



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGÓN**

**“EVALUACIÓN POST-SÍSMICA DE
ESTRUCTURAS DE CONCRETO NO
MAYORES A 30 MTRS. DE ALTURA”**

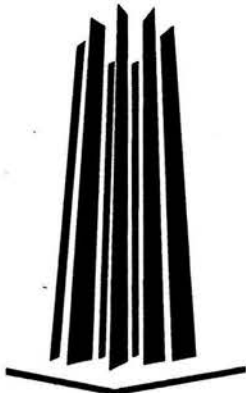
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A:

KARLA SELENE GÁMEZ CABELLO



ASESOR: ING. RICARDO HERAS CRUZ

MEXICO

2004



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN
SECRETARÍA ACADÉMICA

Ing. MARTÍN ORTIZ LEÓN
Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil,
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 28 de abril del año en curso, por la que se comunica que la alumna KARLA SELENE GAMEZ CABELLO, de la carrera de Ingeniero Civil, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "EVALUACIÓN POST-SÍSMICA DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO NO MAYORES A 30 MTRS. DE ALTURA", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular. reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 29 de abril del 2004
EL SECRETARIO


Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

C p Asesor de Tesis.
C p Interesado.

AIR/v



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGÓN - UNAM

JEFATURA DE CARRERA
DE INGENIERÍA CIVIL

OFICIO No. ENAR/JCIC/0159/2004

ASUNTO: Sínoo.

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS
SECRETARIO ACADÉMICO
PRESENTE

Por medio del presente me permito relacionar los nombres de los profesores que sugiero integren el Sínoo del Examen Profesional de la C. KARLA SELENE GAMEZ CABELLO, con número de cuenta: 09225889-1, con el tema de tesis: " EVALUACIÓN POST-SÍSMICA DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO NO MAYORES A 30 MTRS. DE ALTURA ".

PRESIDENTE:	ING. PASCUAL GARCÍA CUEVAS
VOCAL:	ING. JOSÉ PAULO MEJORADA MOTA
SECRETARIO:	ING. JOSÉ MARIO ÁVALOS HERNÁNDEZ
SUPLENTE:	ING. MARÍA ELENA SOLÍS ESTRADA
SUPLENTE:	ING. RICARDO HERAS CRUZ

Quiero subrayar que el director de tesis es el Ing. Ricardo Heras Cruz, el cual está incluido en base a lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

ATENTAMENTE

" POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN "
San Juan de Aragón, Estado de México, a 05 de mayo del 2004.

EL JEFE DE CARRERA

ING. MARTÍN ORTIZ LEÓN



c.c.p. Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez.- Jefa del Departamento de Servicios Escolares.
Ing. Karla Yvonne Gutiérrez Vázquez.- Secretaria Técnica de Ingeniería Civil.
Ing. Ricardo Heras Cruz.- Director de Tesis.
Comité de Tesis.
Interesado

MOL/mlev*

Agradecimientos:

**Bendito sea Dios,
Porque ha hecho maravillosa su misericordia
para conmigo en ciudad fortificada.**

Salmo 31:21

Dios gracias porque:

- Además de darme vida, me has dado motivos para vivirla,
- Por mis padres, y hermanos (que han forjado un carácter en mí),
- Y porque me has mandado un millón de ángeles, disfrazados de buenos amigos...

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México, porque me ha dado la oportunidad de formarme profesionalmente y como ser humano.

Gracias a mis profesores, por compartir sus conocimientos, en especial, a mi asesor de tesis, Ing. Ricardo Heras Cruz, gracias por tu paciencia y sobretodo tu fe en mí.

Gracias a mis abuelas, Consuelo y Antonia por su sabiduría y amor incondicional.

Gracias, mamá por ser extraordinaria en un mundo tan ordinario, papá no tengo como agradecer tanto amor, eres lo máximo. A mis hermanos: Eduardo y Erasmo, gracias por su apoyo y protección. Evelyn desde que te vi en el hospital supe que nunca me faltaría una amiga, gracias .A mis hermanitas Grissel, Mariel y Greta, verlas crecer ha sido una bendición, niñas.

Y a mis amigos de la escuela, la iglesia y el trabajo, que me han aguantado en las buenas y las malas, por su apoyo y respeto a mis decisiones. Gracias por permitirme crecer juntos y ser parte de ustedes. Por reír conmigo, por sus abrazos y oraciones cuando me sentí desfallecer. Por amarme, tal como soy, gracias.

In Memoriam,
Ivonne Beltrán Cahero

Evaluación Post-sísmica de Estructuras de Concreto no mayores a 30 mtrs. de altura

Contenido

Objetivos y alcances	08
Introducción	09
Capítulo I. Antecedentes	
1.1 Tipos de desastres	12
1.2 Efectos de los desastres	13
1.3 Amenaza y riesgo sísmico.....	14
1.4 Principios de sismología.....	14
1.4.1 Composición del globo terráqueo	
1.4.2 Teoría de la tectónica de las placas	
1.4.3 Tipos de ondas sísmicas	
1.5 Magnitud e intensidad	20
1.5.1 Sismógrafo	
1.5.2 Acelerógrafo	
1.6 Riesgo sísmico en México	28
1.7 Principales Instituciones encargadas de estudios sismológicos y desastres naturales	29
1.7.1 Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)	
1.7.2 Servicio Sismológico Nacional (S.S.N.)	
1.8 Norma para evaluación Post-sísmica de estructuras de concreto reforzado	33
Capítulo II. Efectos sísmicos en las construcciones	
2.1 Características de la acción sísmica	36
2.2 Respuesta de los edificios a la acción sísmica	38

2.3	Características del concreto y acero	39
2.3.1	Concreto	
2.3.2	Acero	
2.4	Características de la estructura que afectan su comportamiento sísmico	42
2.4.1	Peso	
2.4.2	Regularidad del edificio en planta	
2.4.3	Regularidad del edificio en elevación	
2.4.4	Separación entre edificios colindantes	
2.5	Daños más comunes en estructuras de concreto	46
2.5.1	Columnas	
2.5.2	Vigas	
2.5.3	Uniones viga-columna	
2.5.4	Muros	
2.5.5	Losas	
2.5.6	Daños no estructurales	
2.6	Aspectos reglamentarios para estructuras existentes	53
Capítulo III. Guía de Evaluación Post-sísmica de Estructuras de Concreto		
3.1	Objetivo y alcance de aplicación	62
3.2	Evaluación Inmediata del nivel de riesgo y peligro	64
3.2.1	Conceptos de investigación e inspección	
3.2.2	Método de evaluación	
3.2.3	Inspectores	
3.2.4	Equipo mínimo requerido	
3.2.5	Metodología	
3.2.6	Recomendaciones a seguir para una respuesta Inmediata de emergencia	
3.3	Evaluación del nivel de daño y su clasificación	73
3.3.1	Conceptos de Investigación e inspección	
3.3.1.A	Planos estructurales, arquitectónicos y de instalaciones	
3.3.1.B	Verificación de las características de los materiales	
3.3.1.C	Nivelación y mecánica de suelos	

3.3.2 Método de Evaluación

- 3.3.2.A Evaluación considerando los asentamientos locales
- 3.3.2.B Evaluación considerando el desplomo de la estructura
- 3.3.2.C Evaluación de la cuantía de daño y pérdida de capacidad de los elementos estructurales
- 3.3.2.D Evaluación de otros factores

3.3.3 Inspectores

3.3.4 Equipo mínimo requerido

3.3.5 Metodología

Capitulo IV. Ejemplo de aplicación de la Norma

4.1 Datos del sismo causante del daño88

4.2 Ubicación geotécnica del edificio evaluado89

4.3 Evaluación inmediata del nivel de riesgo y peligro89

- 4.3.1 Formas No. 1 llenas
- 4.3.2 Memoria fotográfica
- 4.3.3 Análisis de resultados

4.4 Evaluación del nivel de daño y su clasificación97

- 4.4.1 Formas No. 2 llenas
- 4.4.2 Memoria fotográfica
- 4.4.3 Análisis de resultados

4.5 Resultado de la evaluación112

4.6 Recomendaciones y observaciones113

Conclusiones115

Glosario118

Bibliografía126



Objetivos y alcances

El objetivo principal de este trabajo es presentar una guía sencilla y rápida de aplicar, para la evaluación de la seguridad estructural y condiciones de servicio en estructuras de concreto reforzado no mayores a 30 metros de altura o de 10 niveles, después de un sismo. Basada en primera instancia en las normas establecidas por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

La guía aquí expuesta está dividida en dos partes:

1. Evaluación inmediata del nivel de riesgo y peligro

Cuya finalidad es determinar el nivel de seguridad estructural y riesgo de caída de objetos con daño grave. Otro objetivo, de la evaluación inmediata, es identificar que edificios pueden ser usados como: albergues, hospitales y almacenes provisionales, en el caso de un sismo de importante intensidad.

Con esta evaluación, también se identifican a las edificaciones con nivel aceptable y las que requieren ser examinadas con más detalle.

2. Evaluación del nivel de daño y su clasificación

En esta etapa se evalúa con una aproximación razonable y en tiempo corto, la seguridad de edificaciones clasificadas como precaución y peligro en la evaluación inmediata.

De la misma forma se determina si la estructura dañada es reparable, es decir, comprobar si es posible recuperar parte de la inversión que representaba antes del sismo.

Con esta guía pueden evaluarse estructuras de concreto reforzado con sistemas estructurales a base de marcos resistentes a momento y muros de carga, así como estructuras construidas con elementos prefabricados. Para este tipo de edificaciones cualquiera que sea su sistema estructural (marcos resistentes a momento o muros de carga) se pueden aplicar ambas evaluaciones, tomando en cuenta que en estos casos el mayor daño se presenta en las uniones de dichos elementos, por lo que se debe hacer una modificación en la evaluación sustituyendo a las columnas (marcos resistentes a momento) y muros estructurales, por las uniones entre elementos, respectivamente.

