería confinada	D	1034 (79.7)	569 (43.54)	155 (11.88)	0	0	0	724 (55.42)
Marcos de concreto con muros de carga diseñados con un nivel moderado de Diseño Sismo Resistente	D	22 (1.68)	12 (0.94)	3 (0.25)	0	0	0	15 (1.17)
Marcos con moderado nivel de diseño sismorresistente	D	13 (1.0)	7 (0.55)	2 (0.15)	0	0	0	9 (0.7)
Estructuras de acero	E	8 (0.8)	0	0	0	0	0	0
Sin estructura	F	13 (1.0)	0	0	0	0	0	0
Total		1306 (100)	612 (46.82)	223 (17.14)	70 (5.34)	49 (3.71)	10 (0.8)	964 (73.81)

Las estructuras podrían alcanzar los siguientes grados de daño: Grado de daño 5, el 0.8%, el Grado de daño 4, el 3.71%, el Grado de daño 3, el 5.34%, y Grado de daño 2, el 17.14% y el Grado de daño 1, el 46.82% del total de estructuras censadas. Aceptando que el daño estructural de importancia, puede tomarse a partir del grado de daño 3, para la intensidad VIII de la EME, significaría un daño del 9.85%.

### **3.12 INTENSIDAD IX**

Para la Intensidad IX en la EME-98, se determinó el posible número de estructuras dañadas, y el correspondiente grado de daño, en la Tabla 3.38 se muestran las cantidades, y el dato entre paréntesis es el porcentaje respecto al total de estructuras censadas. El porcentaje de estructuras que podrían alcanzar daño es de 98.79%. Todas las estructuras con clase de vulnerabilidad A hasta la D podrían sufrir algún tipo de daño, además muchas de las estructuras con clase E pueden sufrir daño.

#### **3.12.1 Distribución del daño por clase de vulnerabilidad para intensidad IX**

El porcentaje de estructuras con daño para esta intensidad puede ser de 98.79%, ese porcentaje se distribuiría de la siguiente forma (Tabla 3.33), para las estructuras tipo A, 5.35% (GD5 2.94% y GD4 2.41%) las estructuras tipo B 5.13% (GD5 0.77%, GD4 2.82% y GD3 1.54%), estructuras tipo C 6.04% (GD4 0.91%, GD3 3.32% y GD2 1.81%), estructuras tipo D, 81.84% (GD3 12.28%, GD2 45.1% y GD1 24.55%), y las estructuras tipo E, 0.43% (GD2 0.09% y GD1 0.34%)

#### **3.12.2 Distribución del daño por tipo de material para intensidad IX**

El porcentaje de estructuras con daño se distribuye de la siguiente manera de acuerdo con los materiales (ver Tabla 3.33), Adobe 9.41% (GD5 3.12%, GD4 4.75% y GD3 1.54%), las estructuras de Madera 1.07% (GD5 0.59% y GD4 0.48%), Mampostería 81.84% (GD4 0.4%, GD3 13.35%, GD2 44.34% y GD1 23.75%), Concreto 6.04% (GD4 0.51%, GD3 2.25%, GD2 2.48% y GD1 0.8%) y Acero 0.43 (GD2 0.09% y GD1 0.35%).

#### **3.12.3 Distribución del daño por el grado alcanzado para intensidad IX**

Las estructuras podrían alcanzar los siguientes grados de daño: Grado de daño 5, el 3.71%, el Grado de daño 4, el 6.14%, el Grado de daño 3, el 14.04%, y Grado de daño 2, el 46.91% y el Grado de daño 1, el 24.89% del total de estructuras censadas. Aceptando que el daño estructural de importancia, puede tomarse a partir del grado de daño 3, para la intensidad VIII de la EME, significaría un daño aproximado de 27%.

El porcentaje total de estructuras con algún nivel de daño es 98%, pudiera parecer excesivo, sin embargo de acuerdo con Gómez-Bernal y otros (1999), en el sismo de 1957, en Chilpancingo, el grado de daño registrado en la zona, alcanzó el 80% y considerando como daño estructural importante al mayor o igual a 3, se espera un daño de alrededor del 27%, es decir, aproximadamente una cuarta parte de las estructuras censadas podrían sufrir daños estructurales importantes, ese porcentaje es elevado, sin embargo, parece razonable si se atiende a los daños históricos de la ciudad.

Tabla 3.33 Número de estructuras dañadas para la intensidad IX de la EME-98  
Los números entre paréntesis, son porcentajes respecto al total de estructuras.

Tipos de estructura	Clase asignada	Número de estructuras	GD	GD	GD	GD	GD	Total de daños
			1	2	3	4	5	
Adobe sin refuerzo	A	54 (4.13)	0	0	0	24 (1.86)	30 (2.27)	54 (4.13)
Adobe con alma de carrizos o cañas, Bajareque	A	2 (0.15)	0	0	0	1 (0.08)	1 (0.08)	2 (0.15)
Estructuras de madera	A	14 (1.07)	0	0	0	6 (0.48)	8 (0.59)	14 (1.07)
Adobe con refuerzo de concreto	B	67 (5.13)	0	0	20 (1.54)	37 (2.82)	10 (0.77)	67 (5.13)
Tabique no reforzados con unidades de piedra manufacturada	C	35 (2.68)	0	11 (0.80)	19 (1.47)	5 (0.49)	0	35 (2.67)
Marcos de concreto con muros de carga sin Diseño Sismo Resistente	C	44 (3.37)	0	13 (1.0)	24 (1.85)	7 (0.51)	0	44 (3.37)
Tabiques reforzados y mampostería confinada	D	1034 (79.17)	310 (23.75)	569 (43.54)	155 (11.88)	0	0	1034 (79.17)
Marcos de concreto con muros de carga diseñados con un nivel moderado de Diseño Sismo Resistente	D	22 (1.68)	7 (0.55)	12 (0.92)	3 (0.25)	0	0	22 (1.67)
Marcos con moderado nivel de diseño sismorresistente	D	13 (1.0)	4 (0.34)	7 (0.55)	2 (0.15)	0	0	13 (1.0)
Estructuras de acero	E	8 (0.61)	4 (0.34)	1 (0.8)	0	0	0	5 (0.43)
Sin estructura	F	13 (1.0)	0	0	0	0	0	0
Total		1306 (100)	325 (24.89)	613 (46.91)	223 (17.14)	80 (6.14)	49 (3.71)	1290 (98.79)

### 3.13 CONCLUSIONES

Se generó una base de datos de la zona centro de la ciudad de Chilpancingo que contienen 1306 estructuras, 1069 de mampostería, 121 de adobe, 79 de concreto, 14 de madera, 8 de acero y 2 de bajareque. Para ellas, se ha estimado el porcentaje y grado de daño que tendrían si se presenta alguno de los escenarios supuestos.

El número de habitantes por estructura del municipio de Chilpancingo puede considerarse como 4 en promedio (INEGI, 2000). Para estimar los servicios de emergencia requeridos para atender la zona censada, se hacen algunas suposiciones, cuando una estructura llega a los grados de daño 3 o 4, se deben desalojar, para dar lugar a un proceso de reparación, esto implica albergues temporales para el número de personas afectadas y cuando una estructura alcance el grado de daño 5 que va desde daño grave hasta colapso, implicaría que los habitantes se quedan sin vivienda.

Para la Intensidad VIII en la EME-98, el grado de daño máximo es de 5, pero el porcentaje de estructuras que lo alcanzaría es muy bajo 0.8%, por lo que el número de colapsos esperado es muy bajo, sin embargo se espera que aproximadamente el 10% de las estructuras resulten con daño estructural fuerte, esto implica que alrededor de 130 estructuras deberían ser desalojadas y sus aproximadamente 520 ocupantes deberán ser colocados en albergues temporales.

Para la intensidad IX de la EME-98, el grado de daño 5 podría esperarse en alrededor del 4% de las estructuras censadas, lo que significa cerca de 50 colapsos, una

cuarta parte de la estructuras pueden sufrir daños estructurales severos, alrededor de 350 estructuras con cerca de 1400 ocupantes deberán ser colocados en albergues temporales.

Para que Chilpancingo pueda mitigar los daños esperados tanto en cantidad como en grado, pueden establecerse planes de refuerzo de estructuras, y los recursos deberían destinarse a las viviendas de adobe así como a las de mampostería no reforzada, el refuerzo deberá contemplar la colocación de castillos y dalas en los vértices de los muros así como promover la colocación de losas de concreto que contribuyan a formar diafragmas para promover un buen comportamiento ante sollicitaciones sísmicas.

## **CAPÍTULO IV**

### **VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA COLONIA ROMA, DF.**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN.**

En la ciudad de Ciudad de México, los daños observados en sismos intensos, como los de 1957 y 1985, se han concentrado en la zona de terreno blando (debido a la amplificación de las aceleraciones del suelo), la Delegación Cuahutémoc ha sido una de las más afectadas, en particular la Colonia Roma es por ello que estudiarla es muy importante.

Después del sismo de 1985, se realizaron varios estudios sobre los daños causados por el temblor, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, la empresa ICA, la Universidad Autónoma Metropolitana, investigadores japoneses como Otani y Endo (1987) entre otros.

En esa zona algunas estructuras sufrieron daño estructural fuerte y fueron reforzadas de alguna manera, sin embargo, existen muchas otras que quedaron abandonadas por los daños que presentaron y donde sólo se conservan las fachadas por el interés histórico implícito en ellas; algunas de las estructuras dañadas siguen habitadas y representan un serio peligro para sus ocupantes; otro grupo de estructuras que presentaron daño se encuentran ocupadas por personas que desconocen si fueron o no reparadas.

En este trabajo se desarrollan un conjunto de mapas, que representan los posibles escenarios de daño estructural ante sismos futuros de una zona de la Colonia Roma, que incluye 1439 estructuras, distribuidas en 67 manzanas. Un número importante de estructuras (1428) son de mampostería o de concreto, para todas estas estructuras, que fueron censadas se determinó la clase de vulnerabilidad y el grado de daño estructural actual, tomando como base la Escala Macrosísmica Europea. A partir de esos datos y con algunos escenarios de riesgo sísmico, se determinaron los probables cambios en el grado de daño presente en las estructuras. La zona de estudio ha ido creciendo paulatinamente, ya que en una primera etapa sólo contemplaba 641 estructuras (Arellano y otros, 2003).

#### **4.2 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.**

El Distrito Federal se localiza en la zona B del Mapa de regionalización sísmica de la República mexicana (ver Figura 4.1), que pertenece a una zona de sismicidad intermedia, sin embargo, debido a las amplificaciones del movimiento del suelo en la zona del lago (ver Figura 4.2), se ha considerado una zona de alta sismicidad.

A partir de un análisis de la información documental sobre la ubicación espacial de los daños, se encontró que éstas se concentraban en varias zonas (Otani y Endo, 1987), para realizar el estudio actual, se decidió enfocarse a la zona que está definida por las avenidas Insurgentes, Álvaro Obregón, Cuahutémoc y Paseo de la Reforma, dentro de esta zona, se decidió comenzar el estudio en la región limitada al poniente por las avenidas Insurgentes Sur y Yucatán, al oriente por la avenida Cuahutémoc, al norte por Puebla y al sur por la avenida San Luis Potosí como se muestra en la Figura 4.3, dicha zona coincide con una de las áreas investigadas por Otani en 1985.

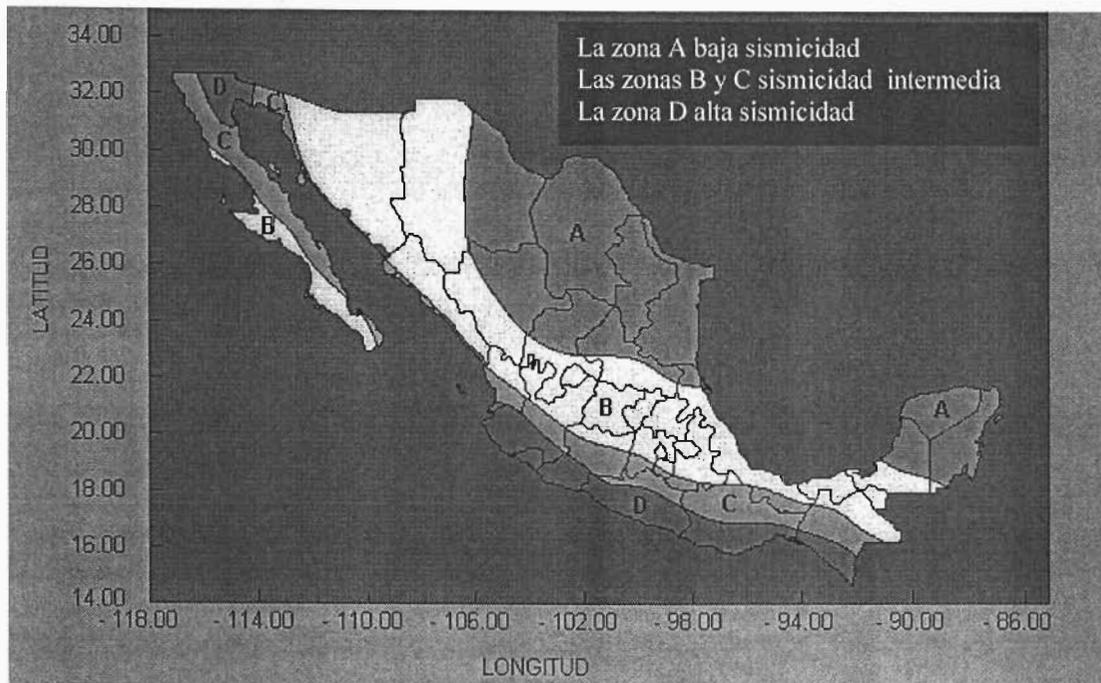


Figura 4.1. Regionalización sísmica de la República Mexicana tomada de la página del Servicio Sismológico Nacional.

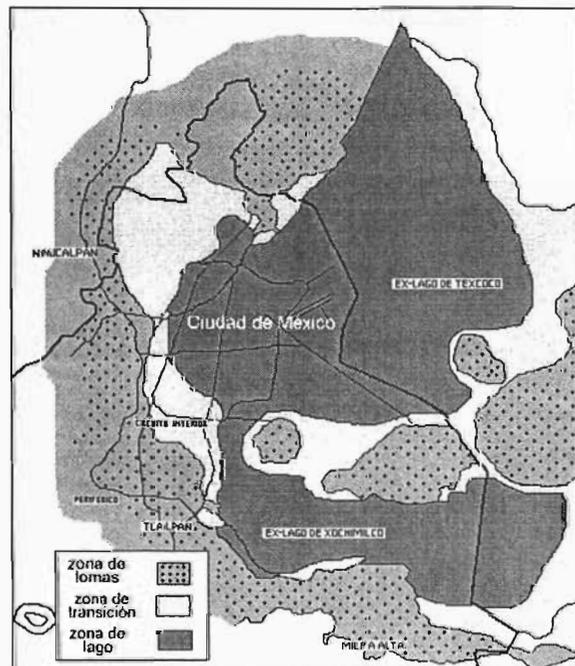


Figura 4.2. Regionalización Geotécnica del valle de México tomada de la página del Servicio Sismológico Nacional.

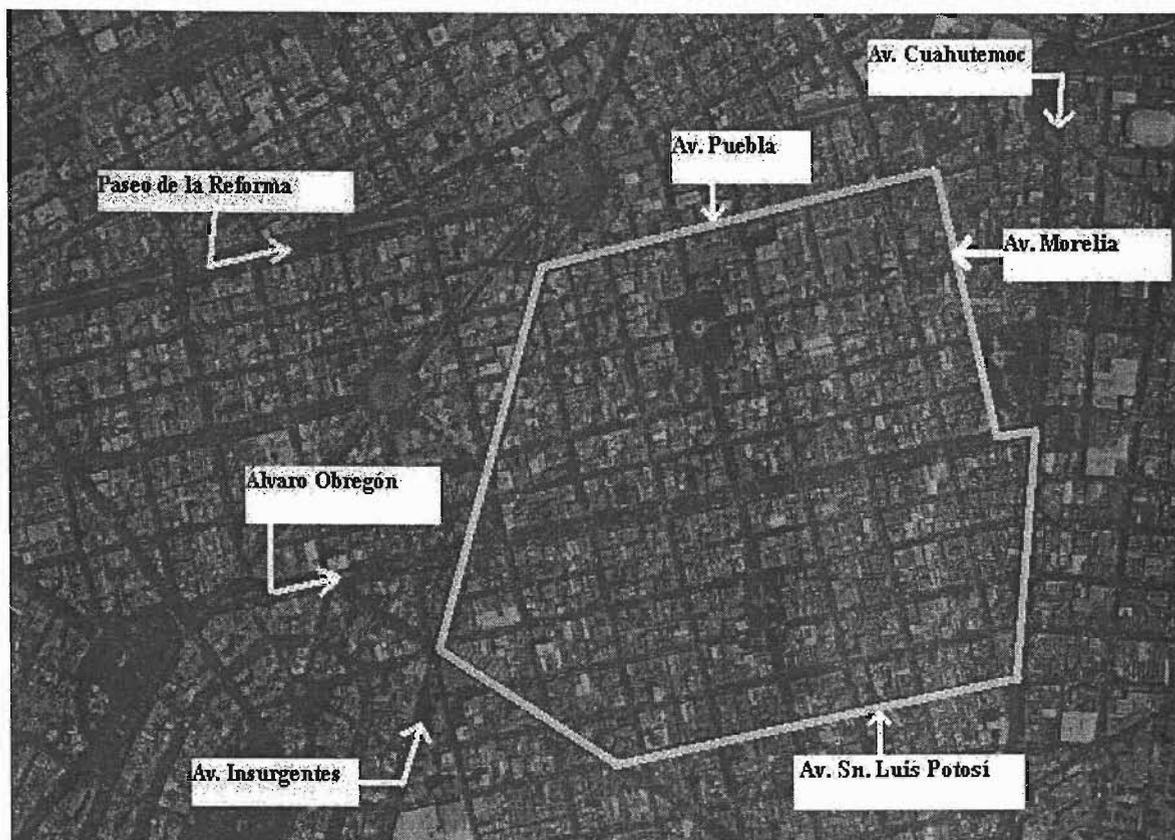


Figura 4.3. Zona de estudio en la Colonia Roma.

### 4.3 CENSO

Con la experiencia adquirida al realizar el censo en Chilpancingo (Capítulo 3), se inició el levantamiento, tomando en cuenta detalles importantes, como la información sobre daños y reparaciones previas, regularidad en planta y elevación, la seguridad de los elementos no estructurales y número de manzana, es por ello que se realizó un formato para levantar los datos incluido como apéndice B en este trabajo.

La base de datos digital que se ha realizado hasta ahora corresponde a 1439 estructuras, se ha realizado en un periodo de tres años aproximadamente. La zona de estudio, está conformada por 71 manzanas, de las cuales sólo 67 tienen estructuras, las otras 4 se destinan a plazas públicas y jardines. Se han elaborado formatos de captura de información, se han tomado fotografías de las estructuras y se ha recopilado la mayor información estructural posible, además de información sobre elementos no estructurales. El tiempo aproximado que ha requerido este trabajo es de 3000 horas; este tiempo incluye el necesario para entrenar al personal, para realizar el censo en campo, capturar la información en gabinete, lo que implica recursos humanos, técnicos y económicos. La base completa consta de más de 1400 expedientes en formatos de campo, de una base de datos digital con las fotografías digitales de cada estructura censada.

## 4.4 BASE DE DATOS DE LA COLONIA ROMA

La base de datos cuenta con 1439 expedientes de la zona de estudio, asociados a cada predio de las 67 manzanas, hay terrenos baldíos o abandonados y otros, son de estacionamientos sin estructura, en total, 39 predios. Tienen poco impacto en los resultados, debido a que en su mayoría son terrenos que cuando mucho tienen una barda perimetral, o una malla.

### 4.4.1 Formulario de captura

Para facilitar el manejo de la información, se elaboró un nuevo formulario de captura diferente al de Chilpancingo, que incluye información Fotográfica, y nuevos campos, en los que se destaca la asignación de la Clase de Vulnerabilidad y el Grado de Daño actual de cada estructura como puede apreciarse en la parte inferior de la Figura 4.4.

**VULNERABILIDAD SISMICA COLONIA ROMA**

**EXPEDIENTE** 10-a

**FOTOGRAFIA**

CALLE Y NUMERO Córdoba # 171

ENTRE Córdoba

Y Querétaro MANZANA Mz-56

COLONIA Roma

DELEGACION Cuauhtémoc

CP 06700

UBICACION Esquina

COLINDANCIAS Edif. De 2 niveles en ambos lados

EPOCA DE CONSTRUCCION Entre 1957 y 1985

NUMERO DE NIVELES 2

TIPO DE TERRENO Lacustre

NUMERO DE SOTANOS 0

REGULARIDAD EN PLANTA Buena

REGULARIDAD VERTICAL Buena

USO PRINCIPAL Casa Habitación

TIPO DE CIMENTACION Mampostería de piedra

TIPO DE ESTRUCTURA Mampostería con refuerzo y ladrillo sólido

ESTRUCTURACION Muros de Carga

SISTEMA DE PISO Losa Maciza con traves

DAÑOS PREVIOS POR SISMIC No

REPARACIONES ANTERIORES No

SEGURIDAD DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES Aceptable

CLASIFICACION DE ESTRUCTURA B (Mamp, parcialmente reforzada, ladrillo sólido)

GRADO DE DAÑO 1

CLASE DE VULNERABILIDAD C

OBSERVACIONES GENERALES Edificación regular.

Registro: 14 de 1439

Figura 4.4 Formulario de Captura

#### **4.4.2 Mapas para el manejo de la información.**

La información recabada de la base de datos, se vació en mapas para el manejo de la información, cada predio está ubicado de forma precisa, cada uno cuenta con una etiqueta de identificación que indica la brigada que recolectó la información, el número de expediente correspondiente a la base de datos, el tipo de material así como su nivel de refuerzo, la clase de vulnerabilidad asignada de acuerdo con las recomendaciones de la EME y su adaptación a las estructuras mexicanas (Juárez y otros, 2001). Por último el grado de daño actual de las estructuras de acuerdo con la EME-98.

Estos mapas están en formato de Autocad®; cada parámetro de interés (material, clase de vulnerabilidad o grado de daño) lo hemos separado en capas, y para cada capa designamos un color. De esta forma, podemos manejar la información gráficamente y concentrarnos en las estructuras que presentan mayores problemas se cuenta con mapas que distinguen el nivel de refuerzo, la clase de vulnerabilidad y el grado de daño actual.

#### **4.4.3 Información estructural**

En este punto, lo mismo que en el caso de Chilpancingo, se toman en cuenta las propiedades estructurales que proporcionan la mayor información respecto al comportamiento estructural de las edificaciones. Se incluyen datos sobre la edad (año de construcción) la que diferenciamos en épocas de construcción ya que nos indica la reglamentación vigente (los coeficientes de diseño sísmico), el material, el número de niveles, el uso de la estructura por nivel (en esta zona de la ciudad existen muchas estructuras con comercios en la planta baja y uso habitacional en los niveles superiores), la estructuración (hay muchas estructuras con planta baja flexible), el sistema de piso que en las estructuras antiguas es de vigas de madera o hierro con bóvedas de mampostería conocidas como losa catalana, la cimentación, las colindancias (que en la mayoría de las construcciones son inadecuadas), la presencia de daño así como sus reparaciones, la regularidad en planta y elevación; la ubicación dentro de la manzana y un apartado para observaciones, en el que se puede incluir información acerca de la presencia de problemas estructurales visibles, tales como: grietas, hundimientos, desplomes, falta de mantenimiento.

#### **4.4.4 Seguridad de elementos no estructurales**

En la información sobre Seguridad de Elementos no Estructurales se encuentra la información acerca de pretilas, vidrios, e instalaciones entre otros. Las calificaciones asignadas para estos elementos pueden ser: Aceptable, Intermedia o Alta. Las calificaciones resumen el nivel de riesgo que representan los elementos no estructurales del exterior y del interior. Sin embargo, la seguridad al interior es un parámetro menos confiable que la exterior, dado la dificultad para acceder al interior de las viviendas.

Puede incluirse en el formulario de captura, la seguridad dentro de las estructuras, sobretodo para tomar en cuenta que aún cuando la estructura no tenga daño estructural, pueden resultar lesionados por el vuelco de muebles y ruptura de vidrio al interior.

#### 4.4.5 Información fotográfica

La Información Fotográfica es determinante, ya que permite mostrar detalles de la estructura que son difíciles de describir en el formulario del censo, y muestra claramente la gravedad de los problemas estructurales y de mantenimiento.

El nuevo formulario de la base de datos, permite agregar una fotografía representativa de la estructura, pero los detalles de grietas y humedades no se muestran directamente, pero existen y si se requieren, pueden consultarse en la base de fotografías.

#### 4.5 ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS

La información recabada sirvió para elaborar una base de datos digital. La información electrónica es útil para poder agrupar, resumir, relacionar y graficar los datos. El formulario muestra la información de cada inmueble (ver Figura 4.4). En la base de datos se agruparon las estructuras de acuerdo con el tipo de material de construcción; sin embargo, en cada grupo de estructuras (Mampostería, Concreto y Acero) existen diversas características estructurales o subgrupos, por esta razón en las tablas que se presentan más adelante, se conservaron las características de las estructuras de manera completa. Las diferentes características estructurales utilizadas en el análisis de los datos, se resumen en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Características Estructurales.

Uso por nivel	Tipo de estructura	Estructuración	Sistema de piso	Cimentación
Casa habitación	Acero	Muros de carga	Lámina	Cajón
Estacionamiento	Mampostería con refuerzo	Marcos	Losa maciza	Mampostería de adobe
Planta baja comercial, pisos superiores habitacionales	Mampostería sin refuerzo	Muros de concreto	Losa reticular	Mampostería de piedra
Planta baja comercio y habitación	Concreto prefabricado	Losa maciza	Madera y teja	Pilotes de punta
Servicio comunitario	Concreto reforzado	Marcos y muros de carga	Otros	Polines enterrados en el suelo
Servicio particular comercio	Otros	Mixta	Sin techo	Sin cimentación
Servicio público		Losa reticular	Vigueta y bovedilla	Zapatas aisladas
Terreno baldío		Vigueta y bovedilla		Zapatas aisladas más piedra
		Muros de madera		Zapatas corridas
		Sistema de techo de madera		
		Sin estructura		

#### 4.5.1 Materiales

De las 1439 estructuras censadas se tiene la distribución de acuerdo al material de construcción (ver Tabla 4.2), de ellas, 965 (66%) son estructuras de mampostería, 425 (30%) son estructuras de concreto, 10 (1%) son estructuras de acero y 39 (3%) no tienen estructura. Para poder aprovechar la información recabada del tipo de material, hemos creado el mapa de la Figura 4.5 que muestra la distribución espacial de las estructuras en la



barro rojo recocido, tabiques extruidos, etc. La variación de la resistencia de las piedras o tabiques manufacturados, es tan grande que sería casi imposible determinar el comportamiento y la resistencia sísmica de un grupo de estructuras a partir de otro. Los materiales resistentes como los tabiques de concreto pesados, pueden tener una resistencia a la compresión muy elevada, sin embargo el mortero con el cuál estén unidos puede ser de una calidad muy inferior, y pueden llegar a comportarse de manera similar a las estructuras construidas con tabiques de baja calidad y morteros pobres; estas características deben considerarse para establecer la clase de vulnerabilidad más apropiada.

El comportamiento y la resistencia sísmica de las estructuras de mampostería varía con la cantidad de elementos de refuerzo lateral que posean. Existen construcciones muy antiguas sin refuerzo lateral; o estructuras que carecen de confinamientos laterales adecuados. Todas estas estructuras tienen resistencias sísmicas diferentes; también hay estructuras muy pesadas con sistemas de piso flexibles, que exhiben un comportamiento deficiente ante fuerzas sísmicas, por lo que su resistencia y comportamiento sísmico se vuelve cuestionable.

Las estructuras de mampostería están divididas en dos grupos: mampostería sin refuerzo y mampostería con refuerzo. El tipo de estructuración predominante en ambos grupos es el de estructuras con muros de carga reforzados, la cimentación es de zapatas corridas. El sistema de piso es con losas macizas perimetralmente apoyadas. Estas estructuras tienen pocos niveles, el uso al que generalmente se destinan es habitacional y de comercio (ver Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Estructuras de mampostería con y sin refuerzo

Estructuración		Niveles		Sistema de Piso		Cimentación		Uso	
Muros de carga	955	0	13	Losa maciza	538	Zapatas corridas	225	Habitacional	499
Mixta	5	1	151	Bóveda Catalana	396	Zapatas aisladas	4	Garaje	36
Bardas	40	2	518	Vigueta y bovedilla	4	Mampostería de piedra	736	Planta baja comercial, superiores habitacionales	184
		3	273	Lámina	20	Sin cimentación	35	Oficinas privadas	53
		4	41	otros	2			Comercio	91
		5	2	Sin techo	40			Servicio público	117
		6	1					Terreno bardeado	20
		>6	1						

#### 4.5.2.1 Mampostería con Refuerzo y Ladrillo Hueco

Las edificaciones destinadas a vivienda tienen cimentación de piedra, cuentan con muros de carga y losas macizas de concreto, en la Figura 4.6 se muestra una estructura de este tipo.

#### 4.5.2.2 Mampostería con refuerzo y ladrillo sólido.

La clase de vulnerabilidad y grado de daño actual se puede observar en la tabla 7 en la columna Estado Actual; éstas estructuras son las que predominan en la zona, aunque distribuidas en tres clases de vulnerabilidad, dichas edificaciones destinadas a vivienda, tienen en muchos casos espacios destinados a comercios en la planta baja; el sistema de piso varía ampliamente y va desde las tradicionales losas catalanas hasta la losa maciza. Los sistemas resistentes característicos son los muros de carga, algunos están reforzados de una forma muy ligera, aunque tienen refuerzo, no puede considerarse como mampostería confinada. En estas edificaciones las edades revelan la clase de vulnerabilidad y el grado de daño, en a Figura 4.7 se muestran estructuras representativas de este tipo.

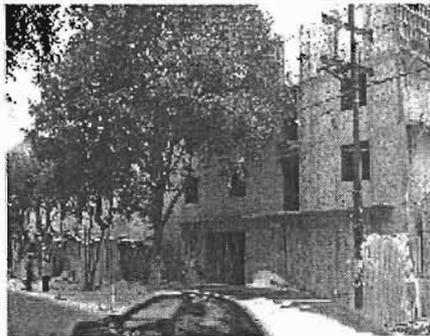


Figura 4.6 Mampostería con refuerzo y ladrillo hueco

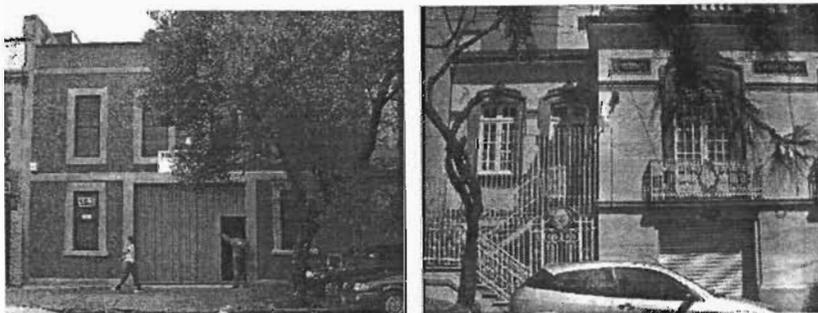


Figura 4.7 Mampostería con refuerzo y ladrillo sólido

#### 4.5.2.3 Mampostería sin refuerzo

Estas estructuras construidas generalmente antes de 1957, están cimentadas en zapatas corridas de piedra, su uso es habitacional, su sistema de piso es "catalán" o de madera, en algunos casos presentan daño ocasionado por hundimientos y por la frecuencia de sismos pasados a la que se han sometido, la Figura 4.8 muestra elementos representativos de este tipo.



Figura 4.8 Mampostería sin refuerzo

### 4.5.3 Estructuras de concreto reforzado.

Las estructuras de concreto reforzado varían ampliamente en diseño y resistencia; por lo cual resulta difícil presentar una guía simple de clasificación, sin embargo se ha hecho una división basada en el nivel de diseño sismo-resistente, la edad de la construcción así como el nivel de ingeniería y asesoría involucrado. En la zona de estudio hay estructuras de concreto que sustituyeron a estructuras dañadas en sismos anteriores, lo que ha provocado que estas tengan un mejor nivel de seguridad estructural.

#### 4.5.3.1 Concreto Reforzado

Las estructuras de concreto se componen generalmente de concreto reforzado (ver la Figura 4.9), estructuradas mediante marcos de concreto, en algunos casos con muros de mampostería. Se usan generalmente para estructuras de mediana altura, de 5 niveles en adelante. El sistema de piso empleado en estas estructuras es de dos tipos, losa plana y losa maciza. La cimentación es generalmente de zapatas corridas. Los usos son diversos, aunque predomina el uso para oficinas y habitacional. Cabe destacar el hecho de que las estructuras de mampostería reforzada, que cuentan con elementos de concreto de dimensiones superiores a las típicas, se han clasificado dentro del grupo de estructuras de concreto (ver Tabla 4.4). Estas estructuras son, en general, “más altas” que las de mampostería, están cimentadas con zapatas corridas o cajón, su sistema estructural es con marcos resistentes a momento que, en algunos casos, presentan muros de concreto o de mampostería. El sistema de piso es de losa maciza y losa plana, las estructuras se destinan a departamentos y oficinas.

#### 4.5.3.2 Concreto Prefabricado

Este tipo de estructuras es escaso en la zona de estudio, y básicamente se refiere a las estructuras de concreto a las que se les ha proporcionado un sistema de piso prefabricado, basado en viguetas preesforzadas, el tipo de estructuras, puede verse en la Figura 4.10

Tabla 4.4 Estructuras de concreto reforzado.

Estructuración		Niveles		Sistema de Piso		Cimentación		Uso	
Marcos contraventeados	4	1	1	Losa maciza	388	Zapatas corridas	248	Habitacional	157
Marcos	140	2	12	Losa reticular	20	Zapatas aisladas	2	Garaje	3
Marcos muros con de concreto	17	3	52	Vigueta y bovedilla	20	Cajón	175	Planta comercial, superiores habitacionales	137
Marcos muros con de mampostería	267	4	110			Pilotes	3	Oficinas privadas	43
		5	134					Comercio	25
		6	59					Servicio público	63
		7	21						
		8	23						
		>8	16						



Figura 4.9 Concreto reforzado

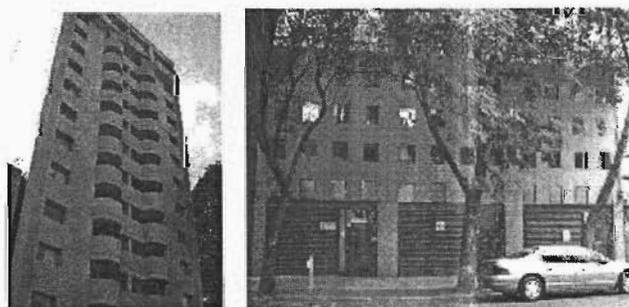


Figura 4.10 Concreto Prefabricado

#### 4.5.4 Periodo de construcción

Las estructuras en la Colonia Roma son en su mayoría de antes de 1985 (87.8%), es decir, se construyeron con reglamentos anteriores a los vigentes, lo que supone vulnerables a las estructuras que no se hayan reforzado para resistir las nuevas fuerzas del reglamento.

De las estructuras que no poseen ningún tipo de refuerzo, 29 (93.5%) son anteriores a 1957, y las restantes (6.5%) entre 1957 y 1985. Las estructuras de ladrillo sólido que tienen algún tipo de refuerzo, pero que éste no logra confinar los muros, 463 son anteriores a 1957, 377 son de la época entre 1957 y 1985 y sólo 9 son posteriores a 1985 según los datos proporcionados por los propietarios.

Es lógico que después de 1985, las nuevas estructuras de mampostería sean confinadas, respondiendo al pobre desempeño mostrado en los sismos de 1985 y anteriores.

Las estructuras de concreto tienen un comportamiento un poco distinto, la mayoría 358 (85.4%) son anteriores a 1985, muchas de estas estructuras son bajas, de menos de 6 niveles y cuentan con accesorias en la planta baja, lo que implica que el primer nivel es flexible, sin embargo, su comportamiento fue aceptable.

Cuando se observa la Tabla 4.5, se aprecia que la mayoría de los predios que no tienen estructura y surgen después de 1985, que son los predios de estructuras muy dañadas o colapsadas, que en actualmente se dedican a estacionamiento.

Tabla 4.5 Clasificación de la estructura vs. Época de construcción.

Clasificación de la Estructura	Antes de 1957	Entre 1957 y 1985	Después de 1985	Total
Mampostería sin refuerzo	29	2	0	31
Mampostería, parcialmente reforzada, ladrillo sólido	463	377	9	849
Mampostería, parcialmente reforzada, ladrillo hueco	0	2	0	2
Mampostería confinada	1	7	75	83
Concreto reforzado	48	310	61	419
Concreto prefabricado	0	6	0	6
Acero	0	5	5	10
Sin estructura	2	11	26	39
Total	543	720	176	1439

#### 4.6 MAPAS DE CLASE DE VULNERABILIDAD Y DAÑO ACTUAL

Se realizaron mapas como el que se muestra en la Figura 4.11; los mapas contienen tres niveles de información: el primero, muestra el tipo de estructuras; el segundo, describe la clase de vulnerabilidad asignada en este estudio; y el tercero, proporciona información relevante del grado de daño de las estructuras.

Toda esta información permite generar mapas que muestran la distribución espacial de las estructuras de mampostería y de concreto en la zona de estudio. Para las estructuras de mampostería y de concreto, se generaron mapas donde se muestra la clase de vulnerabilidad y el grado de daño.

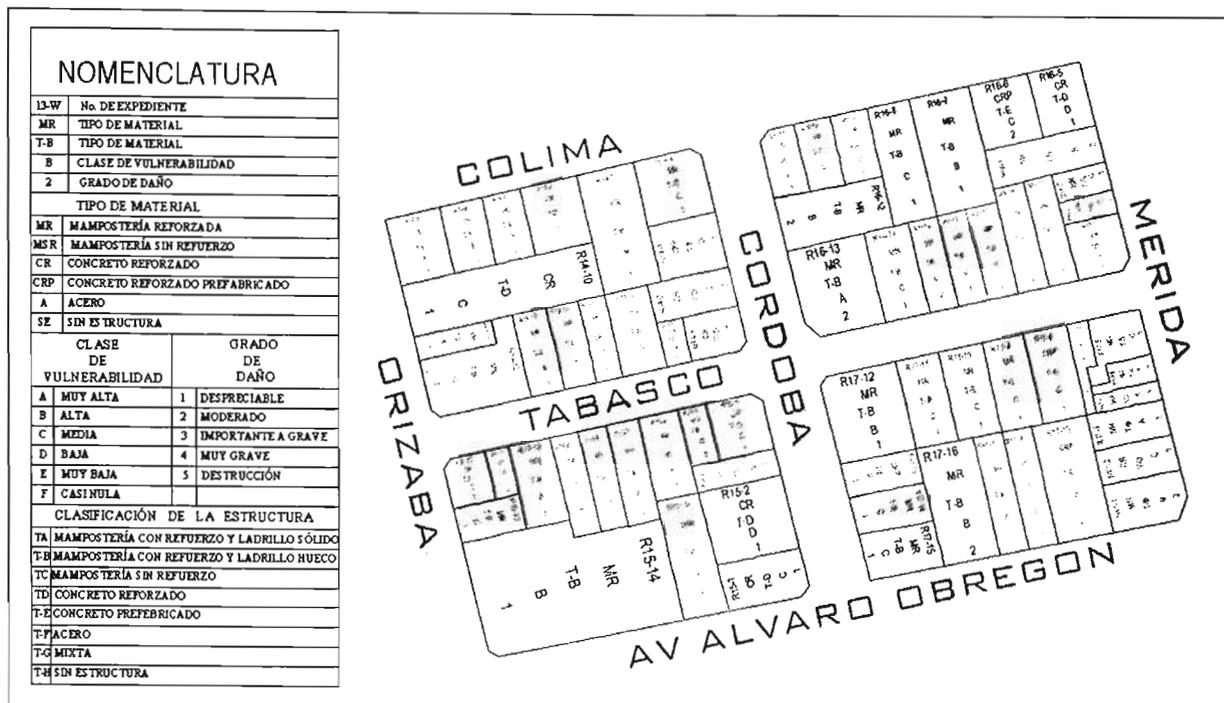


Figura 4.11 Características Estructurales Clase de Vulnerabilidad y Grado de daño

Esta información es muy útil, ya que con un estudio de peligro sísmico, se elaboran mapas de vulnerabilidad en cada escenario de riesgo; para que se puedan establecer estrategias de emergencia en zonas específicas de la Colonia Roma. Si se elaboran estudios similares en otras zonas de la ciudad, las autoridades podrán establecer zonas de máxima prioridad de emergencia, que les permitan obtener el máximo provecho a los recursos de contingencia.

#### 4.6.1 Mapa de clase de vulnerabilidad

En la Figura 4.12 se muestra el mapa de clases de vulnerabilidad actuales de las estructuras. Los colores representan la clase de vulnerabilidad, el color rojo, representa la clase de vulnerabilidad más alta (clase A), es decir las estructuras con desempeño sísmico deficiente; las estructuras representadas por colores como el azul cielo o el gris, son las estructuras menos vulnerables (clase F). El mapa, muestra la distribución de dichas estructuras de forma espacial, esto puede ayudar a las autoridades que toman las decisiones sobre los lugares que deben revisarse primero en caso de un sismo intenso.

Para que el mapa sea más completo, se incluyeron las estructuras de acero, aunque en los cálculos de las estructuras dañadas, no las hayamos incluido, ya que representan menos del 1%. El número de estructuras dañadas, no es sensible a este tipo de material, además que en la EME-98, las estructuras de acero tienen la clase de vulnerabilidad más baja, y ante un sismo Muy Destructor (Intensidad X), las estructuras tendían apenas un grado de daño 2 (estructural ligero y no estructural moderado).