Queda fuera del alcance de esta guía las estructuras de concreto mayores a 30 metros de altura o que contengan materiales de alto riesgo, por considerarse de especial importancia y comportamiento particular. Por lo que se requiere de una serie de estudios y consideraciones específicas para cada caso.

Como ya se menciona el enfoque prioritario es conocer la capacidad estructural del edificio evaluado, después de un sismo y ante posibles réplicas. También se consideran los otros componentes del inmueble, y que, en un momento dado, pueden afectar sus condiciones de servicio.

Los métodos racionales de análisis y comportamiento sísmico quedan fuera del alcance de esta guía.

Introducción

Por estar lejos de la costa del Pacífico, la Ciudad de México se ubica en una región de peligro sísmico moderado, sin embargo, las condiciones geológicas del suelo producen una amplificación generalizada de las ondas sísmicas en toda la región.

Además, al sur del Distrito Federal (en las costas de Guerrero y Oaxaca) se encuentra el límite de la placa Tectónica de Cocos. Esta placa se encuentra en constante movimiento por debajo de la placa Norteamericana en la Trinchera Mesoamericana (Trinchera de Acapulco). Como resultado de este proceso se formó la actual Franja Volcánica Transmexicana, causante del vulcanismo en esta región, y por ende de la actividad sísmica.

Cuando hablamos de actividad sísmica en el Valle de México, es inevitable recordar el sismo del 19 de septiembre de 1985. Con base en los registros obtenidos, se dedujo que la magnitud del sismo fue de grado 8.1, y se sintió en la Ciudad de México con una intensidad de IX y X (en algunas zonas del centro). Hubo varios factores que hicieron que este sismo fuera tan destructivo como son: las características de oscilación del suelo que coincidieron con el período de numerosas construcciones por lo que entraron en resonancia, la duración tan prolongada del evento y las aceleraciones tan importantes que excedieron en 3 veces las máximas de diseño.

Este sismo y sus réplicas causaron, además de innumerables pérdidas humanas, daños a 1545 edificios, tan solo entre las construcciones de más de cuatro pisos y de uso público¹. Fue entonces que, se aplicaron técnicas de evaluación en las zonas donde se presentaron los mayores percances. El Departamento del Distrito Federal daba un pequeño curso de 3 horas, a Ingenieros, Arquitectos y personas relacionadas con la construcción, en el que se les explicaba que características físicas presentaba una edificación con daño, y algunas técnicas de rehabilitación. Este tipo de valoración se ha ido depurando y en el presente trabajo se recopilan estas técnicas de evaluación post-sísmica, esperando, que en un futuro sea útil para las personas que consulten este texto.

Con el propósito de entender con mayor exactitud estas técnicas de evaluación, se ha dividido este estudio en cuatro capítulos.

En el Capítulo I se expone la definición de desastre, introducción a la sismología y una breve reseña histórica de las principales instituciones encargadas del estudio de los sismos y la prevención de desastres causados por estos.

Nos ha parecido importante estudiar las características de los elementos que componen el concreto reforzado, los daños causados por sismo en estructuras de concreto así como los criterios de diseño establecidos en la propuesta de Normas Técnicas Complementarias por sismo, por lo que el Capítulo II está enfocado en estos temas.

Ya con estas bases, entramos de lleno en los conceptos de investigación e inspección, así como la metodología a seguir para la evaluación de daños post-sísmicos en estructuras de concreto.

¹ Noreña F., Castañeda C., y Fernández R., "Control de edificaciones en la Cd. de México", revista IMCYC, no.198, Vol.25, noviembre de 1987

Está evaluación se divide en dos partes:

1. Evaluación Inmediata de riesgo y peligro, la cual se aplica a todas las construcciones, y nos muestra que edificaciones tienen un nivel seguro, y no requieren de la segunda etapa de evaluación. Esto con el fin, de ir descartando sujetos de evaluación, y enfocarnos a los edificios con mayor daño. Es importante señalar que en un caso de emergencia como un sismo, se deben aprovechar al máximo los recursos humanos y económicos.

2. Evaluación del nivel de riesgo y peligro, solo se aplica a las construcciones evaluadas con algún nivel de peligro y las del tipo A (que su falla represente gran cantidad de pérdidas humanas, pérdidas económicas o culturales excepcionalmente altas).

Ya con ambas evaluaciones se puede emitir un juicio acerca de las condiciones del edificio, y recomendar su reparación, rehabilitación o demolición. En algunos casos, por las condiciones inciertas de algún elemento de la estructura, se deberán hacer evaluaciones más exactas por parte del especialista en la materia a examinar.

Antecedentes

Capítulo I. Antecedentes

1.1 Tipos de desastres

Un desastre puede definirse como un evento o suceso que ocurre, en la mayoría de los casos, de forma repentina e inesperada causando sobre los elementos alteraciones intensas. Representadas en pérdida de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos en el medio ambiente.

Los desastres pueden ser originados por la manifestación de un fenómeno natural, provocados por el hombre (de carácter antrópico) o como consecuencia de una falla de carácter técnico en sistemas industriales o bélicos.

Algunos desastres de origen natural corresponden a amenazas que no pueden ser neutralizadas debido a que difícilmente su mecanismo de origen puede ser intervenido, aunque en algunos casos puede controlarse parcialmente. Terremotos, erupciones volcánicas, tsunamis (maremotos) y huracanes son ejemplos de amenazas que aún no pueden ser intervenidos en la práctica, mientras que inundaciones, sequías y deslizamientos pueden llegar a controlarse o mitigarse con obras de ingeniería.

Una lista amplia de los fenómenos naturales que pueden ocasionar desastres, es la siguiente:

- Terremotos
- Tsunamis
- Erupciones volcánicas
- Huracanes
- Inundaciones
- Movimientos en masa (deslizamiento, derrumbes, flujos)
- Sequías (desertificación)
- Epidemias (biológicas)
- Plagas.

Estos fenómenos que pueden considerarse básicos en ocasiones generan efectos "secundarios", como el caso de las avalanchas y las lluvias o flujos de material piroclástico que están directamente asociados con el fenómeno volcánico, y otro tipo de fenómenos que pueden asimilarse como equivalentes, como el caso de tornados, ciclones tropicales o tifones que están relacionados con el término huracanes. La mayoría de estos fenómenos ocurren en forma cataclísmica, es decir, súbitamente, y afectan un área no muy grande. Sin embargo hay casos como la desertificación y las sequías que ocurren durante un largo período y sobre áreas extensas en forma casi irreversible.

Los desastres de origen antrópico pueden ser originados intencionalmente por el hombre o por una falla de carácter técnico, la cual puede desencadenar una serie de fallos causando un desastre de gran magnitud.

Entre otros desastres de origen antrópico pueden mencionarse los siguientes:

- Guerras
- Explosiones
- Incendios
- Deforestación
- Contaminación
- Accidentes

En general existe una diversidad de posibles desastres de origen tecnológico. En la actualidad, los centros urbanos y los puertos ofrecen una alta susceptibilidad a que se presenten este tipo de eventos debido al alto crecimiento de la industria, de la edificación y de los medios de transporte masivo de carga y personas.

1.2 Efectos de los desastres

Los efectos que pueden causar un desastre varían dependiendo de las características propias de los elementos expuestos de la naturaleza del evento mismo. El impacto puede causar diferentes tipos de alteraciones. En general pueden considerarse como elementos bajo riesgo la población, el medio ambiente y la estructura física representada por la vivienda, la industria el comercio y los servicios públicos.

Los efectos pueden clasificarse en pérdidas directas e indirectas. Las pérdidas directas están relacionadas con el daño físico, expresados en víctimas, en daños a la infraestructura de servicios públicos, daños en las edificaciones, el espacio urbano, la industria, el comercio y el deterioro del medio ambiente, las pérdidas indirectas generalmente pueden subdividirse en efectos sociales tales como la interrupción de los servicios públicos, del transporte, de los medios de información, y en efectos económicos que representan la alteración del comercio y la industria como consecuencia de la baja en la producción, la desmotivación de la inversión y la generación de gastos de rehabilitación y reconstrucción.

En un amplio número de países en desarrollo, como los países de América Latina, se han presentado desastres en los cuales han muerto miles de personas y se han perdido cientos de millones de dólares en veinte o treinta segundos. Cifras, en la mayoría de los casos incalculables en eventos cuyos costos directos y obviamente indirectos pueden llegar a un inmenso porcentaje de su Producto Interno Bruto. Debido a la recurrencia de diferentes tipos de desastres. En varios países del continente, se puede llegar a tener un significativo porcentaje promedio anual de pérdidas por desastres naturales. Situación que, como es obvio, se traduce en empobrecimiento de la población y estancamiento, puesto que implica llevar a cabo gastos no previstos que afectan la balanza de pagos y en general el desarrollo económico de los mismos.

1.3 Amenaza y Riesgo Sísmico

Antes de referirnos a amenaza y riesgo sísmico. Es de suma importancia definir estos conceptos que, equivocadamente se han considerado como sinónimos pero que son diferentes, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo:

Amenaza o Peligro. Factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en un cierto periodo de tiempo. (Sauter, 1989)

Riesgo, o daño. Destrucción o pérdida esperada obtenida de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en un cierto período de tiempo. (Sauter, 1989)

La diferencia fundamental entre la amenaza y el riesgo está en que la amenaza se relaciona con la probabilidad de que se manifiesta un evento natural o un evento provocado, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad que se manifiesten ciertas consecuencias las cuales están íntimamente relacionadas no sólo con el grado de exposición de los elementos sometidos, sino con la vulnerabilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por el evento.

1.4 Principios de Sismología

Aclarada ya, la diferencia entre amenaza y riesgo, se conoce que los sismos consisten en liberaciones súbitas de energía calorífica y de deformación de la tierra, acumulada durante años en los sitios de la corteza terrestre en los cuales tiene lugar esa deformación.

La sismología es una ciencia encargada del estudio de los temblores y la propagación de las ondas sísmicas, que se ha basado en la teoría tectónica de las placas para entender y explicar el origen de los sismos. Dicha teoría parte de la premisa del científico alemán Alfred Wegener de que los continentes se desplazan como gigantescos bloques de corteza sobre un manto líquido. Basado en observaciones de magnetismo, la gran afinidad entre fósiles, rocas y estructuras geológicas de lugares opuestos del Océano Atlántico y la similitud de las costas orientales de Sudamérica y occidental de África llegó a la conclusión de que hace unos doscientos millones de años, existía un solo continente (al que llamó Pangea que significa todas las tierras.)

Este supercontinente por la actividad de convección interna de la tierra, comenzó a fragmentarse al inicio de la era geológica del Mesozoico y esta separación continuó hasta llegar a

formar los continentes que actualmente conocemos. En las últimas décadas los detalles de la deriva continental se han estudiado más a fondo y se han encontrado pruebas contundentes de este hecho. Gracias a la sismología se ha entendido la composición y propiedades del planeta tierra.

1.4.1 Composición del globo terráqueo

Se sabe que el globo terráqueo está constituido por tres capas concéntricas principales. El centro del planeta está formado por un **núcleo interno**, con un radio de 1 400 km formado por un material sólido y muy denso, y por un **núcleo externo**, con un espesor de 2 100 km y compuesto principalmente por hierro y níquel fundidos, aquí existen altas temperaturas y presiones. El **manto** de 2 900 km de espesor es una masa sólida de rocas de composición variable, en la parte superior del manto entre los 100 y 200 km de profundidad, existe una capa llamada astenosfera y presenta la capacidad de deformarse y fluir plásticamente su característica principal es la baja velocidad de propagación de las ondas sísmicas. Por último tenemos la **corteza**, capa exterior del planeta que es comparada con una cáscara de huevo, ya que su espesor es muy pequeño en comparación con el radio de la tierra (6 370 km). Las tres cuartas partes de la corteza están cubiertas por aguas marinas, y esto hace que las características físicas entre los continentes y los océanos difieran. En las cuencas oceánicas la corteza es rígida y constituida principalmente por rocas cristalinas de basalto y granito de gran dureza y resistencia, es más densa y pesada, pero más delgada. La corteza continental tiene un espesor promedio de 35 km, pudiendo alcanzar hasta 75 km debajo de las grandes cadenas montañosas, y esta formada por rocas de composición granítica, en parte sobre una base de basalto.

La división entre el manto y la corteza se encuentra en la superficie, donde se produce un cambio de velocidad en la propagación las ondas sísmicas, conocida como la discontinuidad de Mohorovicic. El Moho como también se le conoce, se encuentra a una profundidad promedio de 35 km, es una zona de transición entre las rocas cristalinas de la corteza y las rocas más densas, no cristalizadas del manto de la tierra.

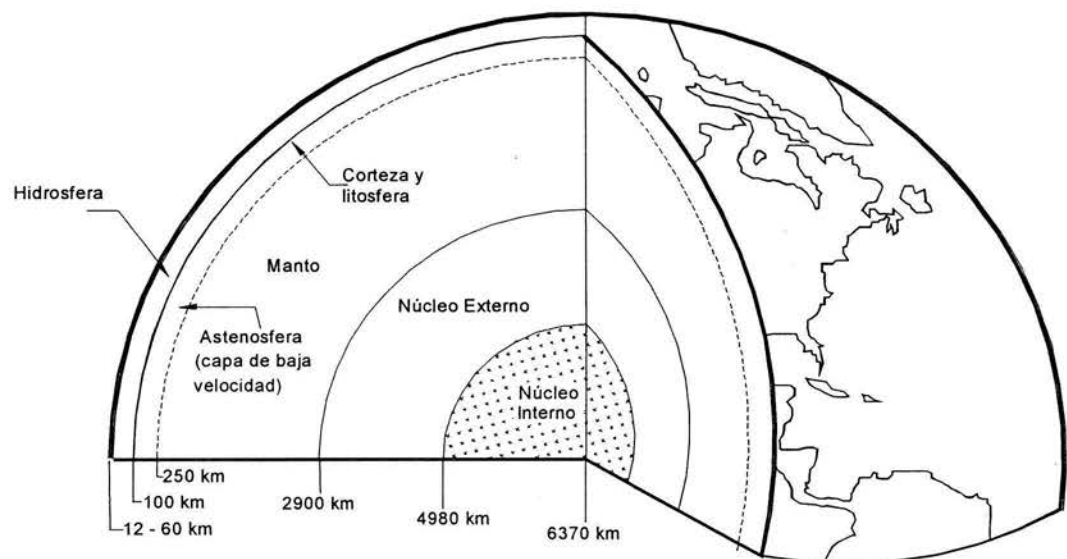


fig.1.1 Configuración Interna de la tierra

1.4.2 Teoría de la tectónica de placas

La corteza de la tierra está conformada por gigantescas láminas de aproximadamente 70 km de grosor, cada una con diferentes características físicas y químicas. Estas láminas conocidas como "placas tectónicas", se están acomodando en un proceso que lleva millones de años, y han originado los continentes y los relieves geográficos en un proceso que está lejos de completarse

Según la teoría de la tectónica de placas, la corteza está dividida en 17 placas principales (fig. 1.2) que se desplazan lateralmente unas a otras, impulsadas por corrientes de convección (propagación del calor entre los fluidos) originadas en el manto. Según la geofísica moderna la mayor parte de los sismos en el mundo está asociada en forma directa o indirecta con el movimiento relativo de las placas y su interacción a lo largo de las zonas de contacto. En el borde entre bloques rígidos de corteza (placas) se generan la mayor parte de los sismos registrados.

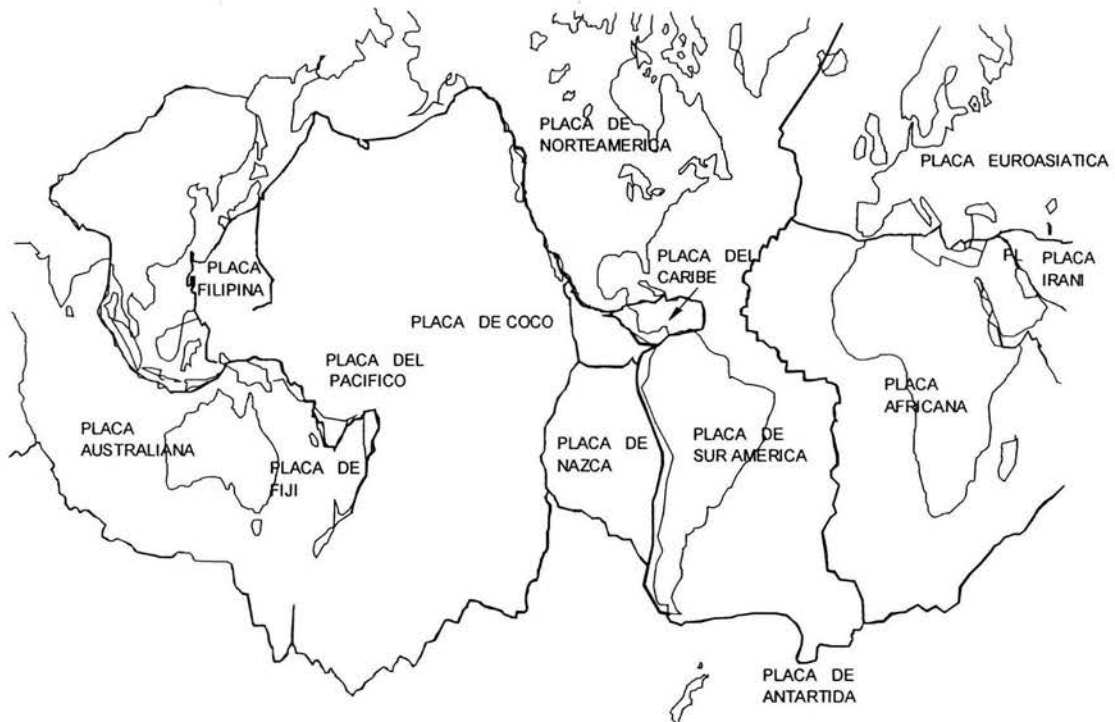


fig.1.2. Placas Litosféricas.

Las placas litosféricas mayores son: Euro Asia, África, América, Indo-Australia, Pacífico y Antártida. Otras placas menores son: Nazca, Coco, Caribe, Arabia, Filipinas y Somalia. A grandes rasgos estas son las divisiones de la corteza, pues en realidad el globo terráqueo es más complejo. En algunos casos los bordes entre las placas esta bien definido como es el caso de las placas del Caribe y de Norte América que se dividen por el sistema de fallas de San Andrés en California y Motagua-Polochic en Guatemala. El desplazamiento de las placas alcanza velocidades de varios centímetros por año, y el movimiento de las mismas puede ser de expansión o separación, de sumersión o subducción, o simplemente un movimiento lateral paralelo a la falla que divide las placas.

Las causas principales de las deformaciones de la corteza se encuentran en las fuerzas que arrastran a los sectores de los que están compuestas (las placas tectónicas), y a las que se oponen fuerzas contrarias en las placas adyacentes. **Los sismos originados por esta causa tienen generalmente una profundidad media (entre los 70 y 300 km) o alta (más de 300 km).**

La teoría de la tectónica de placas no explica satisfactoriamente la ocurrencia de eventos sísmicos, cuyos focos se localizan dentro de grandes regiones continentales. No obstante se acepta que las fuerzas que se desarrollan en las placas tectónicas producen a su vez, que las rocas de la corteza se deformen, se plieguen (Se conoce como "pliegue" a la forma dúctil de responder, de la corteza terrestre, ante un esfuerzo producido por las placas tectónicas, las cordilleras que hoy en día conocemos, son consecuencia de estos pliegues de la corteza terrestre) y se fracturen estas fuerzas someten a los estratos a esfuerzos de tensión y compresión, dando origen a lo que se conoce como fallas geológicas. En ellas pueden manifestarse fuerzas derivadas de la actividad tectónica, que tienden a mover un sector de la falla, generando la reacción contraria en el sector de la misma, con lo que se origina el proceso de acumulación de energía de deformación.