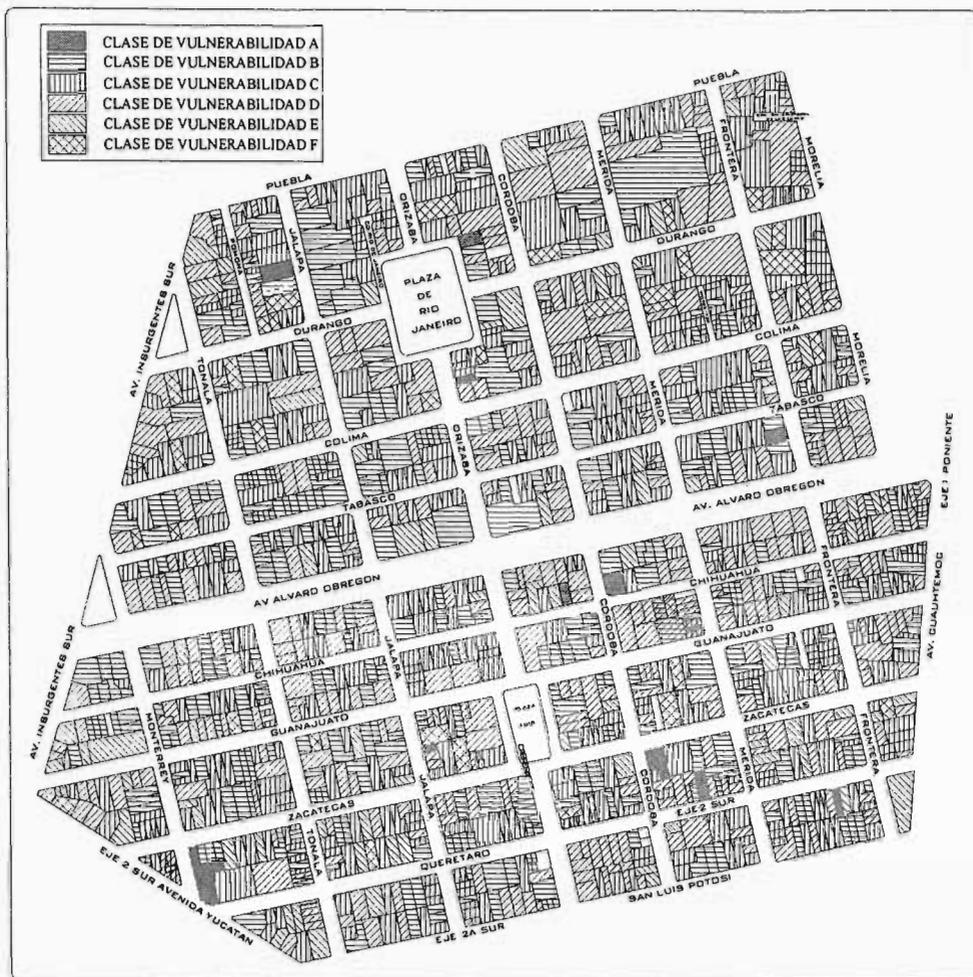


Figura 4.12 Clases de vulnerabilidad.

#### 4.6.2 Mapa de grado de daño

En la Figura 4.13 se presenta el mapa de grados de daño asignados a las estructuras. Los colores muestran la distribución de grados de daño que presentan actualmente las estructuras. Esta información resulta muy útil si se desea emprender campañas de prevención, como la reducción de la vulnerabilidad sísmica de estructuras, por parte de las diferentes entidades de gobierno, como lo son Protección Civil entre otras. Es importante destacar que en algunos lotes que se marcan con grado de daño 0 o sin grado de daño, se refiere a lotes sin estructuras, ya sea porque son terrenos baldíos o porque el uso es de estacionamiento y no tienen casetas o algún otro tipo de estructuras. En este mapa se les asignó a las estructuras de mampostería el grado de daño uno cuando su se construyeron antes de 1957, debido a que han estado sujetas a varios ciclos de carga por sismos anteriores.



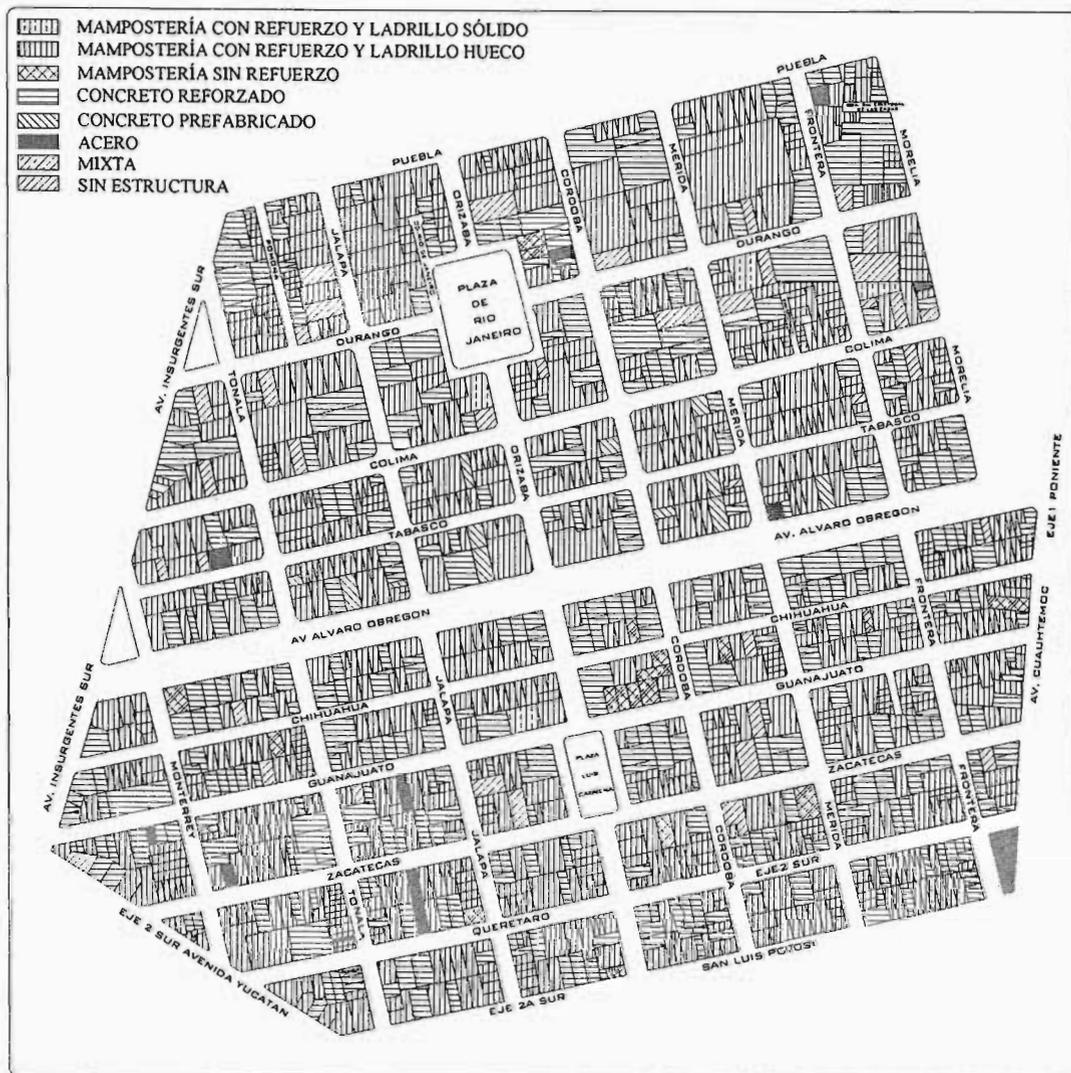


Figura 4.14 Distribución de las estructuras por tipo.

#### 4.7 PELIGRO SÍSMICO

De acuerdo a Gómez-Bernal y otros (2004) y al Anexo A, quienes realizaron un estudio de peligro sísmico, la máxima aceleración del terreno sería  $A_{m\acute{a}x}=0.23g$ , si se considera un terremoto de  $M_w=8.1$  que ocurre a una distancia aproximada al epicentro de 300 km. Dicha aceleración corresponde a una intensidad en la EME-98 de VIII, sin embargo, para obtener mayor información, pueden hacerse los cálculos para otras intensidades.

#### 4.8 GRADOS DE DAÑO ANTE LA INTENSIDAD VIII, DISTRIBUCIÓN POR MATERIAL.

De acuerdo a la sección anterior, aceptando que en el escenario sísmico se presentará la intensidad VIII, se puede estimar el número de estructuras dañadas para cada clase de vulnerabilidad, a continuación se detalla para cada tipo de estructura.

### 4.8.1 Mampostería sin refuerzo

Las estructuras de Mampostería sin refuerzo son 31, (ver la tabla 4.7), presentan un cambio grande en los grados de daño, debido a la susceptibilidad inherente de dichas estructuras, todas las estructuras clase A, podrían alcanzar un grado de daño mayor o igual a tres, el 70% de las estructuras Clase B, podrían alcanzar grado de daño 3, hay sólo una estructura con clase C, es de mampostería de piedra con buen mantenimiento, destinada a iglesia, no alcanza un grado de daño elevado ante una intensada de VIII en la EME-98.

Tabla 4.7 Cambio en los grados de daño de la Mampostería sin refuerzo.  
Los datos entre paréntesis, son los porcentajes respecto a las clases.

ESTADO ACTUAL								DAÑO ALCANZADO							
GD	Clase de vulnerabilidad							GD	Clase de vulnerabilidad						
	A	B	C	D	E	F	Total		A	B	C	D	E	F	Total
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1 (17)	13 (54)	1 (100)	0	0	0	15 (48)	1	0	0	0	0	0	0	0
2	4 (67)	7 (29)	0	0	0	0	11 (35)	2	0	7 (29)	1 (100)	0	0	0	8 (26)
3	0	2 (8)	0	0	0	0	2 (6)	3	2 (33)	13 (54)	0	0	0	0	15 (48)
4	1 (17)	2 (8)	0	0	0	0	3 (10)	4	3 (50)	4 (17)	0	0	0	0	7 (23)
5	0	0	0	0	0	0	0	5	1 (17)	0	0	0	0	0	1 (3)
Total	6 (100)	24 (100)	1 (100)	0	0	0	31 (100)	Total	6 (100)	24 (100)	1 (100)	0	0	0	31 (100)

### 4.8.2 Mampostería parcialmente reforzada.

Las estructuras de Mampostería parcialmente reforzadas, son mayoría en la Colonia Roma son 850 estructuras en la zona de estudio, (ver la tabla 4.8). En este tipo de estructuras encontramos clases de vulnerabilidad desde la A, que tienen configuraciones muy malas y con pésimo mantenimiento, y estructuras con clase de vulnerabilidad D, con muy buen mantenimiento y excepcionalmente bien concebidas. 3 estructuras son Clase de vulnerabilidad A, 362 Clase B, 478 Clase C y 7 Clase D. Cuando la Intensidad es VIII, la todas las estructuras clase A pueden alcanzar el grado de daño 3, sin embargo como sin muy pocas (3) no es un dato determinante, más de 250 estructuras clase B (70%) podrían alcanzar el grado de daño 3, alrededor de 70 estructuras (15%) clase C podrían alcanzar el grado de daño 3, las otras estructuras no alcanzarían un grado de daño importante ante la intensidad VIII, es importante señalar que la mayoría de las estructuras pueden sufrir algún tipo de daño, aunque sería daño estructural ligero y daño no estructural moderado y para cerca del 40% de las estructuras, el daño sería severo.

### 4.8.3 Mampostería confinada.

Las estructuras de Mampostería confinada son 83, (ver la tabla 4.9), están divididas en cuatro clases de vulnerabilidad, de la B a la E, estas estructuras en su mayoría son de clase D y E, es decir con vulnerabilidad baja y muy baja, es por ello que solamente una estructura

se este tipo, podría alcanzar el grado de daño 3, y es una estructura que tiene daño actual, si ocurre la intensidad VIII debido a un sismo, el 100% de las estructuras de mampostería confinada, pueden tener algún grado de daño, sin embargo, predominaría el daño no estructural (83%) y el daño estructural ligero (16%), por lo que las consecuencias sobre la mampostería confinada es despreciable.

Tabla 4.8 Cambio en los grados de daño de la Mampostería parcialmente reforzadas.  
Los datos entre paréntesis, son los porcentajes respecto a las clases.

ESTADO ACTUAL								DAÑO ALCANZADO							
GD	Clase de vulnerabilidad							GD	Clase de vulnerabilidad						
	A	B	C	D	E	F	Total		A	B	C	D	E	F	Total
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	233 (64.4)	396 (82.8)	7 (100)	0	0	636 (74.8)	1	0	0	144 (30.1)	4 (57.1)	0	0	148 (17.4)
2	1 (33.3)	126 (34.8)	82 (17.2)	0	0	0	209 (24.6)	2	0	109 (30.1)	263 (55)	3 (42.9)	0	0	375 (44.1)
3	0	2 (0.6)	0	0	0	0	2 (0.2)	3	1 (33.3)	199 (55.0)	71 (14.9)	0	0	0	271 (31.9)
4	1 (33.3)	0	0	0	0	0	1 (0.1)	4	1 (33.3)	53 (14.6)	0	0	0	0	54 (6.4)
5	1 (33.3)	1 (0.3)	0	0	0	0	2 (0.2)	5	1 (33.3)	1 (0.3)	0	0	0	0	2 (0.2)
Total	3 (100)	362 (100)	478 (100)	7 (100)	0	0	850 (100)	Total	3 (100)	362 (100)	478 (100)	7 (100)	0	0	850 (100)

Tabla 4.9 Cambio en los grados de daño de la Mampostería confinada.  
Los datos entre paréntesis, son los porcentajes respecto a las clases.

ESTADO ACTUAL								DAÑO ALCANZADO							
GD	Clase de vulnerabilidad							GD	Clase de vulnerabilidad						
	A	B	C	D	E	F	Total		A	B	C	D	E	F	Total
0	0	0	0	1 (1%)	0	0	1 (1)	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1 (100)	73 (97)	6 (100)	0	80 (96)	1	0	0	63 (84)	6 (100)	0	0	69 (83.1)
2	0	1 (100)	0	1	0	0	2 (2)	2	0	0	1 (100)	12 (16)	0	0	13 (15.7)
3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1 (100)	0	0	0	0	1 (1.2)
4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	1 (100)	1 (100)	75 (100)	6 (100)	0	83 (100)	Total	0	1 (100)	1 (100)	75 (100)	6 (100)	0	83 (100)

#### 4.8.4 Resumen de la mampostería.

Las estructuras de Mampostería son 964, (ver Tabla 4.10), de ellas, 9 son clase A, 387 son clase B, 480 son clase C, 82 son clase D y 6 son clase E. Aproximadamente 350 estructuras podrían resultar con daño estructural importante, de ellas, alrededor de 60 podrían tener colapsos parciales, pero no se espera ningún colapso total.

Tabla 4.10 Resumen del cambio en los grados de daño de la Mampostería.  
Los datos entre paréntesis, son los porcentajes respecto a las clases.

ESTADO ACTUAL								DAÑO ALCANZADO							
GD	Clase de vulnerabilidad							GD	Clase de vulnerabilidad						
	A	B	C	D	E	F	Total		A	B	C	D	E	F	Total
0	0	0	0	1 (1.2)	0	0	1 (0.1)	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1 (11.1)	246 (63.6)	398 (82.9)	80 (97.6)	6 (100)	0	731 (75.8)	1	0	144 (30)	67 (81.7)	6 (100)	0	217 (22.5)	
2	5 (55.6)	134 (34.6)	82 (17.1)	1 (1.2)	0	0	222 (23)	2	0	116 (30)	265 (55.2)	15 (18.3)	0	396 (41.1)	
3	0	4 (1)	0	0	0	0	4 (0.4)	3	3 (33.3)	213 (55)	71 (14.8)	0	0	287 (29.89)	
4	2 (22.29)	2 (0.5)	0	0	0	0	4 (0.4)	4	4 (44.4)	58 (15)	0	0	0	62 (6.4)	
5	1 (11.1)	1 (0.3)	0	0	0	0	2 (0.2)	5	2 (22.2)	0	0	0	0	2 (0.29)	
Total	9 (100)	387 (100)	480 (100)	82 (100)	6 (100)	0	964 (100)	Total	9 (100)	387 (100)	480 (100)	82 (100)	6 (100)	0	964 (100)

#### 4.8.5 Estructuras de concreto.

Las estructuras de concreto están divididas en clases de vulnerabilidad, en total son 426 (ver Tabla 4.11), 7 son B, 57 clase C, 298 clase D, 63 Clase E y 1 clase F. Cuando la Intensidad es VIII, las estructuras quedan con la siguiente composición. Aproximadamente 15 estructuras alcanzarían un grado de daño fuerte, de ellas 1 podría tener colapso parcial y 2 colapso total. El 95% podría tener algún tipo de daño, no estructural o estructural ligero.

Tabla 4.11 Cambio en los grados de daño del Concreto Reforzado.  
Los datos entre paréntesis, son los porcentajes respecto a las clases.

ESTADO ACTUAL								DAÑO ALCANZADO							
GD	Clase de vulnerabilidad							GD	Clase de vulnerabilidad						
	A	B	C	D	E	F	Total		A	B	C	D	E	F	Total
0	0	0	0	0	5 (7.9)	1 (100)	6 (1.4)	0	0	0	0	0	5 (7.9)	1 (100)	6 (1.4)
1	0	0	42 (73.7)	268 (89.9)	56 (88.9)	0	366 (85.9)	1	0	17 (29.8)	223 (74.8)	55 (87.3)	0	295 (69.2)	
2	0	5 (71.4)	14 (24.6)	30 (10.1)	2 (3.2)	0	51 (12)	2	0	1 (14.3)	31 (54.4)	75 (25.2)	3 (4.8)	110 (25.8)	
3	0	1 (14.3)	0	0	0	0	1 (0.29)	3	0	4 (57.1)	8 (14)	0	0	12 (2.8)	
4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1 (14.3)	0	0	0	1 (0.2)	
5	0	1 (14.3)	1 (1.8)	0	0	0	2 (0.05)	5	0	1 (14.3)	1 (1.8)	0	0	2 (0.5)	
Total	0	7 (100)	57 (100)	298 (100)	63 (100)	1 (100)	426 (100)	Total	0	7 (100)	57 (100)	298 (100)	63 (100)	1 (100)	426 (100)

## 4.9 DISTRIBUCIÓN DEL DAÑO POR TIPO DE ESTRUCTURA

### 4.9.1 Grado mayor o igual a 2.

El 53% de las estructuras de Mampostería cambiarán de grado de daño a ante una intensidad de VIII en la EME-98 (ver Tabla 4.12). De esas estructuras, las que sufrirían el mayor cambio en el grado de daño, son las parcialmente reforzadas, el 58% tendrán un grado de daño igual a dos o superior, esto se debe a que son la mayoría de las estructuras de mampostería en la zona y por tanto, es dónde se experimenta el mayor cambio. Las estructuras que sufren el menor cambio en el grado de daño, son las de mampostería confinada, debido a su mejor comportamiento sísmico. Por último las estructuras de mampostería sin refuerzo, ya tienen grados de daño elevados, por lo que el incremento en el porcentaje es menor, pero el porcentaje total es mayor (ver Tabla 7), de hecho, es el 100%.

En las estructuras de concreto reforzado, el cambio en el grado de daño es inferior al de la mampostería, sólo el 17% de las estructuras llegarían a 2 o superior, descontando las estructuras que ya tiene esos niveles de daño.

Tabla 4.12 Cambio a grado mayor o igual a 2.

Tipo de estructura	Daño $\geq$ 2 antes del sismo	Daño $\geq$ 2 después del sismo	Diferencia	Total	% de cambio
Mampostería sin refuerzo	16	31	15	31	48%
Mampostería parcialmente reforzada	214	707	493	850	58%
Mampostería confinada	2	14	12	83	14%
Resumen de Mampostería	232	747	515	964	53%
Concreto reforzado	54	125	71	426	17%

### 4.9.2 Grado mayor o igual a 3.

Pocas estructuras sanas podrían alcanzar un grado mayor o igual a tres, el 35% de las estructuras de mampostería llegan a daño 3 o superior (ver Tabla 4.13), en esta cantidad, las estructuras parcialmente reforzadas tienen una mayor proporción, la influencia de los otros tipos no es significativa, pues son minoría.

En las estructuras de concreto, el aumento en el grado de daño, a niveles de 3 o más, es poco significativo pues sólo el 3% de las estructuras sufrirían ese cambio (ver Tabla 4.13), sin embargo es bueno recordar que en el caso de la relación entre aceleración máxima del terreno y el grado de intensidad, no se ha tomado en cuenta el periodo del suelo, ni el de las estructuras, y es probable, que para las estructuras de concreto, se esté subestimando el grado de daño alcanzado, especialmente en las estructuras con periodos dentro de los intervalos de 0.5 a 1 segundo y de 2 a 2.5 segundos, que son los máximos en los espectros de diseño.

Tabla 4.13 Cambio a grado mayor o igual a 3.

Tipo de estructura	Daño $\geq 3$ antes del sismo	Daño $\geq 3$ después del sismo	Diferencia	Total	% de cambio
Mampostería sin refuerzo	5	23	18	31	58%
Mampostería parcialmente reforzada	5	327	322	850	38%
Mampostería confinada	0	1	1	83	1%
Resumen de Mampostería	10	351	341	964	35%
Concreto reforzado	3	15	12	426	3%

#### 4.9.3 Grado mayor o igual a 4.

Para las estructuras de concreto, ninguna alcanzaría grados de daño de 4 o superiores (Tabla 4.14), esto significa que no habrá colapsos parciales ni totales en este tipo de estructuras. El 6% de las estructuras de mampostería alcanzaría el grado de daño de 4 o superior, predominando dicho daño en las estructuras parcialmente reforzadas, muy pocas estructuras de mampostería no reforzadas y ninguna de las confinadas alcanzarán ese grado de daño (ver Tabla 4.14).