La Comisión Reguladora de Energía Atómica de Estados Unidos considera una falla activa si existen evidencias de desplazamientos durante los últimos 500 000 años, sin embargo otros organismos menos rígidos contemplan un período de tiempo menos largo, y esto se presta confusiones, para efectos de evaluar el riesgo sísmico se considera en base a la actividad y magnitud de los eventos sísmicos recientes en los últimos años. La magnitud nos da una idea de las dimensiones del sismo y lo explicaremos más adelante.

En la tabla 1.1 se presenta la clasificación de las fallas propuesta por L. S. Cluff y J. L. Cluff que considera los grados de actividad basada en deslizamiento por unidad de tiempo, dislocación máxima por evento, longitud de ruptura, intervalo de recurrencia y magnitud de los sismos mayores.

Clase	Deslizamiento (mm/año)	Dislocación Máx./evento (m)	Longitud Ruptura (km)	Período Recurrencia (años)	Magnitud (Ms)
1	>10	>1.0	>100	<500	>7.5
2	1.0-10	>1.0	50-200	100-1,000	>7.0
3	0.5-5.0	0.1-3.0	10-100	500-5,000	>6.5
4	0.1-1.0	0.01-1.0	1-50	1,000-10,000	>5.5
5	<1.0	----	---	>10,000	---
6	<0.1	---	---	>100,000	---

Tabla 1.1 Clasificación de las fallas (Sauter,1989)

La falla de San Andrés es de la clase 1, su deslizamiento es de 40 mm/año, su período de recurrencia es mayor a 100 años y los eventos han alcanzado la magnitud de Ms = 8.0, como el terremoto de Fort. Tejón. Los sismos causados por fallas activas tienen en términos generales una profundidad pequeña a media, y son en consecuencia, de alta peligrosidad.

1.4.3 Tipos de ondas sísmicas y su propagación

En el momento de fractura la roca de la corteza terrestre por sus propiedades físicas, hace que esta se deforme y vibre elásticamente, la energía acumulada es disipada principalmente en forma de calor, una parte menor es disipada en forma de ondas sísmicas que se propagan a través del medio sólido de la tierra, es similar a las ondas producidas al caer una piedra en un estanque. Las ondas se propagan a partir de la zona de ruptura, y es conocido como **foco o epicentro**. Existen dos tipos principales de ondas las llamadas ondas internas o de cuerpo y las de superficie que se propagan por la superficie de la tierra.

Las ondas internas o de cuerpo se dividen en:

Ondas primarias o P, y hacen vibrar una partícula en el sentido de propagación de las ondas, su movimiento es similar al de las ondas sonoras, que comprimen y dilatan alternativamente al medio sólido, también conocidas como ondas de compresión.

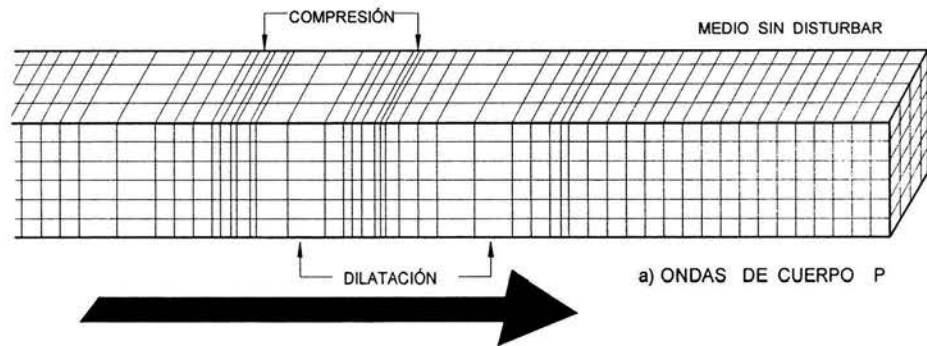


Figura 1.3 Ondas de cuerpo P

Ondas secundarias S o Shear, hacen vibrar a la partícula en forma perpendicular a la trayectoria de las ondas, produciendo esfuerzos de corte en el medio sólido que se propagan, también se les denomina como ondas transversales o de cizalla.

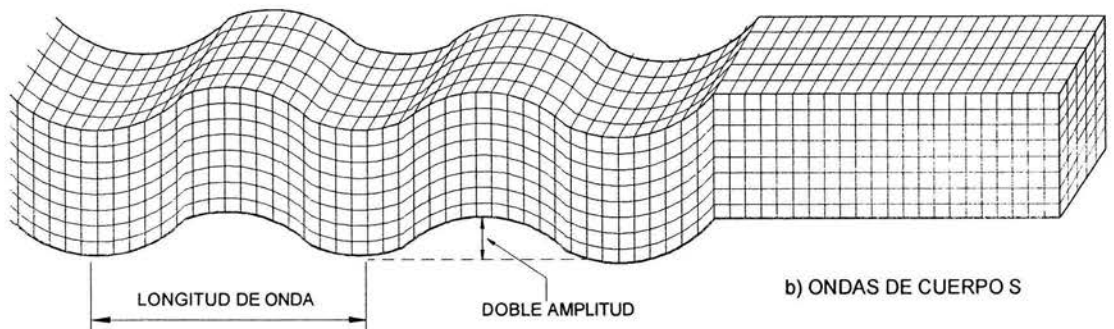
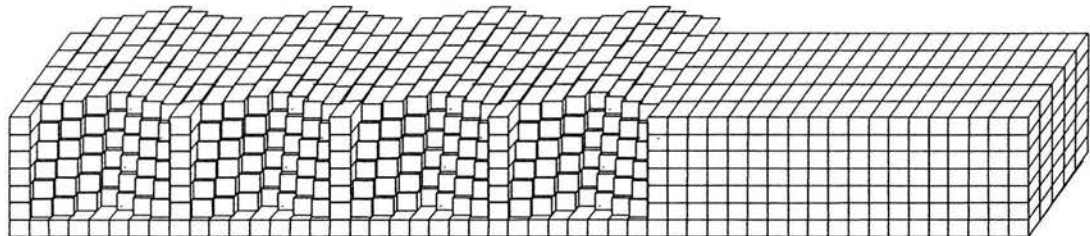


Figura 1.4 Ondas de cuerpo S

Ondas de superficie su profundidad está restringida a unos 30 km. de profundidad y se dividen en:

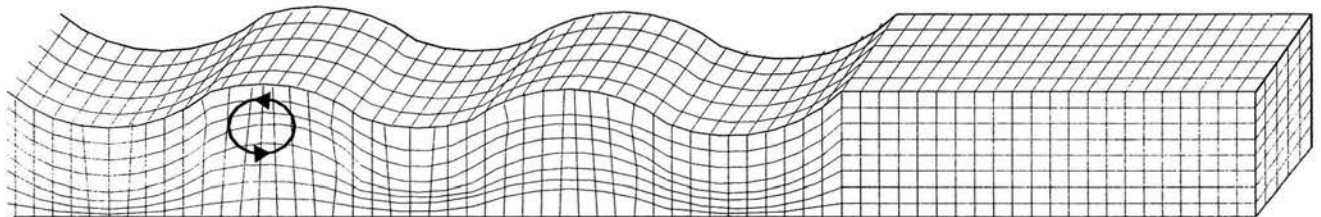
Ondas Love o L, su movimiento es similar a las ondas , que produce movimientos de cizalla o corte pero sin movimiento vertical.



c) ONDAS DE SUPERFICIE LOVE

Figura 1.5 Ondas de superficie Love

Ondas Rayleigh u ondas R que hacen vibrar a una partícula de forma similar a las ondas en la superficie del agua, con movimiento elíptico horizontal y vertical simultáneamente



d) ONDAS DE SUPERFICIE RAYLEIGH

Figura 1.6 Ondas de superficie Rayleigh

Propagación de las ondas sísmicas

Las ondas sísmicas son capaces de propagarse a través de medios sólidos y líquidos, sin embargo las ondas S, que son ondas de corte, no pueden propagarse a través de medios líquidos.

Las ondas P se transmiten a mayor velocidad que las ondas S, así las primeras en llegar a la superficie son las ondas primarias P, pocos segundos después llegan las ondas S que por tener mayor amplitud y contenido de energía son las que causan mayor daño en las edificaciones.

Las ondas de cuerpo a su vez viajan más rápido que las ondas de superficie, y de estas últimas las ondas Love son más veloces que las ondas Rayleigh. De esta forma conforme las ondas se alejan de su epicentro se dispersan y pueden ser claramente diferenciables en los registros o sismogramas. Cerca del foco todos los tipos de onda se mezclan, dando lugar a un sismograma complejo, de difícil interpretación.

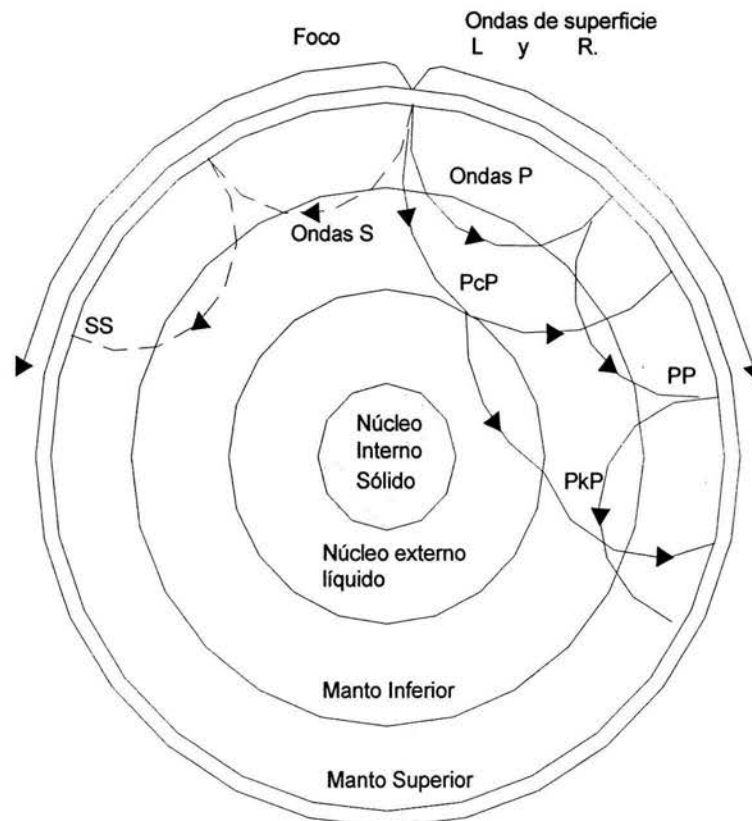


fig. 1.7 Propagación de las Ondas sísmicas

1.5 Magnitud e intensidad

La magnitud y la intensidad son dos parámetros importantes para medir el tamaño y la fuerza de un sismo. Franz Sauter en su libro *Fundamentos de Ingeniería Sísmica Tomo I* (Sauter, 1989) define cada uno de ellos de la siguiente forma:

“Magnitud es una medida cuantitativa e instrumental del tamaño del evento, relacionada con la energía sísmica liberada durante el proceso de ruptura en la falla. La magnitud es una constante única que se asigna a un sismo dado y es independiente del sitio de observación.”¹

“La intensidad es una medida de la fuerza del movimiento del terreno, del grado en que la vibración es registrada y sentida en una determinada localidad, y de los efectos y daños causados por el sismo. La intensidad es una variable que depende del sitio de observación.”¹

Nos encontramos con que la magnitud es el parámetro de más fácil medición ya que, es una constante única y representa una medida cuantitativa del sismo, sin importar el lugar de observación; es determinada midiendo la máxima amplitud de las ondas registradas en el sismograma (más adelante se explicará en que consiste un sismograma) del evento a evaluar.¹

¹ Sauter, *Fundamentos de Ingeniería Sísmica*, 1989

Existen varias escalas de magnitud, dependiendo del tipo de onda en que se basa la medición de la amplitud. Charles Richter en 1935 desarrollo la escala de magnitud original, y está expresada en escala logarítmica, donde magnitud se designa con la letra M. La ecuación que define la magnitud Richter se define de la siguiente manera:

$$M = \log A - \log A_0$$

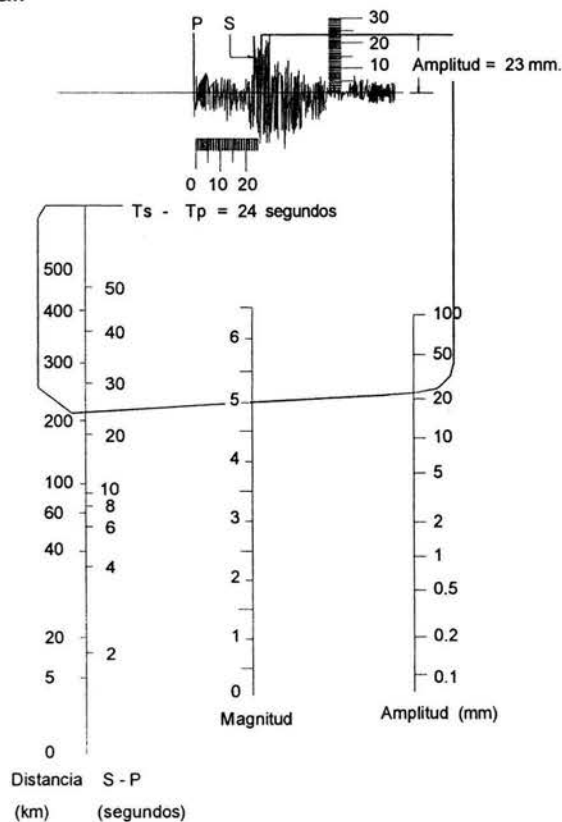
Donde:

A = máxima amplitud del trazo registrado por un sismómetro a cierta distancia del foco

A₀ = trazo máximo para un evento normalizado, es decir un evento que se toma como patrón.

Richter tomo en cuenta la atenuación de las ondas sísmicas debido a la distancia entre el foco y el lugar donde el sismógrafo toma la lectura, solo que no especificó que tipo de onda será en la que se basa la medición de la amplitud.

El procedimiento de medición, para un evento local, es el siguiente: del tiempo transcurrido entre la llegada de las ondas primarias P y las ondas secundarias S, se determina la distancia al foco en km. En el sismograma se mide la máxima amplitud de onda, y en el nomograma (fig. 1.8). Se traza una línea recta entre los puntos correspondientes a la distancia y a la amplitud para determinar la magnitud local.



La magnitud se puede obtener mediante el uso de nomogramas como el de la figura 1.8

Si conocemos la distancia del epicentro **R** (columna izquierda) y la amplitud máxima de la oscilación **A** (columna derecha) leída directamente del sismograma, se traza una línea recta entre ambos ejes y se determina la magnitud **M** (Sauter, 1989)

fig. 1.8 Medición de sismograma

Franz Sauter en su libro "Fundamentos de Ingeniería Sísmica " tomo I hace una consideración de los sismos sobre la base de la magnitud registrada, que en se presenta en la tabla 1.2.

Magnitud	Se considera:
< 5	Pequeño
5.5 – 6.5	Moderados
>7	Eventos grandes
>8	Eventos muy grandes

Tabla 1.2 Evaluación de sismos en base a su Magnitud (Sauter, 1989)

Realmente la magnitud no determina el grado de daño que un evento sísmico pueda causar, ya que un sismo de grandes magnitudes y que su foco (punto de ruptura) se encuentra en el fondo del océano o a grandes profundidades, debido a los efectos de amortiguamiento de las capas por donde se transmiten las ondas, al llegar a la superficie su efecto destructivo es mínimo. Por otro lado, tenemos el caso de eventos cuya magnitud es menor y sus efectos pueden llegar a ser verdaderas catástrofes gracias a que su foco se encuentra cerca de la superficie o de grandes zonas urbanas.

En la práctica se ha hecho más eficiente el uso de dos escalas de magnitud distintas a la Richter. Estás son aplicadas mediante la evaluación de la magnitud **Ms** que mide las ondas superficiales (surface waves) y magnitud **Mb** a quién le corresponde medir las ondas de cuerpo (body waves.) Los sismólogos distinguen a las ondas en virtud de la amplitud del trazo producido por ellas. Así tenemos que los sismos de foco profundo producen amplitudes de onda muy diferentes a los sismos de foco superficial aún cuando la cantidad de energía liberada sea la misma.

A fin de homogenizar los valores de magnitud, se ha determinado la amplitud de onda de los registros de la red sismográfica mundial estándar (World –Wide Standard Seismograph Network.)

La magnitud **Ms** se fundamenta en al amplitud máxima de las ondas de superficie con períodos de aproximadamente 20 segundos, mientras que la magnitud **Mb** se basa en la amplitud de ondas de cuerpo con períodos cercanos a 1.0 segundos.

La cantidad de energía liberada se disipa en forma de calor, una parte menor es irradiada en forma de ondas sísmicas. Existe una ecuación que correlaciona la energía sísmica liberada con la magnitud del evento. Está expresión fue planteada por Gutenberg-Richter (1956) y es la siguiente:

$$\text{Log } E_s = 11.8 + 1.5 M_s$$

Donde :

Ms = magnitud de ondas de superficie

Es = energía sísmica liberada en ergios.

La ecuación antes mencionada es una escala logarítmica con valores de magnitud entre 1 y 9.5, un temblor de magnitud 7 es diez veces más fuerte que uno de magnitud 6, cien veces más que otro de magnitud 5, mil veces más que uno de magnitud 4 (**tabla 1.3**)

Ms (Magnitud)	Es (Energía Sísmica liberada en ergios)
1	19,952,623,149,688.90
2	630,957,344,480,198.00
3	19,952,623,149,688,900.00
4	630,957,344,480,198,000.00
5	19,952,623,149,688,900,000.00
6	630,957,344,480,198,000,000.00
7	19,952,623,149,688,900,000,000.00
8	630,957,344,480,198,000,000,000.00
9	19,952,623,149,688,900,000,000,000.00

Tabla 1.3 Tabla comparativa de energía liberada por sismos de diferentes magnitudes

De esta manera un sismo de magnitud $M_s = 6$ libera una energía equivalente a $6.3 \times E_{20}$ ergios, una energía comparada a 63 bombas atómicas (Sauter, 1989). Se estima que al año se producen en el mundo unos 800 terremotos con magnitudes entre 5 y 6, unos 50.000 con magnitudes entre 3 y 4, y sólo 1 con magnitud entre 8 y 9. En teoría, la escala de Richter no tiene cota máxima, pero hasta 1979 se creía que el sismo más poderoso posible tendría magnitud 8.5. Sin embargo, desde entonces, los progresos en las técnicas de medidas sísmicas han permitido a los sismólogos redefinir la escala; hoy se considera 9,5 el límite práctico.