Tabla 4.14 Cambio a grado mayor o igual a 4.

Tipo de estructura	Daño $\geq 4$ antes del sismo	Daño $\geq 4$ después del sismo	Diferencia	Total	% de cambio
Mampostería sin refuerzo	3	8	5	31	16%
Mampostería parcialmente reforzada	13	56	43	850	5%
Mampostería confinada	0	0	0	83	0%
Resumen de Mampostería	6	64	58	964	6%
Concreto reforzado	2	3	1	426	0%

### 4.10 DISTRIBUCIÓN DEL DAÑO POR CLASE DE VULNERABILIDAD

#### 4.10.1 Daño mayor o igual a 2.

Es interesante observar que los cambios en las estructuras a grados de daño 2 o superior se concentre en las de Clase B y C, el cambio de 62 y 47% respectivamente (ver Tabla 4.15), hay que notar que aunque las estructuras Clase A son más vulnerables, muy pocas de ellas no tienen daño, por ello el cambio en el daño es muy inferior a las clases B y C, sin embargo el total de las estructuras clase A tendrán grado de daño 2 o superior. Las estructuras clase D tienen un desempeño superior, por ello sólo el 4% cambiará de cero daño a daño 2.

#### 4.10.2 Daño mayor o igual a 3.

Como en el caso anterior, las estructuras más afectadas serían las correspondientes a las tres primeras clases de vulnerabilidad, tenían porcentajes de daño de 67, 67 y 13% respectivamente (ver Tabla 4.16). Las estructuras de Clase A son poco significativas

cuando hablamos del total de las estructuras. Las estructuras Clase B resultan importantes debido a que proporcionalmente resultarían muy dañadas, aunque en números absolutos, son equiparables a las estructuras Clase C.

Tabla 4.15 Cambio a grados de daño mayor o igual a 2, distribución por clase de vulnerabilidad.

Tipo de estructura	Daño > 2 antes del sismo	Daño > 2 después del sismo	Diferencia	Total	% de cambio
<b>A</b>	8	9	1	9	<b>11%</b>
<b>B</b>	141	387	246	394	<b>62%</b>
<b>C</b>	82	336	254	537	<b>47%</b>
<b>D</b>	1	15	14	380	<b>4%</b>
<b>E</b>	0	0	0	69	0%
<b>F</b>	0	0	0	1	0%

Tabla 4.16 Cambio a grados de daño mayor o igual a 3, distribución por clase de vulnerabilidad..

Tipo de estructura	Daño > 3 antes del sismo	Daño > 3 después del sismo	Diferencia	Total	% de cambio
<b>A</b>	3	9	6	9	<b>67%</b>
<b>B</b>	7	271	264	394	<b>67%</b>
<b>C</b>	0	71	71	537	<b>13%</b>
<b>D</b>	0	0	0	380	0%
<b>E</b>	0	0	0	69	0%
<b>F</b>	0	0	0	1	0%

#### 4.10.3 Daño mayor o igual a 4.

Nuevamente es notorio que las estructuras con Clase de vulnerabilidad B son las más afectadas, pues el 14% de ellas (ver Tabla 4.17) podrían tener un grado de daño mayor o igual a 4, ante un sismo de intensidad VIII, las otras clases de vulnerabilidad no son relevantes, si bien, las estructuras con clase de A alcanzan estos niveles de daño, son un porcentaje tan bajo que puede despreciarse.

Tabla 4.17 Cambio a grados de daño mayor o igual a 4, distribución por clase de vulnerabilidad..

Tipo de estructura	Daño > 4 antes del sismo	Daño > 4 después del sismo	Diferencia	Total	% de cambio
<b>A</b>	3	6	3	9	<b>33%</b>
<b>B</b>	3	58	55	394	<b>14%</b>
<b>C</b>	0	0	0	537	0%
<b>D</b>	0	0	0	380	0%
<b>E</b>	0	0	0	69	0%
<b>F</b>	0	0	0	1	0%

## 4.11 CONCLUSIONES

En la Colonia Roma, las estructuras más vulnerables, son las de mampostería, debido a que muchas de ellas se construyeron antes de 1957 y han estado sometidas a muchos ciclos de carga, debido a ello, algunas presentan daños actualmente, pues no se repararon adecuadamente, o simplemente no se repararon. En algunas estructuras antiguas se pueden ver grietas incluso desde lejos.

Un porcentaje alto de las estructuras de mampostería son anteriores a 1985, de las cuales muchas son de anteriores a 1957. La clase de vulnerabilidad predominante es la B, que indica mamposterías con poco o nulo refuerzo y con sistemas de piso que no garantizan diafragmas rígidos, y además, pueden provocar punzonamiento en las paredes (Bóveda catalana). Aproximadamente un 35% de las estructuras de mampostería resultarían dañadas, si se presenta un sismo con características de 8.1 a una distancia aproximada de 300 km capaz de ocasionar una Intensidad de VIII en la EME-98.

Las estructuras de mampostería con clases de vulnerabilidad C y D, son estructuras recientes, construidas después de 1985, con criterios sismorresistentes adecuados, y es poco probable que se dañen durante el escenario sísmico supuesto, en grados altos y proporción alta.

Las estructuras de concreto, tienen en general menor vulnerabilidad que las de mampostería, 17% de ellas sufrirían daños superiores a 2, la mayor parte de las estructuras de concreto que se dañen, tendrían daños no estructurales moderados y daño estructural ligero, el 3% de las estructuras tendrían daño no estructural grave y estructural moderado. Las estructuras de concreto que sufrirían el mayor daño son aquellas clasificadas como clase de vulnerabilidad D, simplemente por ser más. Una consecuencia en el caso de que una estructura de concreto se dañe, es que implica un mayor número de personas afectadas, ya que por lo general se encontrarán en oficinas o condominios. Las estructuras de concreto en la colonia Roma tienen un amplio espectro de clases de vulnerabilidad, pues van desde la clase B, hasta la clase E. Las de clases B y C, son estructuras con grandes defectos en su concepción, con plantas bajas flexibles y mantenimiento muy pobre, muchas de ellas diseñadas sin medidas especiales para resistir las fuerzas laterales (diseñadas antes de 1957). Las estructuras con Clase E, son las estructuras nuevas, que tienen un diseño sismorresistente adecuado, sin defectos constructivos aparentes y con un mantenimiento adecuado, ninguna de estas estructuras sufriría daño en el escenario de riesgo estimado.

El método para determinar la vulnerabilidad de una zona urbana, empleando la EME-98 como herramienta, es flexible y poderoso. Flexible, porque permite la investigación de una gama muy grande de estructuras, desde las tradicionales de autoconstrucción, hasta las estructuras con niveles altos de diseño sísmico.

En el planteamiento original de la escala, no se toman en cuenta la regularidad de las estructuras para asignar la clase de vulnerabilidad, pero es importante, ya que dos estructuras del mismo material y una de ellas irregular no serán igual de vulnerables, en este trabajo, sí se tomó en cuenta la regularidad para asignar la clase de vulnerabilidad a las estructuras.

Una de las investigaciones que deberán hacerse en el futuro, para refinar el método será formular un matrices de daño que consideren daño actual. Además deberán estudiarse para la zona del lago y para otras zonas urbanas, la relación entre intensidad y aceleración, si bien sabemos serán relaciones particulares y que no podrán extrapolarse, permitirán mayor certeza en los resultados y fortalecerán al método, pues se podrían extender la zonas de estudio a espacios cada vez más amplios en la ciudad.

Deberán generarse mapas dónde se muestren los periodos de las estructuras estimados de forma simplificada y relacionarlos con curvas de aceleraciones que permitan determinar la ubicación espacial de las estructuras dañadas.

El uso de mapas de información, es una de las aportaciones más importantes de este trabajo, pues permite formar atlas de riesgo en los que se señalan las zonas que deberán visitarse primero en caso de un evento sísmico de importancia, los mapas se tienen ubicados los predios con mayores probabilidades de sufrir daño. De la misma manera pueden emplearse para reducir la vulnerabilidad de las estructuras, si en programas de refuerzos de estructuras, se empieza con las más vulnerables.

## APÉNDICE A PELIGRO SÍSMICO.

### A.1 PELIGRO SÍSMICO EN CHILPANCINGO, GRO.

La sismicidad de la zona de subducción y la cercanía de Chilpancingo a esa zona han ocasionado daños severos las construcciones, históricamente se han presentado sismos de magnitudes mayores a 7.5 en la zona, en el siglo XIX y a principios del siglo XX siendo el último gran sismo en 1957, los periodos de recurrencia de eventos de gran magnitud en la zona son cortos (aproximadamente 50 años) y como hace ya 48 años que en la zona no ocurre un sismo de tal magnitud y se espera que en los próximos años ocurra un evento. Los sismos y sus efectos sobre la ciudad pueden observarse en la Tabla A.1 a continuación se muestran los datos publicados por Gómez-Bernal y otros, (2004)

Tabla A.1 Los sismos más destructivos para Chilpancingo (Gómez-Bernal, 1999)

Fecha	M	Intensidad	Descripción de daños	Observaciones
03/04/1768			Daños generales	
28/03/1787		VIII-IX	¿?	Tsunamis
04/05/1820		IX*	Derrumbes y daños graves en la mayoría de las construcciones	Tsunamis
07/04/1845	7.0	IX(VII*)	¿?	
04/12/1852		VI*	Varias casas derribadas y parte de la iglesia	
01/02/1855		VII*	Algunos daños	
19/06/1858		IV*	Cayeron al suelo 60 casas	
16/03/1874		VIII*	La mayoría de las casas con daños graves	
19/07/1881	7.5	VI*	Daño en el palacio de los poderes construido en 1870.	Movimiento local
29/05/1887		IX	Daño en edificios Públicos y particulares	
03/06/1887 (ó 24?)		VIII	Colapso de la torre del reloj público. Muchas "cuarteadoras" y derrumbes	
29/08/1887		VII*	Derrumbe de los arcos de la plaza de armas	
06/09/1889			Daños severos en muchas casas y algunos colapsos	
02/12/1890			Daños graves en el kiosco	
02/11/1894			Colapso parcial del palacio de gobierno. Daños graves en general y algunos colapsos.	
24/01/1899		VI*	No hubo construcción en la ciudad que no haya quedado resentida	
16/01/1902	7.0	VIII-X*	Derrumbe de muchos edificios. Varios edificios públicos y oficiales se derrumbaron. La mayoría de las casas afectadas (614 destruidas y 182 muy dañadas)	Destrucción de casi toda la población.
24/01/1902			Los pocos edificios que resistieron el temblor anterior se resintieron.	
02/04/1902			Daño severo en edificio municipal y de la prefectura.	
14/04/1907	7.8	X	61% de las casas destruidas, 4% habitables y el resto (35%) susceptibles de reparación. Inservibles el Hospital civil y las cárceles. Seriamente dañados: el Palacio de Gobierno, el templo parroquial y las capillas.	La mayoría de las casas eran de adobe.
26/06/1908	7.5	X	Cuartheaduras severas en el Hospital Civil, el colegio del estado y el edificio de la Gendarmería	
30/07/1909	7.7	X (VIII*)	La mayoría de las casas habían sufrido graves desperfectos.	Tsunamis
31/07/1909	7.0	IX-(VI*)	Daños en el Hospital civil y en el templo parroquial.	
06/10/1937	7.2	VIII	Daños generales	
28/07/1957	7.8	X	Casi todas las construcciones dañadas. El 80% de las casas de la ciudad sufrieron daños severos. Derrumbes y daños severos en hoteles, escuelas, en edificios públicos y en iglesias. La carretera Zumpango-Chilpancingo quedó obstruida por el derrumbe de rocas.	Pérdidas por M\$10 en edificios del sector público. 8 muertos
19/09/1985	8.1	VII	Daños severos (estructural fuerte) en algunos de los edificios de concreto reforzado más altos de la ciudad (3 a 6 niveles)	Epicentro a 320 km. 180 gals. de aceleración máxima en suelo blando

### A.1.1 Peligro sísmico en Chilpancingo

Chilpancingo está localizado en la región de más alto riesgo sísmico en México. En el pasado, Chilpancingo ha sido destruido durante movimientos sísmicos violentos. Un análisis de sismos recientes muestra amplificaciones espectaculares del movimiento del suelo durante eventos de subducción. Esta ciudad descansa sobre rellenos aluviales de más o menos 20 metros de profundidad, con una velocidad de onda de cortante entre 300 y 500 m/s, la cual demanda cimentaciones moderadas para las estructuras debajo de éstos estratos están unos depósitos aluviales de alrededor de 100 metros de la no consolidada formación de Chilpancingo, después alrededor de 300 metros de la relativamente no consolidada formación clástica continental del Grupo Balsas con aproximadamente 1000 m/s en la velocidad de la onda S y finalmente la formación Mezcala, un depósito firme del cretáceo. Sobre la pendiente este del valle, la formación Chilpancingo está a nivel de la superficie, sobre la pendiente oeste la formación del grupo Balsas está expuesta. La variación en las condiciones geológicas superficiales en Chilpancingo parece explicar la espectacular amplificación de movimientos fuertes, como ha sido estudiado por Gómez-Bernal y Saragoni (2000).

#### A.1.1.1 Relaciones de atenuación para sismos Inter-placa, Intra-placa y superficiales

En este momento es escasa la información de aceleraciones en suelo firme en la región de Chilpancingo, sin embargo el número de acelerogramas de sismos intensos en suelo blando es relativamente amplio, como lo muestra la Tabla A.2, fuertes movimientos sísmicos han sido registrados desde 1981, como se puede ver en la Tabla A.2, hasta el momento existen registros acelerográficos de diez eventos con magnitud,  $M_w$ , mayores o iguales a 7, y hay nueve eventos con magnitud  $M_w$ , entre 6 y 6.9. Las distancias desde la fuente varían entre 115 a 650 km. Los eventos 1 a 5 de la Tabla fueron registrados en la estación CHI1 (actualmente fuera de servicio), y el resto (6 a 24), en la estación RICC. Estos dos lugares separados uno del otro más de 5 km. El cociente entre la máxima aceleración sísmica vertical absoluta (PGAV) y la aceleración sísmica horizontal máxima absoluta (PGAH), en todos los casos varía de 0.37 a 0.91 de g. La relación entre ambas componentes es muy alta.

Tabla A.2 Lista de los sismos empleados para la determinación de la ley de atenuación

#	Fecha	Magnitud ( $M_w$ )	Dist. Epic (km)	Prof. (km)	PGAH (g)	PGAV (g)	PGAV/PGAH	Tipo de falla
1	25/10/81	7.3	294	32	0.0390	0.0220	0.56	Intra-placa
2	07/06/82 <sup>a</sup>	7.0	197	11	0.0560	0.0310	0.55	Inter-placa
3	07/06/82 <sup>b</sup>	6.9	179	19	0.0430	0.0210	0.49	Inter-placa
4	19/09/85	8.1	341	21	0.1870	0.0850	0.46	Inter-placa
5	21/09/85	7.5	238	21	0.1180	---	---	Inter-placa
6	04/07/94	6.4	385	15	0.0044	0.0023	0.53	Inter-placa
7	10/12/94	6.4	233	54	0.0350	0.0150	0.43	Intra-placa
8	14/09/95	7.4	138	22	0.0880	0.0570	0.65	Inter-placa
9	09/10/95	7.9	585	10	0.0110	0.0074	0.67	Superficial
10	21/10/95	7.2	650	160	0.0070	0.0031	0.44	Intra-placa
11	15/07/96	6.8	162	22	0.0259	0.0173	0.67	Inter-placa
12	11/01/97	7.2	367	40	0.0305	0.0129	0.42	Intra-placa
13	22/05/97	6.5	265	56	0.0166	0.0092	0.55	Intra-placa
14	15/06/99	7.0	234	69	0.1017	0.0607	0.60	Intra-placa
15	21/07/00	5.9	115	80	0.1267	0.0526	0.42	Intra-placa

## Apéndice A: Peligro Sísmico

16	9/08/00	6.5	336	33	0.0158	0.0094	0.60	Intra-placa
17	08/10/01	5.9	95	15	0.0678	0.0615	0.91	Superficial
18	9/11/01	5.5	203	15	0.0108	0.0040	0.37	Superficial
19	23/01/02	5.0*	94	5	0.0101	0.0072	0.71	Superficial
20	30/01/02	5.9	383	116	0.0032	0.0028	0.88	Intra-placa
21	18/04/02	6.3	215	15	0.0030	0.0025	0.83	Superficial
22	7/06/02	5.5*	341	22	0.0025	0.0013	0.52	Inter-placa
23	19/06/02	5.5	214	24	0.0054	0.0029	0.54	Inter-placa
24	22/01/03	7.5	524	23	0.0275	0.0230	0.84	Inter-placa
25	01/01/04	6.0	244	21	0.0123	0.0064	0.52	Inter-placa

Relaciones de atenuación para las aceleraciones horizontales y verticales (PGA<sub>h</sub> y PGA<sub>v</sub>), fueron evaluadas mediante análisis de regresión de los datos de la Tabla A.2 (los eventos 19 y 22 no fueron incluidos). El modelo de regresión sigue la forma:

$$\ln \text{PGA} = C_1 + C_2 M_w + C_3 \ln (R + 23 (6 - M_w)) + \sum C_i S_i \quad (1)$$

Donde  $R=(D^2+H^2)^{1/2}$ , D es la distancia más cercana a la proyección superficial de la falla en kilómetros, H es la profundidad focal, y  $S_i$  el tipo de falla, este un factor con el valor de uno para el tipo de falla considerado y cero para los otros.  $C_i$ , son los coeficientes de regresión. El término  $23(6-M_w)$  considera el área el área de ruptura.

Los modelos de atenuación horizontal y vertical obtenidos por la aplicación de modelo (1) están dados por:

$$\ln \text{PGA}_h = -0.6932 + 1.5958 M_w - 2.4135 \ln (R + 23 (6 - M_w)) - 0.2973 S_1 + 0.2973 S_2 - 0.8462 S_3 \quad (2)$$

$$\ln \text{PGA}_v = -1.1816 + 1.5917 M_w - 2.3901 \ln (R + 23 (6 - M_w)) - 0.5007 S_1 - 0.0065 S_2 - 1.1816 S_3 \quad (3)$$

La Figura A.1 muestra la PGA (máxima aceleración del terreno) predicha por los modelos de atenuación 2 y 3, para los eventos Mw 8.1 (más alto) y Mw 7.6 (más bajo). Esta figura compara las curvas PGA entre los tres grupos usados en este trabajo: intraplaca, interplaca y superficiales. Los resultados de los análisis de regresión indican que los sismos intraplaca producen movimientos máximos que son de alrededor 70% que aquellos sismos interplaca para la misma magnitud y distancia. Esta diferencia en el movimiento máximo es la misma cuando se hace la comparación entre eventos interplaca y superficiales.

### A.1.1.2 Análisis de la respuesta espectral

Con la finalidad de estimar el espectro de respuesta, es posible calcular las ordenadas espectrales máximas. Sin embargo, en Chilpancingo, no hay registros de sismos con magnitud  $M_w$  mayores a 7.5 y originados a menos de 200 km. Por otra parte, los acelerogramas registrados a distancias menores de 270 km indican que las formas espectrales son muy similares. El orden para estimar los espectros de respuesta, en este trabajo, se consideraron los espectro de respuesta promedio de sismos originados a 270 km. La Figura A.2 contiene todos los espectros de respuesta normalizados de sismos con magnitud superior a 6.5 registrados en las estaciones CHI1 y RICC (Tabla A.2) Como es de esperarse, los sismos con distancias muy grandes, no producen daños importantes sobre la ciudad, sólo los eventos originados a menos de 270 km fueron tomados en cuenta. La figura

muestra los espectros promedios de esos sismos y el espectro promedio más una desviación estándar. La envolvente de los espectros normalizados de sismos originados a menos de 270 km también aparecen en la Figura A.2, y es posible definir esa curva como:

$$A(T) = 1 + 14 \times T \times \exp(-1.7 \times T) \quad (4),$$

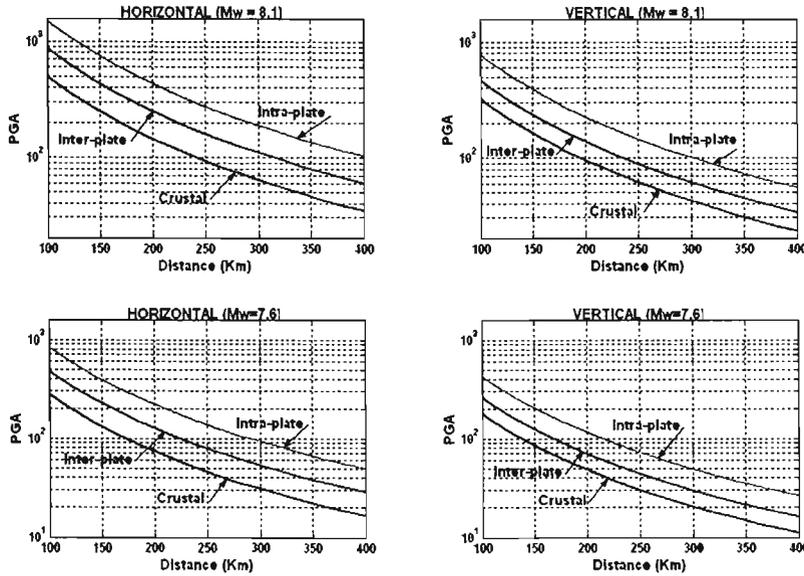


Figura A.1 Leyes de atenuación para los suelos suaves de la ciudad de Chilpancingo, usando el modelo de regresión (1), y los datos de la Tabla A.2, para sismos Inter-placa, Intra-placa y superficiales, las aceleraciones están en  $\text{cm/s}^2$ .