Por otro lado, para determinar la **intensidad** de un sismo se emplean dos parámetros. El primero y más antiguo se basa en una apreciación subjetiva de los efectos aparentes de un sismo sobre el terreno, y el más racional que es una medida instrumental de la amplitud del movimiento del terreno y para este efecto se emplean parámetros tales como: desplazamiento, aceleración y velocidad que son obtenidos con los registros tomados por los acelerógrafos.

Las escalas de intensidad de un sismo son subjetivas, ya que se establecen sobre la base de los daños causados por el evento, y por ende dependen de la distancia del observador a la fuente sísmica. Una escala, introducida al comienzo del siglo XX por el sismólogo italiano Giuseppe Mercalli, mide la intensidad de un temblor con valores entre I y XII. La medida Mercalli depende de la posición del sismógrafo. Una intensidad I se define como la de un suceso percibido por pocos, mientras que se asigna una intensidad XII a los eventos catastróficos que provocan destrucción total. Los temblores con intensidades entre II y III son casi equivalentes a los de magnitud entre 3 y 4 en la escala de Richter, mientras que los niveles XI y XII en la escala de Mercalli se pueden asociar a las magnitudes 8 y 9 en la escala de Richter.

Existen diferentes escalas pero la más usada en América es la escala de Mercalli Modificada (MM) tabla 1.4, del grado I al VI es asignado por la percepción individual, del grado VII al X se evalúa sobre la base de los daños a las edificaciones y en grados finales XI y XII la referencia son los cambios geológicos producidos por el sismo. El idioma español es el único que hace distinción entre movimientos sísmicos de baja intensidad (temblores), que solo son percibidos por el hombre y eventos de alta intensidad llamados terremotos. El grado VII nos marca la transición de temblor a terremoto.

Grado	Descripción
I	No es sentido por las personas; registrado por los instrumentos sismográficos.
II	Sentido solo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos superiores; objetos suspendidos pueden oscilar.
III	Sentido en el interior de las edificaciones, especialmente en pisos superiores, pero muchos pueden no reconocerlo como temblor; vibración semejante a la producida por el paso de un vehículo liviano; Objetos suspendidos pueden oscilar.
IV	Objetos suspendidos oscilan visiblemente: vibración semejante a la producida por el paso de un vehículo pesado; vehículos estacionados se bambolean; cristalería y vidrios suenan; puertas y paredes de madera crujen.
V	Sentido aun en el exterior de los edificios; permite estimar la dirección de las ondas; personas dormidas se despiertan; el contenido líquido de recipientes y tanques es perturbado y se puede derramar; objetos inestables son desplazados; las puertas giran y se abren o cierran; relojes de péndulo se paran.
VI	Sentido por todas las personas; muchos sufren pánico y corren hacia el exterior; se tiene dificultad en caminar establemente; vidrios y vajilla se quiebran; libros y objetos son lanzados de los anaqueles y estantes; los muebles son desplazados o volcados; el revoque y enlucido de mortero de baja calidad y mampostería tipo D se fisuran; campanas pequeñas tañen.
VII	Se tiene dificultad en mantenerse parado; percibido por los conductores de vehículos en marcha; muebles se rompen; daños y colapso de mampostería tipo D; algunas grietas en mampostería tipo C; las chimeneas se fracturan a nivel de techo; caída del revoque de mortero, tejas, cornisas y parapetos sin anclaje; algunas grietas en mampostería de calidad media; campanas grandes tañen; ondas en embalses y depósitos de agua.
VIII	La conducción de vehículos se dificulta; daños de consideración y colapso parcial de mampostería tipo C; algún daño a mampostería tipo B; ningún daño en mampostería tipo A; caída del revoque de mortero y de algunas paredes de mampostería; caída de chimeneas de fábricas, monumentos, y tanques elevados; algunas ramas de árboles se quiebran; cambio en el flujo o temperatura de pozos de agua; grietas en terreno húmedo y en taludes inclinados.
IX	Pánico general; construcciones de mampostería tipo D totalmente destruidas; daño severo y aún colapso de mampostería tipo C; daño de consideración en mampostería tipo B; daño a cimentaciones; daños y colapso de estructuras aporticadas; daños de embalses y depósitos de agua; ruptura de tubería enterrada; grietas significativas visibles en el terreno.
X	La mayoría de las construcciones de mampostería y a base de pórticos destruidas; algunas construcciones de madera de buena calidad dañadas; puentes destruidos; daño severo a represas, diques y terraplenes; grandes deslizamientos de tierra; el agua se rebalsa en lo bordes de ríos, lagos y embalses; rieles de ferrocarril deformados ligeramente.
XI	Los rieles de ferrocarril deformados severamente; ruptura de tuberías enterradas que quedan fuera de servicio.
XII	Destrucción total; grandes masas de roca desplazadas; las líneas de visión óptica distorsionadas; objetos lanzados al aire.

Tabla 1.4 Escala Mercalli Modificada

En términos de riesgo sísmico los grados VII a IX de intensidades MM son los que causan el 90% del daño causado por terremotos. Cabe señalar y enfatizar que la intensidad es un parámetro descriptivo, y se considera como un complemento a los datos registrados por los diferentes instrumentos empleados, que a continuación se detallan.

Otras escalas son la de Rossi-Forel (10 niveles de intensidad) y la escala MSK Medredev-Sponheuer-Kamik (doce niveles de intensidad) ambas en uso en Europa y la escala japonesa JMA Japanese Metereological Agency (siete niveles de intensidad).

1.5.1 Sismógrafo

Buscando medir y analizar **la magnitud** del movimiento producido por los sismos se desarrollo el primer sismógrafo a finales del siglo XIX, y aún cuando se ha ido perfeccionando, su principio sigue siendo el mismo. Un sismógrafo está constituido por una masa que está libremente suspendida en un marco rígido fijado al terreno y oscila como un péndulo de manera independiente del movimiento del marco. En el momento en que el marco es obligado por la vibración del terreno a moverse, en el sentido vertical u horizontal, la inercia de la masa hace que está tienda a permanecer estática y que el movimiento de la masa se desfase respecto al desplazamiento del marco y del terreno. En los primeros modelos del instrumento, un estilete registraba los desplazamientos diferenciales sobre un papel ahumado enrollado sobre un tambor giratorio. Al registro obtenido se le llama sismograma. **Los sismógrafos se usan principalmente para determinar los epicentros y mecanismos focales.**

Un sismograma es una representación amplificada de las ondas sísmicas. La primera onda registrada por un sismograma es la onda P, ya que su velocidad de propagación es mayor, unos segundos o decenas de segundos, depende de la distancia del foco al centro de registro; se observa un cambio en el registro, la amplitud de las oscilaciones y su frecuencia aumenta, esto marca la llegada de las ondas S. Las otras ondas (L y R) arriban posteriormente y son diferenciadas en el sismograma por su amplitud y período característicos.

En la actualidad los sismógrafos están conformados por tres elementos:

- Sismómetro. Que responde al movimiento del terreno, horizontal o vertical, y lo convierte en una señal,
- Sistema de amplificación. Como su nombre lo indica amplifica decenas o miles de veces el movimiento y,
- Sistema de registro de señal. Dependiendo del sismógrafo puede ser: medios ópticos o estilete que plasmaran la lectura en papel termosensible, papel fotográfico o película. Los instrumentos más recientes transmiten la señal a un computador que registra las señales digitalmente en cinta magnética, y así posteriormente se reproducen en forma analógica para representar el trazo del sismograma en forma visual.

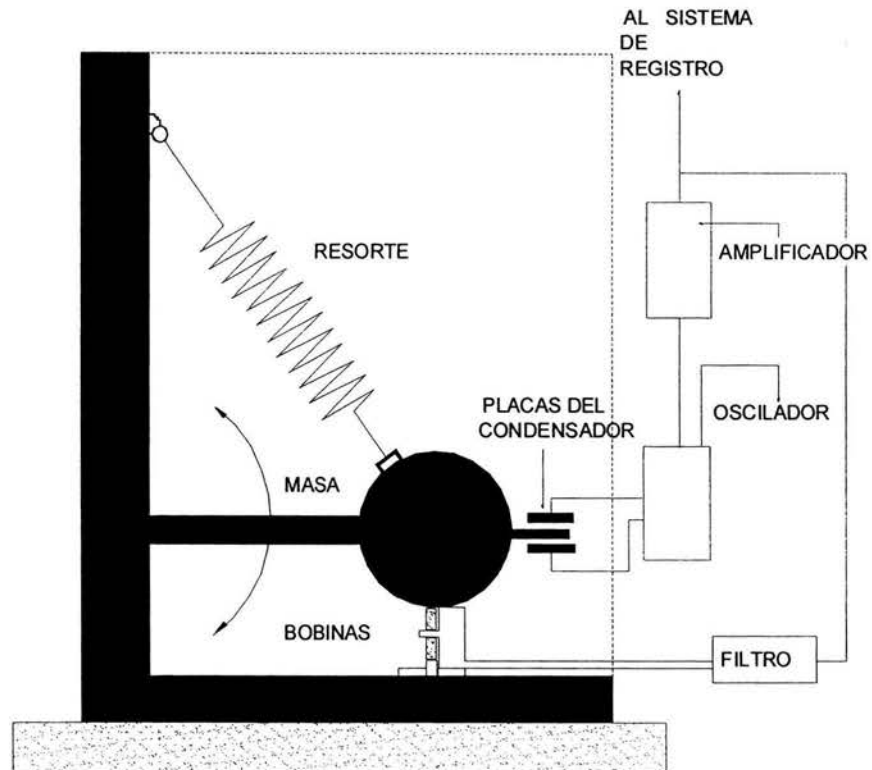


fig.1.9 Componentes de un sismógrafo

Existen estaciones sismológicas en donde se cuenta con sismómetros para registrar de una a tres componentes del movimiento del terreno, dos componentes horizontales y una vertical. Algunos autores recomiendan tener dos conjuntos de instrumentos con diferentes ámbitos de frecuencia, uno capaz de registrar las ondas largas de sismos lejanos (períodos de onda de 15 a 30 segundos), y otro que pueda captar las ondas de sismos cercanos e intermedios (períodos de 5 segundos.)

1.5.2 Acelerógrafo

El instrumento de registro de movimientos fuertes más ampliamente difundido es el acelerógrafo que registra la aceleración del terreno en función del tiempo. El parámetro más frecuentemente empleado para evaluar **la intensidad** del movimiento es la aceleración máxima del terreno.

Los sismógrafos, debido a su alta sensibilidad, no son aptos para registrar el movimiento cerca del área epicentral, el acelerógrafo es el instrumento idóneo para este fin. Ya que es capaz de registrar aceleraciones mayores a 1.0 g. Para fines de ingeniería los acelerógrafos son útiles ya que proporcionan la variación de aceleraciones con el tiempo, esto nos permite determinar la respuesta a la acción sísmica del edificio donde se encuentre el instrumento.

Los acelerógrafos son instrumentos portátiles y compactos, son resistentes al intemperismo, no requieren mantenimiento, y su construcción robusta permite su fácil transporte en vehículos aún en terreno escabroso. Se calibran y se instalan de forma relativamente sencilla y su energía la obtienen de una batería.

El principio del péndulo que responde al movimiento del terreno, es empleado en estos aparatos. De forma analógica los dispositivos ópticos convierten la señal para registrar las vibraciones sobre película o papel fotográfico mediante un trazo (fig.1.10) que representa la aceleración del terreno en función al tiempo. El acelerógrafo es capaz de registrar tres componentes del movimiento, dos de ellas horizontales ortogonales entre sí, y una componente de origen vertical.

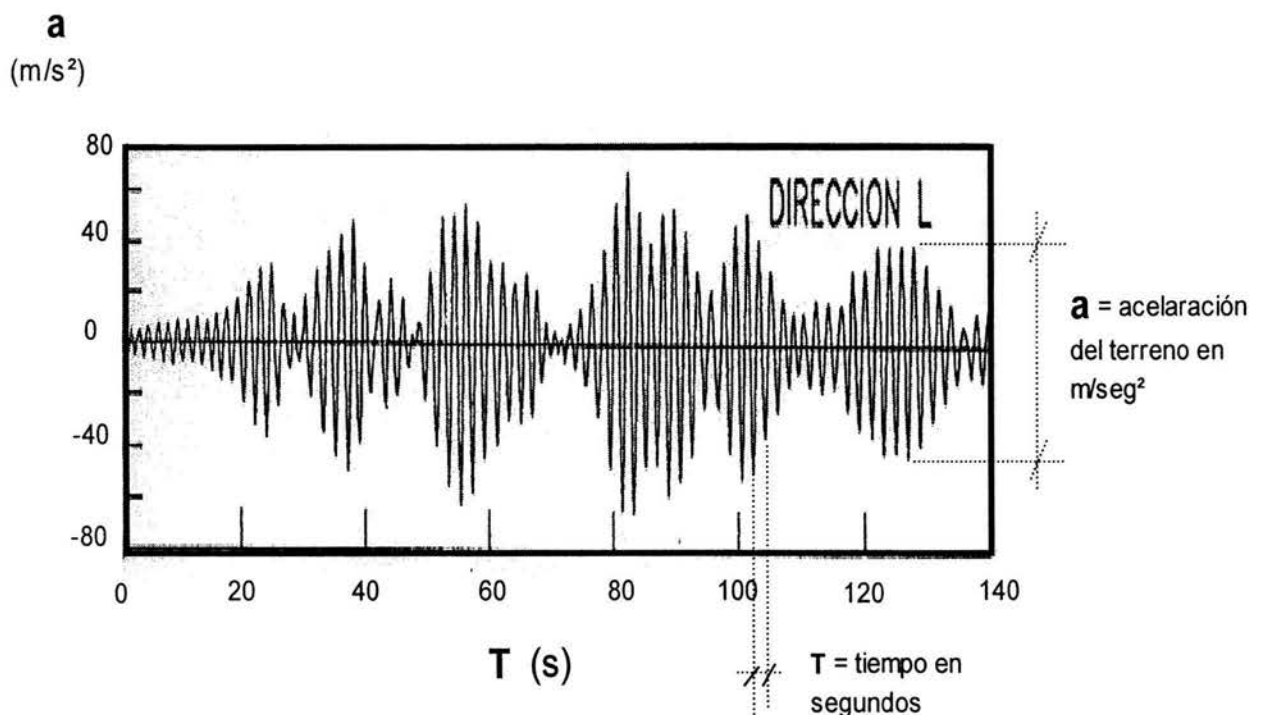


fig. 1.10 Acelerograma

Una inspección visual de un acelerograma y la medición de los trazos a escala, revela datos muy importantes de un sismo, como la aceleración máxima del terreno, contenido de frecuencias o períodos de las ondas predominantes, relación entre las amplitudes de las oscilaciones verticales y horizontales, duración de la fase de movimiento intenso y distancia epicentral.

A diferencia de los sismógrafos, que operan las 24 horas del día de forma continua, los acelerógrafos, de forma automática, inician el registro cuando la intensidad del movimiento del terreno excede el límite prefijado.

La tecnología moderna ha permitido que exista un intercambio de señales captadas por sismómetros que se encuentran en lugares remotos, gracias a las ondas de radio de muy alta frecuencia (VHF) y los sistemas de satélites artificiales. La mayoría de las estaciones sismológicas se rigen con un código de tiempo absoluto conforme el Meridiano de Greenwich, Inglaterra. Está la señal del tiempo, es recibida por enlace vía satélite de estaciones como la W.W.W.V.B en Fort Collins. El tiempo es registrado en un sismograma, con una exactitud de milésimas de segundo.

1.6 Riesgo sísmico en México

La intensidad de un sismo no es la misma para todos los puntos donde llegan los efectos del evento. A partir del foco o epicentro las ondas se transmiten a través de capas de roca sólida o suelo blando, lo que produce efectos de amortiguamiento o amplificación. Entre más cerca se encuentre el observador del foco del sismo, la intensidad será mayor y obviamente irá disminuyendo a medida de se aleje de este.

Las isosistas son líneas en el mapa de un lugar, que unen puntos de igual intensidad y muestran gráficamente como disminuye la intensidad registrada, del evento. A medida que crece la distancia del foco.

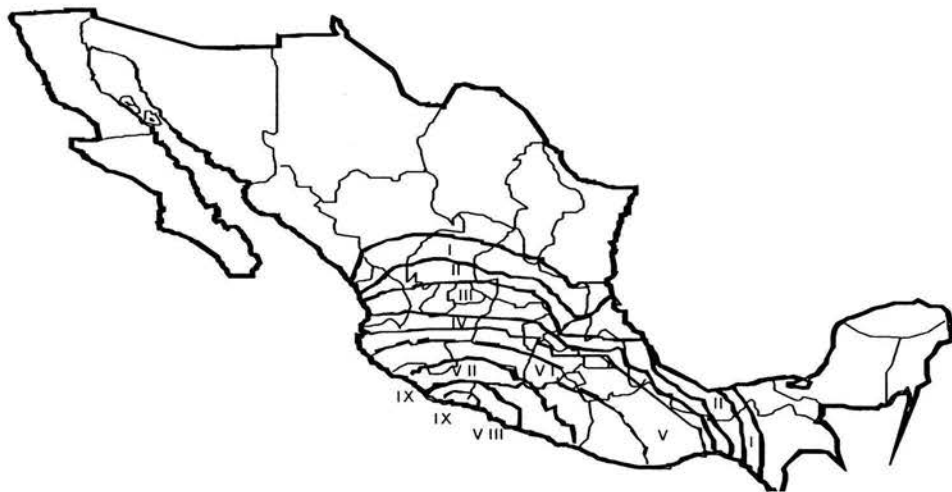


fig.1.11 Isosistas del sismo del 19 de septiembre de 1985.
(Fuente: Base de datos diagnóstico de peligro sísmico CENAPRED)

El peligro sísmico de un lugar depende de su cercanía a probables focos de sismos (como son las fronteras entre placas) y a la geología del lugar. Para nuestro país se tiene una regionalización sísmica que muestra la propagación de las ondas a través de la corteza terrestre. Está regionalización va del valor A, de bajo peligro sísmico, hasta la D siendo está la zona más vulnerable a eventos mayores.(fig. 1.12).



fig. 1.12 Regionalización sísmica de México.
(Fuente: Base de datos diagnóstico de peligro sísmico CENAPRED)

Por lo general, la intensidad aumenta en los sitios de terreno blando y los daños provocados por eventos sísmicos grandes han sido mayores que en suelos más rocosos. Cabe mencionar que durante el sismo de septiembre de 1985, mientras que en la estación sismológica de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), ubicada en suelo blando, se obtuvieron acelerógramas de 0.187, en la estación de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), localizada en suelo rocoso la máxima aceleración fue de 0.047, es decir, una amplificación de 4 veces.

1.7 Principales instituciones encargadas de estudios sismológicos y desastres naturales en México

Aunque nuestro país ha sido víctima de varios eventos sísmicos intensos en las últimas décadas, y en particular la ciudad de México. Que se ve afectada por sismos que tienen origen a lo largo de la Fosa Mesoamericana y son causados por la subducción de la placa de Coco bajo la placa de Norteamérica. No fue sino hasta 1985, que se les dio un impulso a los especialistas en la materia, para estudiar a fondo, los fenómenos y prevención las consecuencias causadas por los sismos.