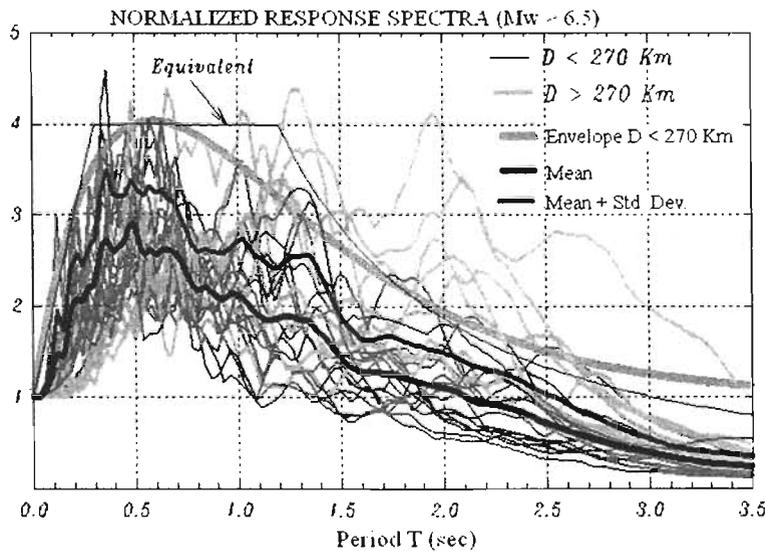


Figura A.2 La forma del espectro de respuesta de aceleraciones (SA/PGA, con 5% de amortiguamiento) del terreno de Chilpancingo calculado usando eventos con  $M_w > 6.5$ . También se muestran las formas espectrales medias calculadas para eventos con distancias menores a 270 km, y la envolvente de los espectros de respuesta.

El espectro de respuesta predicho fue estimado en este trabajo de acuerdo con la Ecuación 4, y con base en las relaciones de atenuación. Los cuatro escenarios (A, B, C y D) fueron seleccionados de acuerdo con Gómez-Bernal y otros (1999). Las curvas correspondientes se muestran en la Figura A.3, y fueron calculadas de acuerdo con:

$$A \text{ (intra-placa, } M_w=7.7, D=200 \text{ km, PGA}=0.25 \text{ g): } SA(i) = 0.25*(1+14*T(i)*\exp(-2*T(i))) \quad (5)$$

$$B \text{ (inter-placa, } M_w=8.0, D=150 \text{ km, PGA}=0.39 \text{ g): } SA(i) = 0.39*(1+14*T(i)*\exp(-1.7*T(i))) \quad (6)$$

$$C \text{ (inter-placa, } M_w=7.7, D=100 \text{ km, PGA}=0.52 \text{ g): } SA(i) = 0.52*(1+14*T(i)*\exp(-1.7*T(i))) \quad (7)$$

$$D \text{ (Superficiales, } M_w=7.0, D=70 \text{ km, PGA}=0.28 \text{ g): } SA(i) = 0.28*(1+14*T(i)*\exp(-1.7*T(i))) \quad (8)$$

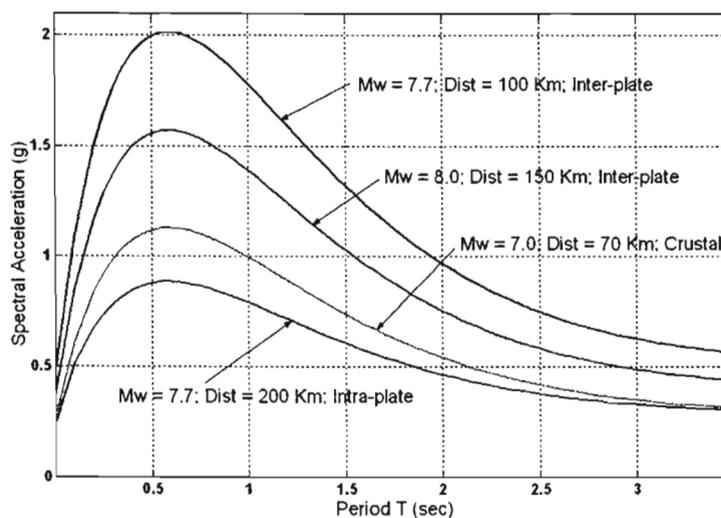


Figura A.3. Ordenada espectral máxima (SA) calculada para los escenarios más críticos en Chilpancingo.

## A.2 PELIGRO SÍSMICO EN LA CIUDAD DE MÉXICO.

### A.2.1 Antecedentes

En la Ciudad de México se presentan con cierta frecuencia movimientos de suelo capaces de ocasionar daño a las estructuras asentadas en ella, los movimientos, no se originan en el valle, pero las características geológicas del valle hace que aún sismos muy lejanos puedan ser destructivos, es por ello que deben analizarse las diferentes fuentes generadoras de sismos que afectan a la ciudad de México. Además que deben distinguirse debido al mecanismo de falla que los genera, debido a que influye en el potencial destructivo. A continuación se reproduce el peligro sísmico calculada para la Colonia Roma por Juárez-García y otros, (2004)

### A.2.2 Base de datos de sismos.

En la Tabla A.3 se presentan las características más sobresalientes de 36 terremotos ocurridos entre 1964 y 1999, como se observa, la magnitud de momento  $M_w$  varía entre 6 y

8.1, y el tipo de falla se agrupó en tres categorías: interplaca, intraplaca y superficial (ver Figura A.4).

Todos los terremotos han generado registros en la zona de terreno firme del Valle de México (zona I, de la reglamentación local de la Ciudad de México; en especial en la estación de Ciudad Universitaria). Los acelerogramas registrados corresponden a estaciones de campo libre o con estructuras ligeras colindantes, donde los efectos de interacción suelo-estructura son despreciables.

Tabla A.3 Base de datos de terremotos

No	Fecha	M <sub>w</sub>	Prof (km)	Lat. N., -Lon. W	No. estaciones	Tipo de falla	
1	64/07/06	6.7*	100	18.030, 100.770	-	Intra-placa	C
2	65/08/23	7.0*	33	15.380, 96.120	-	Inter-placa	B1
3	68/08/02	7.1*	33	16.070, 98.100	-	Inter-placa	B1
4	78/11/29	7.8	16.1	16.000, 96.690	-	Inter-placa	B2
5	79/03/14	7.4	26.7	17.490, 101.26	11	Inter-placa	A
6	80/10/24	7.1	63.4	18.030, 98.290	-	Inter-placa	C
7	81/10/25	7.2	31.8	17.880, 102.15	-	Inter-placa	C
8	82/06/7 <sup>a</sup>	6.9	10.7	16.170, 98.360	-	Inter-placa	B1
9	82/06/7 <sup>b</sup>	6.9	18.6	16.260, 98.510	-	Inter-placa	B1
10	85/09/19	8.1	21.3	18.081, 102.942	30	Inter-placa	A
11	85/09/21	7.5	20.8	18.021, 101.479	26	Inter-placa	A
12	86/04/30	6.9	20.7	18.024, 103.057	15	Inter-placa	A
13	88/02/2	5.8	47.8	17.494, 101.57	28	Intra-placa	C
14	89/04/25	7.0	15.0	16.603, 99.400	43	Inter-placa	B2
15	90/05/31	5.9	26	17.106, 100.893	54	Inter-placa	
16	93/05/15	6.0	38.5	16.430, 98.740	30	Inter-placa	B1
17	93/09/10	7.2	29.1	14.140, 92.820	10	Inter-placa	B2
18	93/10/24	6.6	21.8	16.540, 98.980	44	Inter-placa	B1
19	94/03/14	6.9	167.6	15.670, 93.010	-	Intra-placa	D
20	94/05/23	6.2	69.6	18.030, 100.570	54	Intra-placa	C
21	94/12/10	6.4	54.0	18.020, 101.56	53	Intra-placa	C
22	95/09/14	7.4	21.8	16.310, 98.880	36	Inter-placa	B2
23	95/10/09	8.0	5.0	18.740, 104.67	34	Superficial	E
24	95/10/21	7.2	163.8	16.920, 93.620	19	Intra-placa	D
25	96/02/25	7.1	5.0	15.830, 98.250	20	Superficial	E
26	96/07/15	6.8	22.4	17.450, 101.16	54	Inter-placa	A
27	97/01/11	7.2	40.0	17.910, 103.04	55	Intra-placa	C
28	97/05/22	6.5	55.5	18.41, 101.81	44	Intra-placa	C
29	97/07/19	6.9	5.0	16.860, 98.350	-	Superficial	E
30	98/02/03	6.3	24	15.69, 96.37	22	Inter-placa	B
31	98/04/20	5.9	59.9	18.37, 101.21	46	Intra-placa	C
32	99/06/15	7.0	69.2	18.180, 97.510	67	Intra-placa	C
33	99/06/21	6.3	48	17.99, 101.72	45	Intra-placa	C
34	99/09/30	7.5	46.8	15.950, 97.030	60	Intra-placa	C
35	99/12/29	5.9	50	18.02, 101.68	27	Intra-placa	C
36	03/01/21	7.6	32.6	18.220, 104.60	-	Inter-placa	A

Fuente : Servicio Sismológico Nacional, Harvard centroid moment tensor solutions y BMDSF. \* = Ms

### A.2.3 Modelo matemático

Las relaciones de atenuación para las aceleraciones vertical y horizontal máximas fueron evaluadas. Esta información corresponde a la aceleración medida en las estaciones que se distribuyen a lo largo del trayecto de ondas de cada uno de los sismos determinado (desde la fuente al punto de medición), se usaron 25 eventos.

El modelo de atenuación usado considera que la aceleración máxima, *PGA*, es función de la distancia *DX* a la falla en km, Ecuación 9.

$$\log PGA = b - \log(DX + c) - k DX \quad (9)$$

Donde  $b$  es un coeficiente que depende de cada tipo de terremoto;  $c$ , representa la atenuación geométrica; y  $k$  el amortiguamiento viscoso. El factor  $k$  fue de 0.0015 para sismos interplaca y superficial, y de 0.0025 para intraplaca. El coeficiente  $c$  considera la saturación en la fuente, y la distancia efectiva, la cual se incrementa con la magnitud, dando origen a la Ecuación 10.

$$c = 0.0055 \times 10^{0.525 M_w} \quad (10)$$

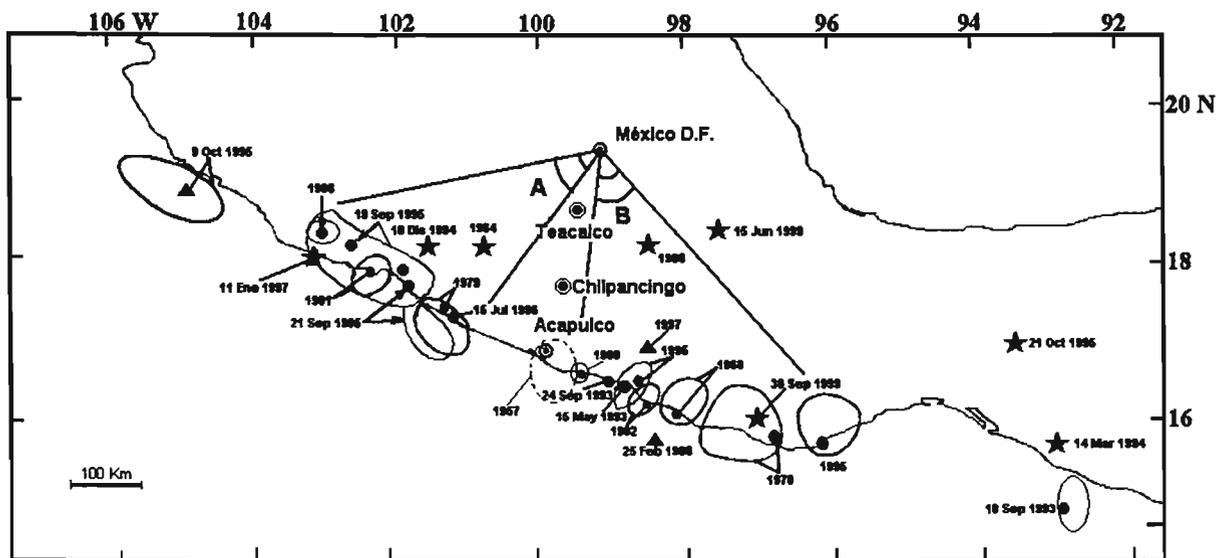


Figura A.4 Ubicación de los terremotos usados empleados.

Los eventos se clasifican en: interplaca (círculo), intraplaca (estrella) y superficial (triángulo).

### A.2.4 Procedimiento

Para obtener la función de atenuación se llevan a cabo dos análisis de regresión según lo propuesto por Si y Midorikawa (2000).

El primer análisis de regresión se efectúa para determinar el coeficiente  $b$ , utilizando las Ecuaciones 9 y 10 para cada uno de los 25 eventos. Entonces con la magnitud  $M_w$ , el tipo de falla y la profundidad focal, se determinan los coeficientes de la Ecuación 11 mediante un análisis de regresión.

$$b = aM_w + dH + \sum e_i S_i + f + \varepsilon \quad (11)$$

Donde  $H$  es la profundidad focal en km;  $S_i$  el tipo de falla;  $\varepsilon$  la desviación estándar;  $a$ ,  $d$ ,  $e_i$  y  $f$  son los coeficientes de regresión. En la Tabla A.4 se presentan los resultados obtenidos del análisis de regresión.

**A.2.5 Resultados**

Como ejemplo en la Figura A.5, (arriba a la derecha) se muestran las curvas de regresión de las componentes vertical y horizontal del sismo del 10 de diciembre de 1994. Se muestra además (arriba a la izquierda), la correlación del coeficiente  $b$ , obtenido con las Ecuaciones 9 y 10, con la magnitud del momento, y se observa que los valores del coeficiente  $b$  son similares para distintas magnitudes, por lo que existen factores adicionales que afectan el movimiento; por lo tanto, se realizó el ajuste con la Ecuación 11, como se describió previamente.

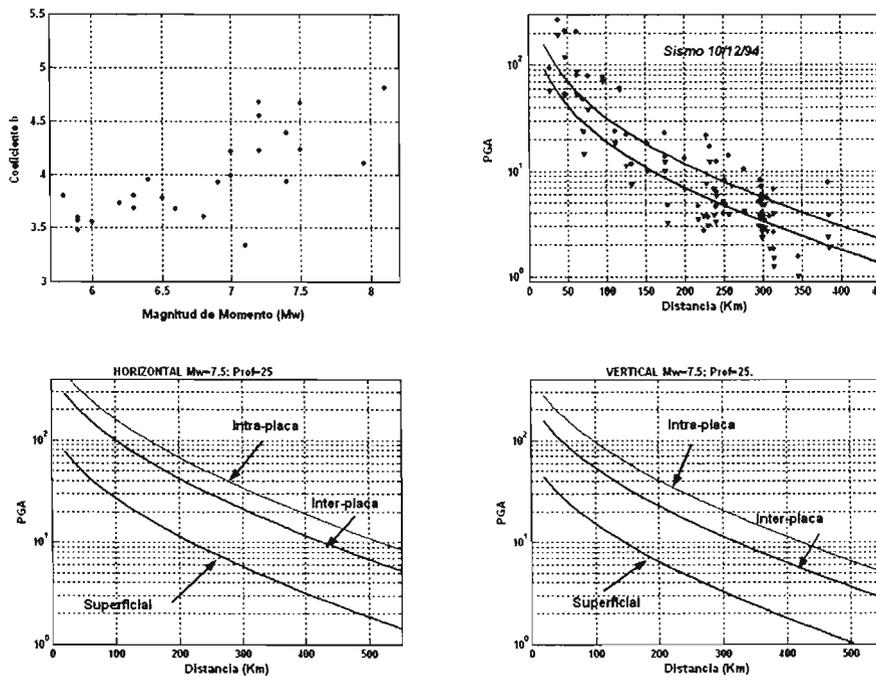


Figura A.5 Comparación entre el coeficiente  $b$  contra la magnitud del momento (arriba a la izq.); curvas de regresión (arriba a la derecha); curvas de atenuación (abajo).

Tabla A.4 Coeficientes de regresión de la Ecuación 11

Componente	$a$	$d$	$e_1$	$E_2$	$e_3$	$F$
Horizontal.	0.6066	0.0021	-0.0944	0.1120	-0.6633	-0.1868
Vertical	0.6042	0.0019	-0.1735	0.0793	-0.7215	-0.3531

$e_1$  – Inter-placa;  $e_2$  – intra-placa;  $e_3$  – Superficial.

En la parte inferior de la Figura A.5 se muestran las curvas para los tres grupos de sismos (interplaca, intraplaca y superficial), para  $M_w=7.5$  y una profundidad de 25 km. Es claro que los sismos intraplaca producen valores altos de aceleración, y contrariamente a los sismos superficiales que generan valores bajos. Por ejemplo, para una distancia de 200 km. los valores de aceleración son de 12, 40 y 68  $\text{cm}/\text{seg}^2$ , por tanto, para los mismos eventos superficiales el valor de la aceleración llega a ser una tercera parte del evento interplaca, y este a su vez es el 60% de los valores para un sismo intraplaca. Estos valores coinciden con las aceleraciones observadas en tres sismos superficiales: 9 de octubre de 1995 ( $M_w=8.0$ ), 25 de Febrero de 1996 ( $M_w=7.1$ ) y 17 de Julio de 1997 ( $M_w=6.9$ ).

Por otra parte, en la Figura A.6 se muestran las curvas de atenuación para sismos interplaca para magnitudes de 6.1 y 8.1 y una profundidad de 25 km. Asimismo, se muestran seis curvas de sismos intraplaca de magnitud de 7.6 y profundidades variables entre 35 y 100 km. En esta gráfica el efecto de la profundidad en los valores de la aceleración es evidente. En efecto, para eventos interplaca, a una distancia de 2 km y profundidades de 35 y 100, se obtienen valores de aceleración de 75 y 110  $\text{cm/s}^2$ , respectivamente. En los sismos superficiales se observa que los valores de la aceleración crecen a medida que el sismo se profundiza.

### A.2.6 Análisis Espectral

Se evalúa el espectro de respuesta de aceleración con el 2% de amortiguamiento crítico para las componentes vertical y horizontal en las estaciones SXCU, CU01, CUIP, CUP3, CUP4, CUP5, CENA, CHAS, CUIG y TACY (estación ciudad universitaria). Se calcula el espectro para cada uno de los seis grupos indicados en la Tabla A.3 y en la figura A.4. Todos los espectros se normalizaron con respecto a la aceleración máxima. En la Figura A.7 (arriba) se comparan los espectros promedio para cada una de las componentes del sismo (C-intraplaca, Ay B-interplaca y E-superficial), de donde se obtienen los comentarios siguientes:

Los sismos intraplaca no producen amplitudes significativas en los periodos mayores de un segundo; y por el contrario, para los sismos interplaca y superficial se presentan ordenadas espectrales importantes en periodos fundamentales altos (2 a 5 segundos).

En los eventos A, B ó E la tendencia de las ordenadas espectrales verticales es consistente en los periodos de 2.5 y 3.5 segundos.

En terremotos superficiales (E), existen amplitudes espectrales altas entre 4 y 6 segundos, para las tres componentes.

### A.2.7 Espectro de respuesta teórico en la Colonia Roma

En la Figura A.6 se muestran los espectros de respuesta de aceleración de seis eventos de la estación CO56 en la Colonia Roma. El evento con mayor intensidad es el del 25 de abril de 1989. Los periodos fundamentales observados se encuentran entre 1.7s y 2.9s y 0.6s y 0.8s (tanto de estratos superficiales como de los profundos). La estratigrafía del sitio CO56 consiste en un espesor de 33 metros de la serie arcillosa superior, con una velocidad de onda de corte de 70 m/s, y un depósito aluvio-lacustre altamente reconsolidado de 1200 metros con una velocidad de corte de 800 m/s.

Cuando los periodos del sitio se conocen, es posible proponer una expresión general que defina al espectro de respuesta (Gómez-Bernal y Saragoni, 2002). Para definir el espectro de respuesta en la Colonia Roma, es necesario estimar la aceleración máxima del terreno,  $A_{\text{máx}}$ , por lo que el espectro de aceleración absoluta del terreno es de acuerdo a la Ecuación 12

$$S_{ai}(T, \xi) = \log \left( \frac{A_{\max}}{\xi} \right) e^{\left[ -\left( \frac{2\pi}{T_c} + \alpha \sqrt{T_c} \right)^2 \left( 1 - \left( \frac{T}{T_c} \right)^2 \right) \right]^2} \quad (12)$$

Donde,  $S_{ai}$ , es la aceleración espectral;  $A_{\max}$ , la aceleración máxima absoluta del terreno;  $T_c$ , el periodo dominante del sitio;  $\xi$  la relación de amortiguamiento crítico, y el coeficiente  $\alpha$  es 1 ó 3 si  $T < 3s$  ó  $T > 3s$ . Para determinar el espectro de respuesta completo, deben de superpone el efecto de todos los periodos; es decir:

$$S_a(T, \xi) = \sum S_{ai}(T, \xi) \quad (14)$$

El espectro de respuesta sintético (5% de amortiguamiento crítico) para la Colonia Roma se muestra en la Figura A.6. Se supuso un terremoto esperado de  $M_w=8.1$  a una distancia epicentral de 300km. Se combinaron las ocho curvas. La máxima aceleración del terreno fue de 0.23g, de acuerdo con la ley de atenuación obtenida previamente, y usando la relación entre el PDA en la superficie y a 102m de profundidad en la estación RCM.

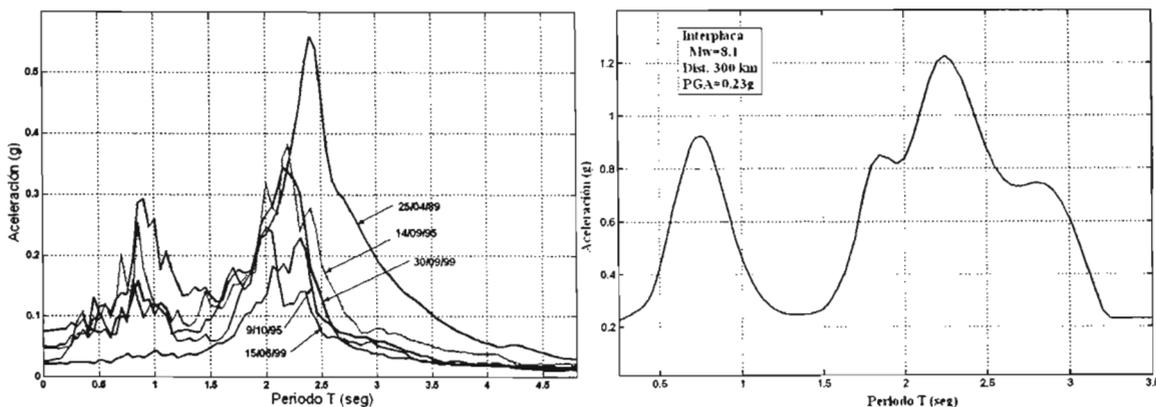


Figura A.6 Espectro de respuesta calculado a partir de seis movimientos registrados en la estación CO56 (Colonia Roma) y Espectro Sintético.

**APÉNDICE B**  
**FORMATO PARA REALIZAR UN LEVANTAMIENTO DE DAÑO GENERAL PARA UNA ESTRUCTURA**

**B.1 FORMATO**

Elaboro: \_\_\_\_\_ Expediente: \_\_\_\_\_  
Fecha: \_\_\_\_\_

1. *Datos generales del inmueble*

Calle y número: \_\_\_\_\_  
Entre: \_\_\_\_\_ y \_\_\_\_\_  
Colonia: \_\_\_\_\_ C. P. \_\_\_\_\_  
Delegación: \_\_\_\_\_

**Croquis**



2. *Descripción de la edificación*

- **Posición del edificio en la manzana**      Esquina ( )      Medio ( )      Libre ( )
- **Colindancias** \_\_\_\_\_
- **Época de construcción**      Antes de 1957 ( )      1957 – 1985 ( )      1985- \_\_\_\_\_ ( )
- **Numero de niveles sobre el terreno** (incluyendo azoteas y mezanines) \_\_\_\_\_
- **Sótanos**      Si ( )      No ( )      Num: \_\_\_\_\_      Desconocido ( )
- **Tipo de terreno**      Zona de lago ( )      Transición ( )      Lomas ( )
- **Uso principal**
  - Casa habitación ( )      Departamentos ( )      Comercios ( )
  - Oficinas publicas ( )      Oficinas privadas ( )      Industrias ( )
  - Estacionamientos ( )      Bodegas ( )      Educación ( )
  - Recreativo ( )      Salud y protección civil ( )
  - Planta Baja Comercios, Plantas Superiores Habitación ( )
  - Planta Baja Comercio-Habitación, Plantas Superiores Habitación ( )
  - Otro: \_\_\_\_\_

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

3. *Evaluación de la cimentación*

● **Tipo de Cimentación**

Zapatatas	
Corridas ( )	Aisladas ( )
Cajón ( )	
Pilotes	
De punta con control ( )	De punta sin control ( )
De fricción ( )	Entrelazados ( )

4. *Descripción de la estructura*

● **Tipo de Estructura**

Concreto reforzado		
Colado en lugar ( )	Prefabricado ( )	
Mampostería sin refuerzo		
Ladrillo Hueco ( )	Ladrillo Sólido ( )	Concreto ( )
Otro: _____		

● **Estructuración**

Marcos ( )	Marcos c/muros de concreto ( )
Marcos Contra venteados ( )	Marcos c/muros de tabique ( )
Marcos de Concreto ( )	Mampostería Reforzada ( )
Losa plana reticular, Columnas ( )	Muros de Concreto ( )
Muros de Carga ( )	Vigueta y Bovedilla ( )
Losa maciza ( )	Mixta ( )
Marcos y Muros de Carga ( )	Otro: _____

● **Sistemas de Piso**

Losa Maciza con traveses ( )	Losa Plana ( )
Losa Plana reticular ( )	Prefabricado ( )
Vigueta y Bovedilla ( )	Lamina ( )
Otro: _____	

● **Regularidad en Planta** Buena ( ) Intermedia ( ) Mala ( )

● **Regularidad Vertical** Buena ( ) Intermedia ( ) Mala ( )

● **Daños previos por sismos** Si ( ) Año: \_\_\_\_\_ No ( ) No se sabe ( )

● **Reparaciones Anteriores** Si ( ) Año: \_\_\_\_\_ No ( ) No se sabe ( )  
 Tipo de reparación: \_\_\_\_\_

● **Remodelaciones Anteriores** Si ( ) Año: \_\_\_\_\_ No ( ) No se sabe ( )  
 Tipo de reparación: \_\_\_\_\_

5. Seguridad de los elementos no estructurales

	Nivel de Riesgo		
	A Aceptable	B Intermedio	C Alto
<b>Exterior</b>			
Vidrios	( )	( )	( )
Torres de anuncios	( )	( )	( )
Acabados de fachadas	( )	( )	( )
Balcones	( )	( )	( )
Pretilos	( )	( )	( )
Tanques elevados	( )	( )	( )
Otros: _____	( )	( )	( )
<b>Interior</b>			
Muros divisorios o particiones	( )	( )	( )
Cielos rasos	( )	( )	( )
Lámparas	( )	( )	( )
Escaleras	( )	( )	( )
Elevadores	( )	( )	( )
Instalaciones (gas, eléctrica, etc.)	( )	( )	( )
Otros: _____	( )	( )	( )

**Comentarios Generales:**

---



---



---



## APÉNDICE C ESCALA MACROSÍSMICA DE INTENSIDADES

### C.1 CLASIFICACIONES USADAS EN LA ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA

Tipo de Estructura		Clase de Vulnerabilidad					
		A	B	C	D	E	F
Mampostería	Cantos rodados o piedra suelta	○					
	Adobe (tabiques de tierra)	○—					
	Piedra simple	—○					
	Sillería (piedra masiva)		—○—				
	No reforzada, con unidades de piedra manufacturadas (Ladrillo o de bloques sin refuerzo)	—○—					
	No reforzada, con losas de concreto reforzado		—○—				
	Reforzada o confinada			—○—	—○—		
Concreto Reforzado	Marcos sin Diseño Sismo Resistente (DSR)	— —○—					
	Marcos con moderado nivel de Diseño Sismo Resistente (DSR)		— —○—	—○—			
	Marcos con alto nivel de Diseño Sismo Resistente (DSR)			— —○—	—○—	—○—	
	Muros sin Diseño Sismo Resistente (DSR)		— —○—	—○—			
	Muros con moderado nivel de Diseño Sismo Resistente (DSR)			— —○—	—○—		
	Muros con alto nivel de Diseño Sismo Resistente (DSR)				— —○—	—○—	
Acero	Estructuras de acero			— —○—	—○—		
Madera	Estructuras de madera		— —○—				

○ clase de vulnerabilidad más probable; — intervalo probable;  
 - - - intervalo de casos menos probables, casos excepcionales.

Figura C.1 Clases de vulnerabilidad empleando la escala Macrosísmica Europea

## C.2 CLASIFICACIÓN DEL DAÑO

Nota: la forma en la cual se deforma un edificio bajo cargas sísmicas, depende del tipo de edificio. Con una categorización amplia uno puede agrupar tipos de edificios de mampostería así como edificios de concreto reforzado.

### C.2.1 Clasificación del daño en estructuras de mampostería

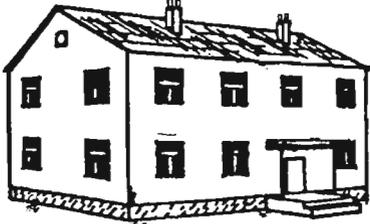
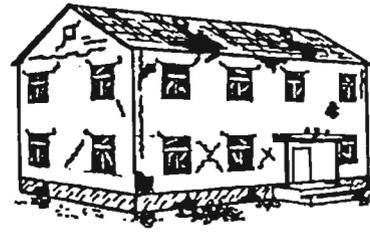
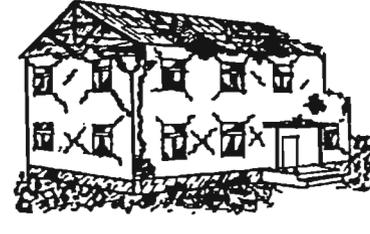
	<p><b>Grado 1: Daños de despreciables a ligeros</b>  <i>(ningún daño estructural, daños no-estructurales ligeros)</i>                  Grietas superficiales en muy pocos muros.                  Caída sólo de pequeños trozos de recubrimiento.                  Caída de piedras sueltas de las partes altas de los edificios en muy pocos casos.</p>
	<p><b>Grado 2: Daños moderados</b>  <i>(daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)</i>                  Grietas en muchos muros.                  Caída de trozos bastante grandes de recubrimiento.                  Colapso parcial de chimeneas.</p>
	<p><b>Grado 3: Daños de importantes a graves</b>  <i>(daños estructurales moderados, daños no-estructurales graves)</i>                  Grietas grandes y generalizadas en la mayoría de los muros.                  Caída de tejas, Fractura de chimeneas por la línea del techo, falla de elementos individuales no-estructurales (muros divisorios y tejados).</p>
	<p><b>Grado 4: Daños muy graves</b>  <i>(daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves)</i>                  Se dañan seriamente los muros; falla estructural parcial de techos y losas.</p>
	<p><b>Grado 5: Destrucción</b>  <i>(daños estructurales muy graves)</i>                  Colapso total o casi total.</p>

Figura C.2 Clasificación del daño en estructuras de mampostería.

### C.2.2 Clasificación del daño en estructuras de concreto reforzado

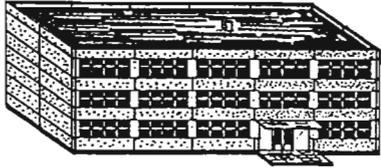
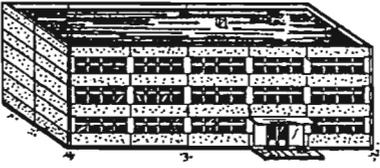
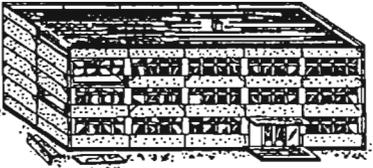
	<p><b>Grado 1: Daños de despreciables a ligeros</b>  <i>(Sin daño estructural, daños no estructurales ligeros)</i>                  Grietas finas en el recubrimiento de marcos o en la base de los muros.                  Grietas finas en tabiques y muros divisorios.</p>
	<p><b>Grado 2: Daños moderados</b>  <i>(daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)</i>                  Grietas en vigas y columnas de marcos y en muros estructurales.                  Grietas en tabiques y muros divisorios; caída del recubrimiento y revestimientos frágiles. Caída del mortero en las uniones de muros prefabricados.</p>
	<p><b>Grado 3: Daños de importantes a graves</b>  <i>(daños estructurales moderados, daños no-estructurales graves)</i>                  Grietas en las uniones de vigas y columnas; en la base de los marcos y en las uniones de los muros acoplados.                  Desconchamiento del recubrimiento del concreto, pandeo de las varillas de refuerzo.                  Grandes grietas en tabiques y muros divisorios; falla individual de muros prefabricados divisorios.</p>
	<p><b>Grado 4: Daños muy graves</b>  <i>(daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves)</i>                  Grandes grietas en elementos estructurales con falla en compresión del concreto y fractura de las barras de refuerzo; ruptura de la unión viga columna, inclinación de columnas.                  Colapso de algunas columnas o colapso individual de un piso superior.</p>
	<p><b>Grado 5: Destrucción</b>  <i>(daños estructurales muy graves)</i>                  Colapso de la planta baja o de partes del edificio (por ejemplo alas).</p>

Figura C.3 Clasificación del daño en estructuras de concreto reforzado.

### C.3 DEFINICIONES DE CANTIDAD

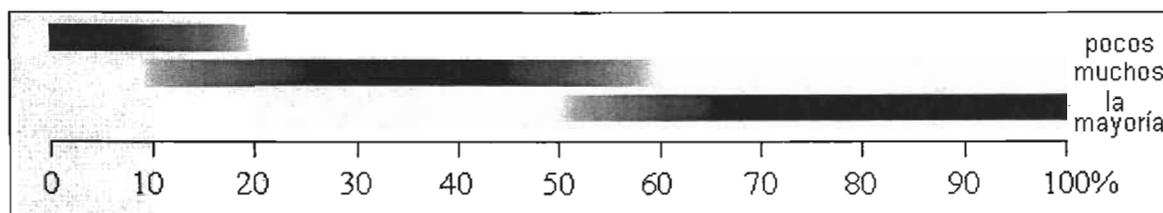


Figura C.4 Definiciones de cantidad de las estructuras dañadas.

### C.4 DEFINICIONES DE GRADO DE INTENSIDAD

#### C.4.1 Organización de la escala

- Efectos en las personas
- Efectos en los objetos y en la naturaleza (los efectos y fallas en el terreno se tratan especialmente en otra sección)
- Daños en edificios

#### C.4.2 Observación preliminar

Cada grado de intensidad puede incluir también los efectos de la sacudida de los grados de intensidad menores, aunque dichos efectos no se mencionen explícitamente.

#### C.4.3 Intensidades

##### I - No sentido

- No sentido, ni en las condiciones más favorables.
- Ningún efecto.
- Ningún daño.

##### II - Apenas sentido

- El temblor es sentido sólo en casos aislados (<1%) de individuos en reposo y en posiciones especialmente receptivas dentro de edificios.
- Ningún efecto.
- Ningún daño.

##### III – Débil

- El terremoto es sentido por algunos dentro de edificios. Las personas en reposo sienten un balanceo o ligero temblor.
- Los objetos colgados oscilan levemente.
- Ningún daño.

##### IV - Ampliamente observado

- El terremoto es sentido dentro de los edificios por muchos y sólo por muy pocos en el exterior. Se despiertan algunas personas. El nivel de vibración no asusta. La vibración es moderada. Los observadores sienten un leve temblor o cimbreo del edificio, la habitación o de la cama, la silla, etc.
- Golpeteo de vajillas, cristalerías, ventanas y puertas. Los objetos colgados oscilan. En algunos casos los muebles ligeros tiemblan visiblemente. En algunos

- casos chasquidos de la carpintería.
- c) Ningún daño.

#### **V – Fuerte**

- a) El terremoto es sentido dentro de los edificios por la mayoría y por algunos en el exterior. Algunas personas se asustan y corren al exterior. Se despiertan muchas de las personas que duermen. Los observadores sienten una fuerte sacudida o bamboleo de todo el edificio, la habitación o el mobiliario.
- b) Los objetos colgados oscilan considerablemente. Las vajillas y cristalerías chocan entre sí. Los objetos pequeños, inestables y/o mal apoyados pueden desplazarse o caer. Las puertas y ventanas se abren o cierran de pronto. En algunos casos se rompen los cristales de las ventanas. Los líquidos oscilan y pueden derramarse de recipientes totalmente llenos. Los animales dentro de edificios se pueden inquietar.
- c) Daños de grado 1 en algunos edificios de clases de vulnerabilidad A y B.

#### **VI - Levemente dañino**

- a) Sentido por la mayoría dentro de los edificios y por muchos en el exterior. Algunas personas pierden el equilibrio. Muchos se asustan y corren al exterior.
- b) Pueden caerse pequeños objetos de estabilidad ordinaria y los muebles se pueden desplazar. En algunos casos se pueden romper platos y vasos. Se pueden asustar los animales domésticos (incluso en el exterior).
- c) Se presentan daños de grado 1 en muchos edificios de clases de vulnerabilidad A y B; algunos de clases A y B sufren daños de grado 2; algunos de clase C sufren daños de grado 1.

#### **VII – Dañino**

- a) La mayoría de las personas se asusta e intenta correr fuera de los edificios. Para muchos es difícil mantenerse de pie, especialmente en plantas superiores.
- b) Se desplazan los muebles y pueden volcarse los que sean inestables. Caída de gran número de objetos de las estanterías. Salpica el agua de los recipientes, depósitos y estanques.
- c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.  
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 2; algunos de grado 3.  
Algunos edificios de clase de vulnerabilidad C presentan daños de grado 2.  
Algunos edificios de clase de vulnerabilidad D presentan daños de grado 1.

#### **VIII - Gravemente dañino**

- a) Para muchas personas es difícil mantenerse de pie, incluso fuera de los edificios.
- b) Se pueden volcar los muebles. Caen al suelo objetos como televisiones, máquinas de escribir, etc. Ocasionalmente las lápidas se pueden desplazar, girar o volcar. En suelo muy blando se pueden ver ondulaciones.
- c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 4; algunos de grado 5.  
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.  
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 2; algunos de

grado 3.

Algunos edificios de clase de vulnerabilidad D presentan daños de grado 2.

### **IX – Destructor**

a) Pánico general. Las personas pueden ser lanzadas bruscamente al suelo.

b) Muchos monumentos y columnas se caen o giran. En suelo blando se ven ondulaciones.

c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A presentan daños de grado 5.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 4; algunos de grado 5.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 2; algunos de grado 3.

Algunos edificios de clase de vulnerabilidad E presentan daños de grado 2.

### **X - Muy destructor**

c) La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad A presentan daños de grado 5.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 5.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4; algunos de grado 5.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 2; algunos de grado 3.

Algunos edificios de clase de vulnerabilidad F presentan daños de grado 2.

### **XI – Devastador**

c) La mayoría de los edificios de clase B de vulnerabilidad presentan daños de grado 5.

La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4; muchos de grado 5.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 4; algunos de grado 5.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad F sufren daños de grado 2; algunos de grado

### **XII - Completamente devastador**

c) Se destruyen todos los edificios de clases de vulnerabilidad A, B y prácticamente todos los de clase C. Se destruyen la mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad D, E y F. Los efectos del terremoto alcanzan los efectos máximos concebibles

## APÉNDICE D

### ADAPTACIÓN DE LAS CLASES DE VULNERABILIDAD DE LA EME-98 A LAS ZONAS DE ESTUDIO

#### D.1 MAMPOSTERÍA DE PIEDRA

Existen tres tipos principales de construcciones de piedra: las de piedra bruta, las de piedra simple y las de piedra masiva. El comportamiento de cada tipo difiere de los otros.



Figura D.1 Mampostería de piedra

#### D.1.1 Piedra Bruta o Piedra Suelta

Estas construcciones utilizan piedras sin recubrimiento (ver figura D.2) unidas con morteros de baja calidad. Las piedras en este tipo de estructuras pueden ser boleos o piedras no escuadradas, que dan lugar a edificaciones pesadas y de poca resistencia ante cargas laterales. El sistema de piso, generalmente es a dos aguas (ver figura D.3), construido mediante vigas de madera cubiertas con lámina o teja, dicho sistema tiene una viga central de madera que no proporciona rigidez en su plano, para distribuir las fuerzas en los muros.

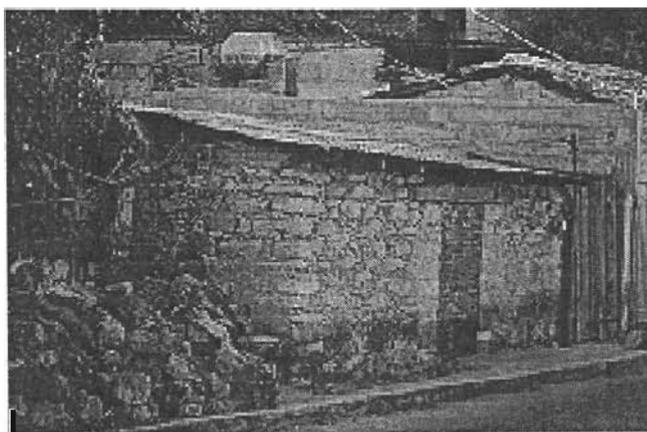


Figura D.2 Mampostería de piedra bruta.

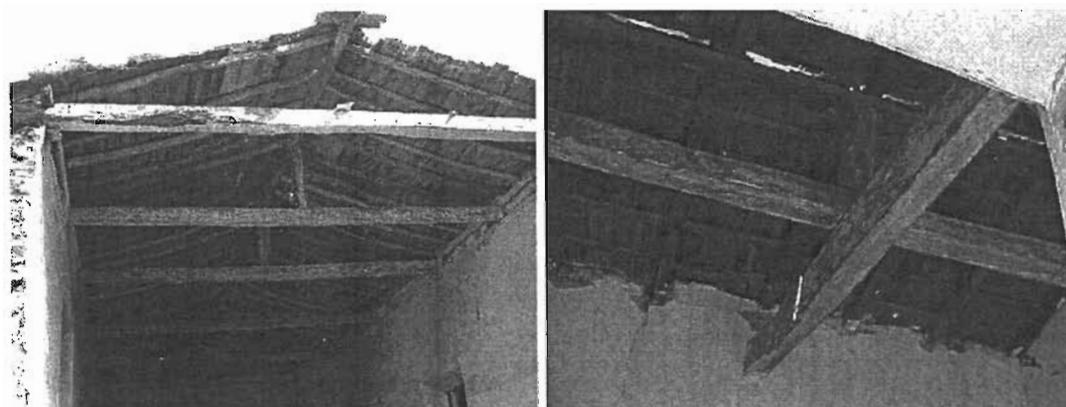


Figura D.2 Sistema de piso de viviendas de Piedra y Adobe.

El comportamiento sísmico es malo, debido a que el peso volumétrico de la piedra es alto, lo que genera fuerzas de inercia elevadas. Además la resistencia de este tipo de mampostería está gobernado por la resistencia del mortero empleado, que generalmente es baja, por su dosificación y por la poca adherencia cuando las piedras presentan cantos redondeados. La combinación de estos factores hacen que la clase de vulnerabilidad asignada para estas construcciones sea la clase A.

#### *D.1.1.1 Modos de falla típicos*

- Falla de muros debido a fuerzas normales a su plano. La falla puede ser flexión fuera del plano que conduzca al volteo o a fallas locales en la unión de los muros dependiendo de la intensidad del movimiento, dichas fallas son similares a las del adobe, una representación esquemática de la falla se tiene en la figura D.4.

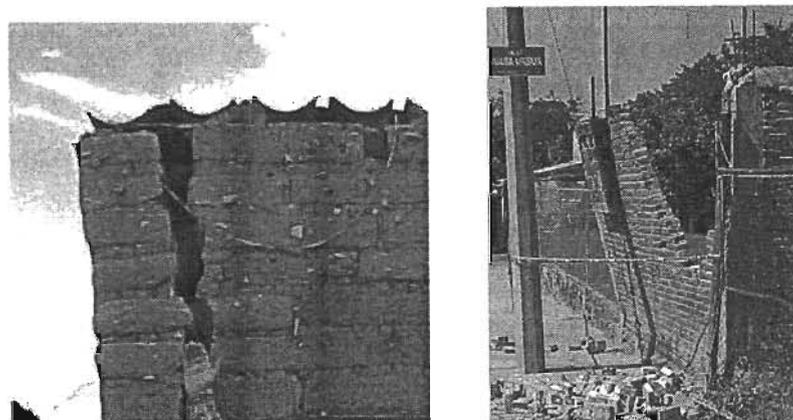


Figura D.4 Flexión fuera del plano

- Otra falla frecuente ocurre por penetración local de las vigas de techo sobre el muro (ver figura D.5), además de las fallas en techos de teja debido a una deficiente colocación de éstas (ver figura D.6).

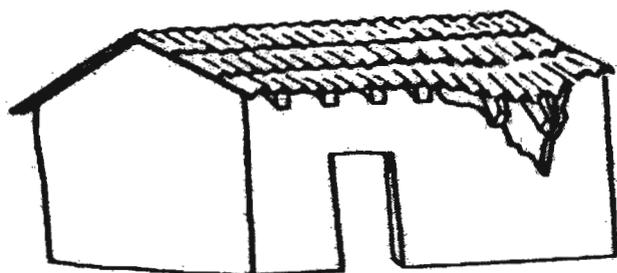


Figura D.5 Penetración de las viga en el muro

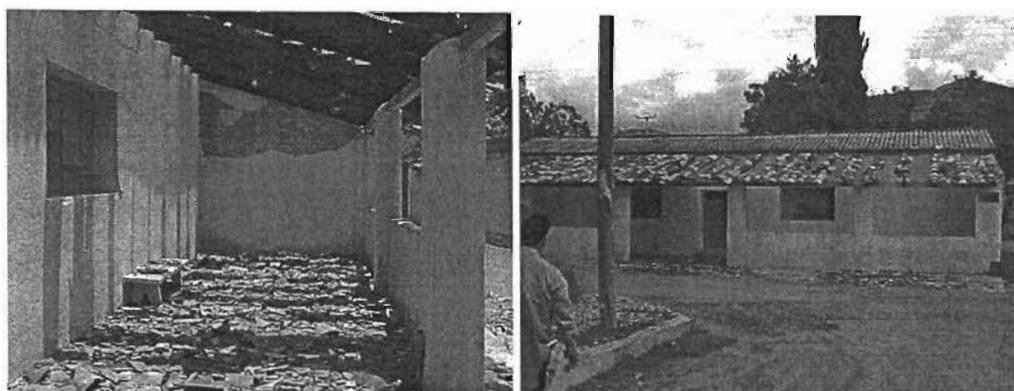


Figura D.6 Falla por la mala colocación de sistemas de piso de teja

### D.1.2 Piedra Simple

Las construcciones de piedra simple (ver figura D.7) difieren de las construcciones de piedra bruta, en que se forman mediante piedras labradas o por lo menos con caras planas, lo que mejora la adherencia con el mortero y la resistencia de la estructura. Normalmente a tales edificios se les asigna la clase de vulnerabilidad B; la vulnerabilidad A se asigna cuando la mano de obra es deficiente y las condiciones de mantenimiento son particularmente malas. El sistema de piso no varía mucho respecto al de piedra bruta, generalmente son techos a dos aguas con una viga central.



Figura D.7 Mampostería de piedra escuadrada

### **D.1.3 Piedras Masivas**

Edificios con muros hechos de piedras muy grandes y labradas (ver figura D.8), se usan en la construcciones de monumentos, en grandes edificios cívicos o religiosos. Estos edificios normalmente poseen gran resistencia, que contribuye a un buen comportamiento sísmico, con clase de vulnerabilidad C o incluso D para casos excepcionalmente bien construidos.

Al analizar este tipo de estructuras, se debe ser muy cauteloso, ya que con frecuencia pueden clasificarse dentro de este tipo edificios que en apariencia son de piedra maciza como muchas de las iglesias, que se construyeron con muros de adobe gruesos recubiertos por lajas de piedra.

Cuando en estas construcciones se presenta algún daño, pocas veces es reparado de forma adecuada, en la mayoría de las ocasiones la reparación se limita a tapar las grietas con moetero sin restituir la resistencia original

La escala EME sugiere que no se consideren este tipo de estructuras para designar la vulnerabilidad de la zona de estudio, dado que son poco representativas.

Los edificios históricos típicos tienen clase B de vulnerabilidad sí no se aprecia daño acumulado, clase A cuando el daño es evidente y clase C cuando se confirme que los muros del edificio son completamente de piedra maciza sin daños.

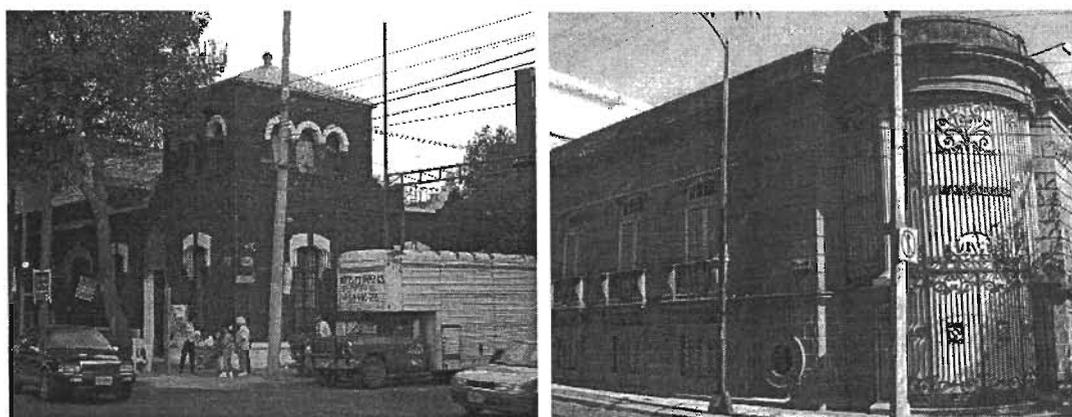


Figura D.8 Mampostería de piedra masiva.

## **D.2 MAMPOSTERÍA DE ADOBE O TABIQUES DE TIERRA**

Los métodos de construcción y refuerzo del adobe son muy variados (Valencia, 1981), esto se refleja en la resistencia sísmica. A continuación se hace una descripción de los tipos de estructuras de adobe, tomando en cuenta las fallas típicas debido a problemas en su configuración y refuerzo.

Las estructuras que se describen, representan los tipos constructivos de la región y no necesariamente las estructuras de la zona de estudio.



Figura D.9 Mampostería de Adobe.

### D.2.1 Adobe sin Refuerzo

En estas construcciones los muros se forman por bloques de adobe y unidos por mortero del mismo material (ver figura D.10). Las características de estas viviendas de acuerdo con Valencia 1981 son una planta rectangular de 30 a 40 m<sup>2</sup> de superficie, de un sólo nivel, dos muros de carga alargados y con pocos muros divisorios, sistemas de piso generalmente flexibles a una o dos aguas sostenidos mediante incipientes armaduras de techo, pueden estar recubiertos, en general por tejas de barro, láminas de asbesto ó metálicas, y raramente por losas macizas de concreto reforzado.

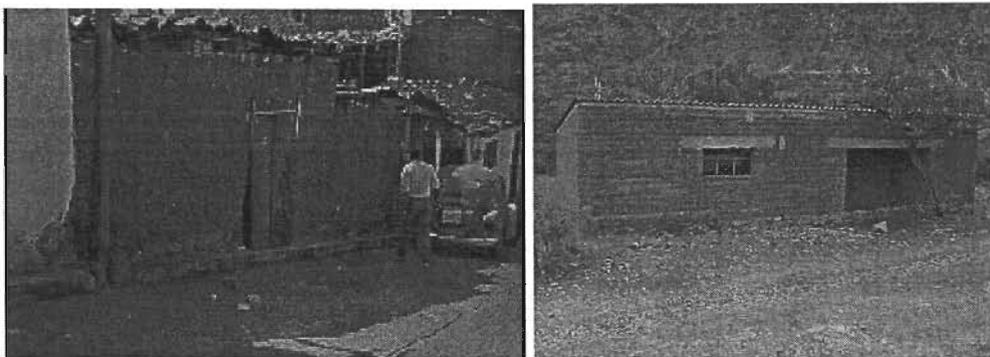


Figura D.10 Adobe sin refuerzo.

Este tipo de configuración presenta muros muy rígidos de comportamiento frágil y con poca resistencia, el sistema de piso que no permite redistribuir las fuerzas laterales. Las fallas típicas que se presentan en este tipo de estructuras son:

Flexión fuera del plano de los muros (ver figura D.4) y la de punzonamiento sobre el muro debido a la presencia de la viga (ver figura D.5).

El agrietamiento en las uniones de los muros por el comportamiento en forma independiente debido al diafragma flexible, además se pueden generar daños a los ocupantes sí el sistema de techo se colapsa hacia el interior de la estructura (ver figura D.6).

La resistencia de éstos muros se puede incrementar de dos maneras, la primera aumentando la resistencia del mortero (mortero con cal), sin embargo, de acuerdo con Valencia (1981), el aumento no es significativo. La segunda, cuando la calidad en los adobes se incrementa, en este caso, también se incrementa la resistencia global, pero el aumento es aún menor que en el caso anterior. Cuando se colocan diafragmas rígidos como sistema de piso, esto favorece un comportamiento en conjunto de los muros, sin embargo, el incremento de las fuerzas inerciales debido a la presencia de la losa puede ser más grande que el incremento en resistencia lateral. Lo anterior indica que la clase A de vulnerabilidad es la más probable en estas construcciones.

### D.2.2 Adobe con Refuerzo de Concreto

Este tipo de estructuras es común en la zona de estudio, generalmente se presenta cuando existen remodelaciones del edificio, por daños debidos a sismos. El refuerzo consiste en la instalación de castillos en la unión de los muros y una dala perimetral, (ver figura D.11) (Valencia 1981). Este tipo de adobe reforzado es el que presenta el mejor comportamiento, ya que tiene elementos de liga que permiten el comportamiento de los muros en conjunto. En ocasiones además se coloca una losa maciza de concreto lo que mejora notablemente su comportamiento (ver figura D.12).

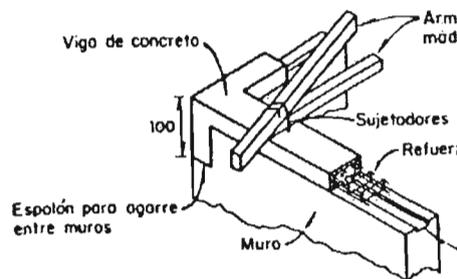


Figura D.11 Adobe reforzado con concreto.

La clase de vulnerabilidad B es la más adecuada para el refuerzo típico y la clase C se deja para cuando al refuerzo se le ha agregado la losa de concreto que funciona como un diafragma rígido.



Figura D.12 Adobe con sistema de piso de concreto.

### D.2.3 Bajareque

Este tipo de construcciones puede compararse con las encontradas en Europa y clasificadas como “enrejilladas y embadurnadas”, donde marcos de madera se llenan con tablillas cubiertas de arcilla.

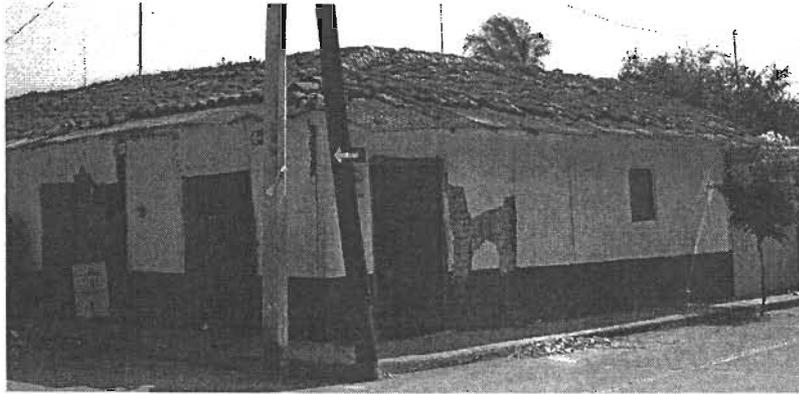


Figura D.13 Bajareque (marcos de madera cubiertos con tablillas embadurnadas de arcilla).

Este tipo de estructuras en forma de palapa (ver figura 3.14), se forman por cuatro elementos verticales que se hincan al suelo directamente y por elementos horizontales o largueros que se ligan perimetralmente formando marcos de madera sobre los que descansa el techo que generalmente es de palmera y a cuatro aguas.

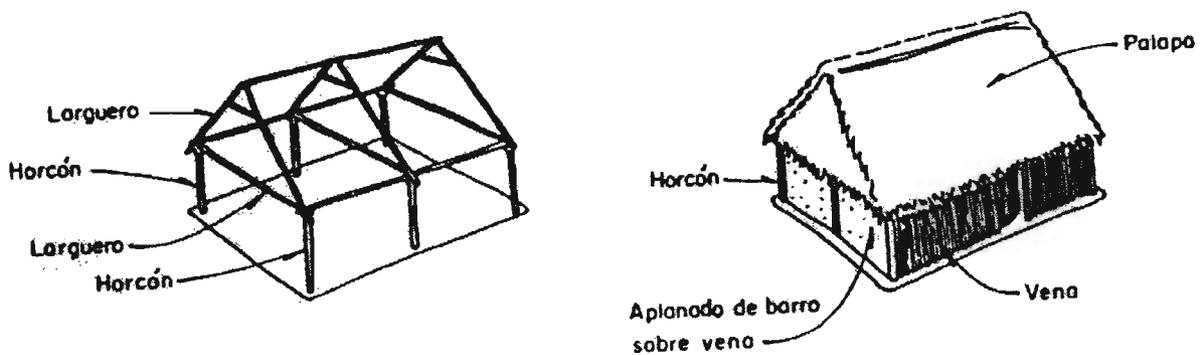


Figura D.14 Sistema estructural de construcciones de Bajareque.

Los muros de estas estructuras se forman mediante el tejido de varas o cañas conocidas como venas (ver figura D.14) las cuales se recubren con lodo. Estas estructuras ligeras y flexibles con buen mantenimiento resisten los sismos de manera adecuada. Su peor enemigo es el intemperismo, debido a que las bases de los horcones pueden pudrirse y quebrarse ante un evento sísmico; otro posible punto de falla es la unión deficiente entre los elementos verticales y horizontales. En ocasiones estas estructuras sufren daños debido a la interacción entre la estructura de madera que es muy flexible y los muros de adobe que son poco flexibles, ocasionando daños locales en los vértices de los muros (ver figura D.15) pero que puede ser reparado y no pone en riesgo la integridad estructural a menos que fallen las uniones en los marcos de madera.

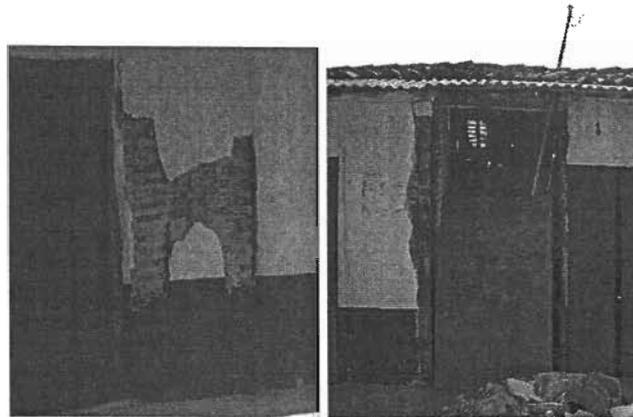


Figura D.15 Daño en elementos flexibles.

### **D.3 ESTRUCTURAS CON PIEDRAS MANUFACTURADAS**

Actualmente los materiales que más se emplean en los muros de viviendas urbanas o semi-urbanas son los ladrillos de barro recocido y los bloques de concreto, fabricados localmente en forma artesanal. La calidad de estos materiales es muy variable de acuerdo con los materiales y procedimiento de fabricación empleados. Los morteros con que se unen son por lo general de baja calidad y con frecuencia son únicamente de cal y arena.

Las construcciones de estos materiales son usualmente de dimensiones menores que las de adobe, especialmente en lo que se refiere a la altura de los muros, los techos son de losa de concreto, lámina de asbesto o zinc. Usualmente este tipo de construcciones también es de auto-construcción sin asesoría profesional.

#### **D.3.1 Mampostería No Reforzada de Tabique o Block**

Con frecuencia en las construcciones antiguas de este tipo, la resistencia ante sismos se logra con un buen traslape de los muros. La clase de vulnerabilidad B es la más probable. Sólo si el traslape en las esquinas de los muros es deficiente la clase de vulnerabilidad será A. En algunas zonas de la ciudad las estructuras de este tipo cuentan con buena calidad de ejecución y materiales de calidad.

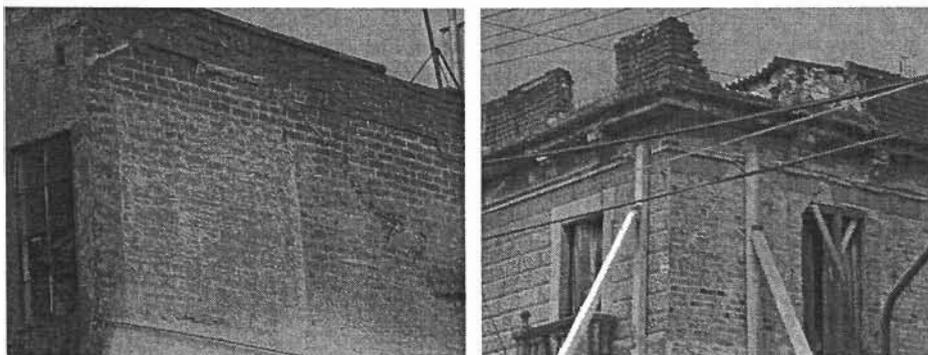


Figura D.16 Mampostería sin refuerzo con unidades manufacturadas

### **D.3.2 No Reforzada con Muros de Tabiques (o Bloques de Concreto) y Sistema de Piso de Concreto Reforzado**

El tipo de construcción donde los muros son de tabique no reforzado con losas de concreto reforzado, se comportarán significativamente mejor que las construcciones de tabique sin refuerzo con pisos de madera. Si los muros se conectan a la losa de piso mediante dadas de cerramiento formando anillos, se crea un sistema que reduce efectivamente el riesgo de falla fuera del plano. Cuando la estructura esté bien conectada, la vulnerabilidad probablemente es clase C; la presencia de irregularidades pronunciadas en elevación y en planta, aumenta considerablemente la vulnerabilidad, también si se tiene una unión deficiente entre muros y la losa la clase de vulnerabilidad será B.

### **D.3.3 Tabiques Reforzados y Mampostería Confinada**

Bajo este título se encuentran varios sistemas estructurales en los que se han hecho esfuerzos significativos para mejorar su desempeño. La mampostería reforzada interiormente con varillas de acero en los huecos y entre las hiladas de tabique, es un material compuesto de alta resistencia y ductilidad. La mampostería confinada entre columnas y vigas estructurales, proporciona un nivel similar de resistencia de la mampostería reforzada interiormente.

Otro sistema eficiente es conocido como mampostería con refuerzo externo, donde los muros se refuerzan con una malla exterior recubierta de concreto; si el mortero es débil la vulnerabilidad aumenta.

Los sistemas mencionados anteriormente presentan un excelente comportamiento siendo la clase D la más probable; si es evidente una buena calidad en la construcción, la clase es E; la clase C que es muy poco probable se limita a construcciones con bajo nivel de ejecución, con irregularidades en planta o elevación. La más empleada es en la región es la mampostería confinada cuyo comportamiento depende en gran medida de la separación de los castillos o columnas.

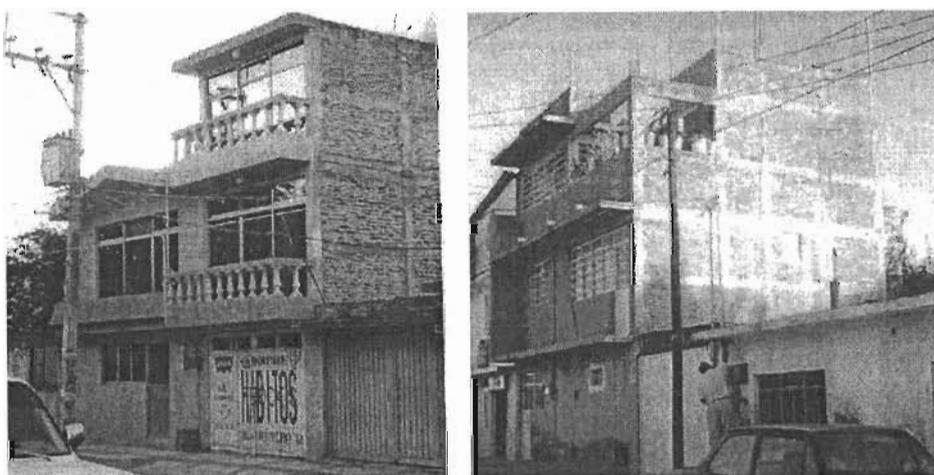


Figura D.17 Mampostería Confinada,

## D.4 ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

Este tipo de construcciones (figura D.18) varía ampliamente en apariencia, diseño y resistencia; por lo cual resulta difícil presentar una guía simple de clasificación. En la Tabla de Vulnerabilidad se ha hecho una división basada en el nivel de diseño sismo-resistente.

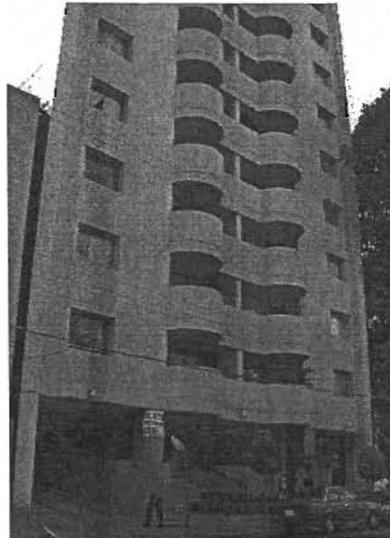


Figura D.18 Estructura de concreto reforzado.

### D.4.1 Estructuras de Marcos de Concreto Reforzado

El sistema estructural consiste de vigas y columnas que forman marcos acoplados por uniones viga-columna monolíticas resistentes a momento y a cortante. El comportamiento de este sistema estructural lo determina entre otros aspectos, la relación de aspecto y la resistencia individual de las columnas y vigas.

Es deseable que la estructura tenga el comportamiento dúctil denominado columna fuerte viga débil. Además de que se debe procurar que en los edificios el comportamiento sea simialr en ambas direcciones (transversal y longitudinal).

Los marcos de concreto reforzado construidos en la zona, debe considerarse el tipo de estructura con la mayor dispersión en resistencia sísmica. Esta amplitud en el intervalo de comportamiento, ocasiona que algunas de éstas estructuras tengan una clase de vulnerabilidad similar a las del adobe (Clase A) y otras una clase de vulnerabilidad similar a las de acero (Clase F).

La interacción entre marcos de concreto reforzado y muros divisorios frágiles pueden incrementar la vulnerabilidad del sistema.

Deben evitarse discontinuidades pronunciadas que constituyan irregularidades en rigidez o resistencia como columnas cortas, planta baja flexible, debido a que fomentan la falla frágil por cortante en columnas. Cuando estos defectos se presenten hay que asumir un

incremento en la vulnerabilidad probable; se pueden lograr grandes ductilidades con este sistema estructural si el detallado es adecuado.

En Chilpancingo generalmente estos edificios cuentan con un moderado nivel de diseño sismo-resistente, por lo tanto podemos pensar que la clase de vulnerabilidad D es la más probable, con variaciones desde B hasta E.

De acuerdo con la Escala Macrosímica Europea, para estructuras sin diseño sismo-resistente la clase C es la más probable, aunque puede tomar valores menores por malas configuraciones; si la estructura está muy bien configurada se le puede asignar la clase D.

Estructuras con un diseño sismo-resistente moderado tienen la clase de vulnerabilidad D como la más probable. En estructuras con alto nivel de diseño sismo-resistente, el diseño debe contener criterios antisísmicos, y contar con una buena supervisión, la clase de vulnerabilidad más probable será la E.

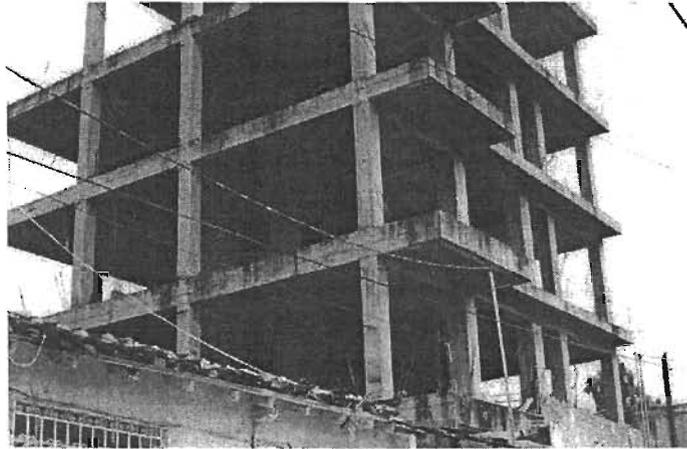


Figura D.19 Estructura a base de marcos de concreto.

#### **D.4.2 Estructuras de Muros de Concreto Reforzado**

La vulnerabilidad de estas construcciones depende de las aberturas y discontinuidades de los muros, de la forma geométrica del edificio, y también de cambios de rigidez y resistencia. Si los muros no están ubicados con regularidad, los efectos torsionantes pueden contribuir a la falla del sistema. Los muros de concreto reforzado tienen un rango menor de las clases de vulnerabilidad. De acuerdo con la Escala Macrosímica Europea, en estructuras sin diseño sismo-resistente la clase de vulnerabilidad más probable es la C, aunque puede tomar valores mayores cuando la configuración es muy buena, y la clase de vulnerabilidad será D; sólo si la estructura está muy mal configurada se le podría asignar una clase de vulnerabilidad B.

Si la estructura cuenta con un nivel moderado de diseño sismo-resistente, la clase de vulnerabilidad D es la más probable, estructuras muy bien configuradas y construidas, se clasificarán como vulnerabilidad clase E, es muy poco probable encontrar estructura con

un nivel moderado de diseño sismo-resistente con deficiencias serias que hagan clasificarlas como vulnerabilidad clase C.

Estructuras con un alto nivel de diseño sismo-resistente, debe diseñarse con criterios antisísmicos, métodos constructivos y supervisión calificados, en dichas estructuras la clase de vulnerabilidad más probable es la E.

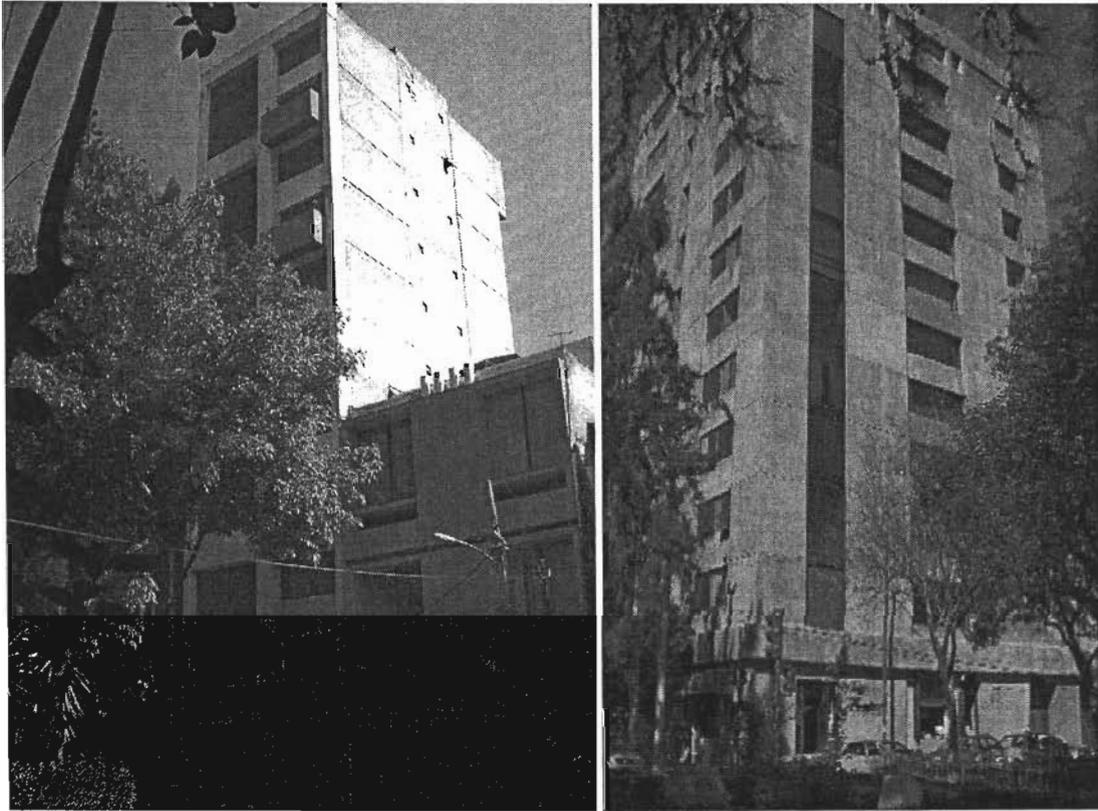


Figura D.20 Estructura con marcos y muros de concreto.

## D.5 ESTRUCTURAS DE ACERO

Bajo este título se discuten edificios para los cuales el principal sistema estructural lo proporcionan los marcos de acero. Se tienen indicios de buen comportamiento sísmico cuando las conexiones son dúctiles; sin embargo, el daño estructural puede, ocultarse por elementos no estructurales tales como recubrimiento antioxidante para el acero, por muros divisorios o por el concreto agregado en sistemas compuestos. En tales casos, el daño en los nodos de los marcos será visible retirando el recubrimiento del concreto.

Al asignar la clase de vulnerabilidad apropiada, deben tomarse en cuenta los sistemas rigidizantes así como también el tipo de conexiones. La ductilidad del sistema completo se determina por el sistema de rigidez lateral, el tipo de marcos y la clase de arriostramiento.

Para edificios de acero sin medidas especiales antisísmicas o diseño sismo-resistente, la clase de vulnerabilidad probable es la D. Si los arriostramientos empleados afectan las columnas deben representarse por una clase de vulnerabilidad C. En la mayoría de los casos de marcos momento-resistentes, marcos con muros de cortante de concreto, o marcos con excentricidad o arriostramiento proporcionan suficiente resistencia lateral y aseguran un comportamiento dúctil. Se puede considerar que la clase de vulnerabilidad más probable es la E. En caso de una mejora en el nivel de Diseño sismo-resistente la clase de vulnerabilidad que puede ser considerada como la más probable es la F. Estas estructuras en Chilpancingo por lo general tienen un nivel de diseño moderado, lo que permite asignarles una clase de vulnerabilidad E.



Figura D.21 Estructura a base de marcos de concreto.

## D.6 ESTRUCTURAS DE MADERA

La flexibilidad inherente de las construcciones de madera les proporciona una alta resistencia contra el daño, aunque esto pueda variar considerablemente en función de su estado de mantenimiento. Uniones flojas o maderas podridas pueden hacer a una estructura totalmente vulnerable al colapso. Si las vigas y las columnas están conectadas por placas clavadas o si éstas conexiones son débiles, la estructura fallará cuando fallen las conexiones. Este tipo de estructuras de madera está representado comúnmente por la clase de vulnerabilidad C. La ductilidad de las estructuras de madera depende de la ductilidad en las conexiones.

Las estructuras de madera presentes en la zona en estudio, son muy diferentes a las estructuras que se refiere la escala, ya que la escala asume mejores características en estas construcciones, tanto, que las compara con las estructuras de acero. En Chilpancingo, las estructuras de madera normalmente son de otras características, con techumbres ligeras y flexibles. Son estructuras en donde se han invertido menores recursos y por ello no cuentan con asesoría técnica que promuevan el comportamiento dúctil de este sistema. Las maderas que se emplean, con frecuencia son maderas blancas y suaves o duras y con muchos defectos; dichas maderas no tienen ningún tratamiento especial para evitar la putrefacción ni el ataque de insectos. Las uniones en general son poco rígidas y con frecuencia son el punto de falla de la estructura. El intemperismo es su peor y más frecuente enemigo. Las

estructuras mencionadas, con frecuencia tendrán un comportamiento similar a las casas de adobe o incluso peor, por lo tanto podemos emplear una clase de vulnerabilidad B para las que tengan buen mantenimiento y clase A para las que su mantenimiento sea malo.

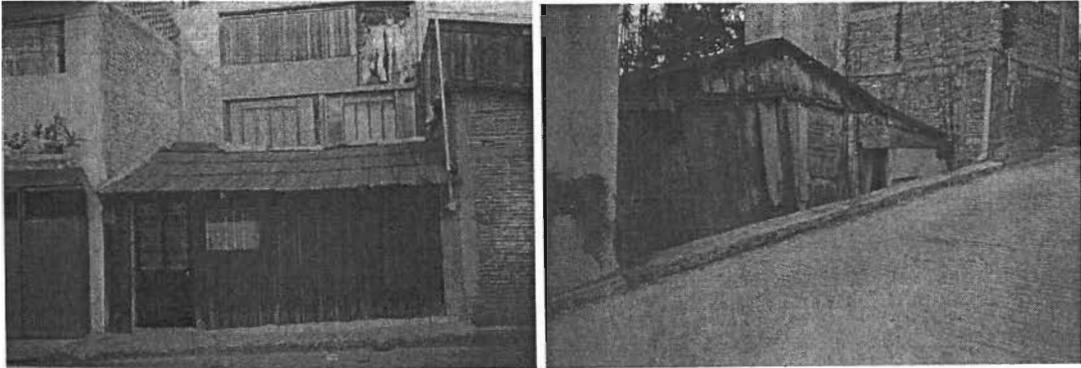


Figura D.22 Estructura de Madera.

---

**BIBLIOGRAFIA**

- Álvarez S y Gómez-Bernal, A (1999), "Estudio de vulnerabilidad en la región de Ometepec Guerrero", *Memorias del XII congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Volumen II, Morelia Mich., Noviembre, (pp. 881-888-109).
- Arellano, E, Juárez, H, Gómez-Bernal, A (2002), "Vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Chilpancingo, Guerrero", *Memorias del XIII congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Puebla, CDROM., Noviembre.
- Arellano, E, Juárez, H, A Gómez-Bernal, J F Lara, y E Sánchez (2003), "Caracterización y clases de vulnerabilidad de edificaciones de la Colonia Roma, Ciudad de México", *Memorias del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, León, Gto., CDROM., Noviembre.
- Arellano, E, H Juárez, y A Gómez-Bernal (2004), "Vulnerabilidad sísmica de la Colonia Roma", *Memorias del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Acapulco, Gro., CDROM., Noviembre.
- Aravena M, M Astroza y J Monge (1993), "Tablas de vulnerabilidad para algunos tipos constructivos". *6as. Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, Santiago.
- Chávez M, L García-Rubio L y A Mier A (1997), "Vulnerabilidad Sísmica de las construcciones de la zona metropolitana de Guadalajara", *Memoria del XI congreso Nacional de ingeniería sísmica.*, SMIS, Veracruz Ver., México, pp 1320-1325.
- Figuerola, J (1959), "Carta sísmica de la República Mexicana", *Anales del Instituto de Geofísica*, Vol. 5, UNAM.
- Gómez-Bernal A y R Saragoni (2000), "Radiation and dispersion of surface waves in Mexico from the September, 14, 1995". *Proc. XII World Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand.
- Gómez-Bernal, A, H Juárez, y M Corona (1999), "Peligro sísmico en Chilpancingo", *Memorias del XII congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, volumen II, Morelia Mich., Noviembre, (pp. 100-109).
- Gómez-Bernal, A, y R Saragoni, (2002), "Respuesta Dinámica de suelos estratificados ante terremotos", *Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Sísmica*, Valparaíso, Chile.
- Gómez-Bernal, A; H Juárez, E Arellano, y E Sordo (2004) "Earthquake scenarios in Guerrero México, an earthquake hazard characterization" *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6.
- Grünthal, G (1998), "European Macroseismic Scale 1998", *Cahiers de Centre Europeen de Géodynamique et de Séismologie*, volume 15, Luxemburgo.
- Guerrero, J J, M Jara, J Aguilar y J Iglesias (1991), "Vulnerabilidad Sísmica de Edificios de concreto Reforzado en la delegación Cuahutémoc". *Seminario Internacional sobre Microzonificación y su aplicación al planteamiento Urbano para mitigación de desastres*, Perú.
- Guerrero J J, M Jara y J Iglesias (1993), "Curvas de vulnerabilidad Costo-Intensidad sísmica para la ciudad de México", *Memoria del X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Puerto Vallarta, Jal. , México, 1993.
- Guinto E., E Sordo, R Arroyo y A Gama (1997) "Estudio de respuesta sísmica local para la ciudad de Chilpancingo, Guerrero" *Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, SMIS.
- Iglesias J, O Mota, M Jara , J J Aguilar, A Terán, A Gómez, R. Ortega, E González, J J Guerrero, H Juárez, E Sordo y J P Paniagua (1987), "Estudio de las intensidades del sismo del 19 de septiembre en la ciudad de México", *Universidad Autónoma Metropolitana*, Junio.
- INEGI, (2001), "Tabulados básicos y por entidad federativa base de datos y tabulados de la muestra censal", *XII Censo Nacional de Población y Vivienda 2000*, INEGI, México.

- Isidro A R y G A Gama, (1997) "Vulnerabilidad sísmica de unidades habitacionales en la ciudad de Chilpancingo Guerrero", *Memoria del XI congreso Nacional de ingeniería sísmica*, SMIS, Veracruz Ver., México, pp 1330-1337.
- Juárez, H, E Arellano, A Gómez-Bernal, A Gama (2001), "Caracterización de las estructuras en Chilpancingo", *Memorias del XIII congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Guadalajara Jal., Noviembre.
- Juárez, H, A Gómez-Bernal, E Arellano y E Sordo (2004), "Seismic vulnerability assessment for Colonia Roma in México City" *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6.
- "Manual para la evaluación de la capacidad sísmica de edificios en la Ciudad de México" (1986), *Secretaría General de Obras del DDF*, Diciembre.
- Münchener, R (1998), "World Map of Natural Hazards", *Munchen*.
- Otani, S y T Endo (1987), "Damage statistics on reinforced concrete and masonry buildings from the 1985 Mexico Earthquake", *Investigation report*.
- Ramírez H, R Vera R y E Mendoza (1997), "Estudio de Vulnerabilidad Sísmica de la ciudad de Toluca", *Memoria del XI congreso Nacional de ingeniería sísmica*, SMIS, Veracruz Ver., México, pp 1297-1303.
- "Regionalización sísmica de la República Mexicana"(En línea) Página del Servicio Sismológico Nacional.
- Si, H y S Midorikawa, (2000), "New Attenuation relations for peak ground acceleration and velocity considering effects of fault type and site conditions" *Proc. 12WCEE, paper No. 0532*, Auckland, New Zealand, January.
- Safina S. (2002) "Vulnerabilidad Sísmica de edificaciones esenciales, su contribución al Riesgo Sísmico", *Memoria de la tesis doctoral, Universidad politécnica de Cataluña, Escuela técnica Superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos. Departamento de ingeniería del terreno, cartografía y geofísica*, España, Diciembre.
- Valencia, E., (1981), "Eficiencia de sistemas de refuerzo de vivienda económica situada en zonas sísmicas", *Tesis de Licenciatura*, México D.F., (pp. 1-60).