Debido a las características complejas de las arcillas blandas y las condiciones ambientales (extracción de agua del subsuelo, etc.) adversas existentes en el Valle de México, se presenta una alta probabilidad de amenaza y riesgo sísmico. A partir del sismo del 19 de septiembre de 1985 se tomaron una serie de medidas que han abatido considerablemente este último. Ahora se conocen con mucho más exactitud las características de los movimientos del terreno durante los sismos, esto gracias a la extensa instrumentación que se ha instalado. Antes del evento sísmico de 1985 se contaba con 10 estaciones de monitoreo en la zona conurbana, tan solo 10 años después este número se cuadruplicó.

La importancia de este sismo, no tan solo radica en su magnitud de $M_s = 8.10$ y una intensidad en la Cd. De México, de $MM = IX$ y X . Ya que en 1911 se registro un sismo de $M_s = 7.9$,

que debió sentirse con la misma intensidad. Lo que marco la pauta, fueron las consecuencias del evento del 19 de septiembre de 1985, ya que se perdieron 15, 000 vidas y 1,545 inmuebles (tan solo se consideraron las construcciones mayores a 4 pisos) sufrieron daños en forma total o parcialmente.

1.7.1 Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)

Fue entonces que el Gobierno Federal buscó crear un sistema nacional de protección civil. Es decir, una estructura formal que se encargará de los aspectos de atención civil a nivel nacional, estatal y municipal; al mismo tiempo se busco que tuviera la solvencia técnica para capacitar, organizar y apoyar a todos los organismos que hoy integran el Sistema Nacional de Protección Civil.

El gobierno Japonés ya tenía la política de respaldar la formación de centros técnicos a nivel mundial en materia de prevención desastres causados por fenómenos sísmicos. En Lima, Perú existe uno de estos centros que se ocupa a nivel Sudamérica, y ya se tenía la propuesta para crear uno en la Cd. de México cuyo radio de acción fuese nuestro país, Centroamérica y el Caribe.

Por su parte el sector académico del país se hizo el planteamiento, de que era necesaria una Institución responsable de la investigación, capacitación y difusión, de los diversos fenómenos que tienen que ver con la prevención de desastres.

Los eventos sísmicos de 1985 ayudaron a concretar los planes de estos tres organismos, creando lo que hoy conocemos como el Centro Nacional de Prevención de Desastres.²

El CENAPRED como organismo desconcentrado de la Secretaría de Gobernación, tiene tres funciones primarias: investigación, capacitación y difusión. Estas tres funciones se enfocan en los principales tipos de riesgos de desastre que pueden agruparse en:

- Geológicos. movimientos sísmicos, erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra, etc.
- Fenómenos hidrometeorológicos. Huracanes, ciclones o inundaciones.
- Químicos. Incendios forestales, explosiones industriales, fugas de gases tóxicos, etc.

Hasta el momento se ha enfocado más a los aspectos sísmicos, y recientemente al riesgo volcánico, debido a que estos fenómenos se han presentado en forma más intensa.

En el área de investigación actualmente se tienen equipos experimentales de simulación de sismos, de ensayos de materiales, ensayos de suelos y redes de instrumentación sísmica. En su momento se estableció una red de monitoreo de volcán Popocatépetl, integrada por aparatos del CENAPRED, Instituto de Geofísica y el Instituto de Ingeniería (ambos de la UNAM). Asimismo se tienen convenios de colaboración con varias universidades del país.

En cuanto a capacitación, se ofrecen más de 140 cursos al año, para unidades de protección civil que contemplan la organización de simulacros, planeación de evacuaciones y hasta como

² Meli, La reducción de la vulnerabilidad, Revista de Ingeniería Civil No.318,1995

coordinar brigadas, dirigidos a dependencias del Gobierno Federal, de empresas privadas y universidades. También se imparte un diplomado de dirección de protección civil y un gran número de cursos avanzados.

Por último en el área de difusión, se publican números de documentos técnicos especializados y cuadernos de investigación, donde se plasman los resultados de las investigaciones a un nivel apropiado para profesionales. Carteles y videos de que hacer en casos de emergencia, que son fácilmente captados por el público en general. Así como la de una revista de prevención de desastres que publica tres números anualmente.

1.7.2 Servicio Sismológico Nacional

El gobierno mexicano decretó la fundación del Servicio Sismológico Nacional (SSN) el 5 de septiembre de 1910. En ese momento el SSN quedó bajo el cargo del Instituto Geológico Nacional dependiente de la Secretaría de Minería y Fomento.

El objetivo principal del Servicio Sismológico Nacional (SSN) es el proporcionar información oportuna sobre la ocurrencia de sismos en el territorio nacional y determinar sus principales parámetros como son la magnitud y el epicentro. De igual manera, el SSN se encarga de proporcionar la información necesaria para mejorar nuestra capacidad de evaluar y prevenir el riesgo sísmico y volcánico a nivel nacional

Entre el año de sus fundación (1910) y 1923 se instalaron 9 estaciones sismológicas mecánicas autónomas. La central fue instalada en Tacubaya (D.F) y las foráneas en las ciudades de Oaxaca, Mérida, Chihuahua, Veracruz, Guadalajara, Monterrey y Zacatecas.

Se eligieron sismógrafos "Wiechert" de fabricación alemana (sismógrafo horizontal), Siete de estos todavía operan en la actualidad y constituyen probablemente, el sistema más antiguo de América que ha operado por mayor tiempo en forma continua (fig 1.13).

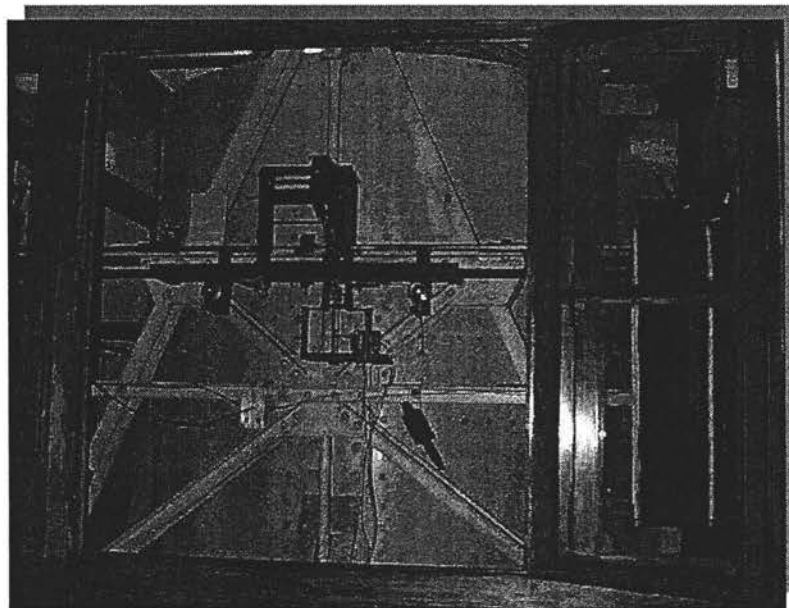


fig. 1.13 Sismógrafo "Wiechert
(Fuente: Servicio sismológico Nacional)

El SSN pasó a ser parte de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 1929 y desde 1948 quedó adscrito al Instituto de Geofísica de la UNAM. En sus inicios, el SSN contó con los instrumentos más modernos de la época, sin embargo, es hasta los años sesenta que se comienza la instalación de sismógrafos electromagnéticos (fig.1.14).

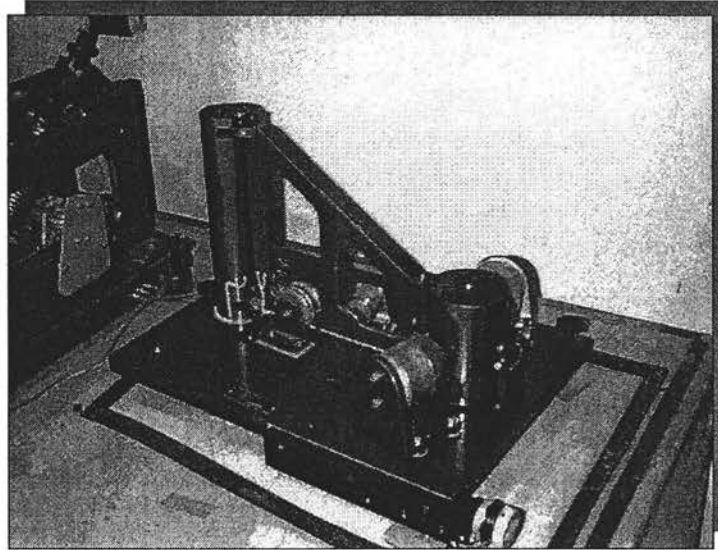


fig. 1.14 Sismógrafo electromagnético
(Fuente: Servicio sismológico Nacional)

La instalación de la Red Sísmica de Apertura Continental (RESMARC) se inició en la UNAM a mediados de los años setenta, con el fin de contar con estaciones telemétricas digitales en todo el territorio nacional. En esta red, la transmisión de las señales se realizaba por medio de enlaces de microondas proporcionados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (ahora TELECOMM).

En agosto de 1986, RESMARC pasó a formar parte del SSN. Así, se integraron las dos redes de cobertura nacional. Esto mejoró el monitoreo sísmico en el país, y por primera vez, permitió al SSN contar con registros en tiempo real desde diferentes puntos de la República Mexicana. Sin embargo, la cobertura nacional aún era insuficiente. En 1988 se amplió la Red Telemétrica del SSN, recibiendo apoyo de Petróleos Mexicanos (PEMEX), que facilitó canales de su red de microondas para la transmisión de los datos.

A inicios de los años 90's el Departamento de Instrumentación del Instituto de Geofísica, comenzó a desarrollar un sistema de adquisición y procesamiento automático de datos y a instrumentar estaciones telemétricas digitales.

A partir de 1992, con apoyo presupuestal de la Secretaría de Gobernación y de la UNAM, se inició la modernización de la Red Sismológica Nacional con la instalación de equipos de nueva tecnología. Así, nació la red de Observatorio Sismológicos de Banda Ancha.

En los últimos años, el Instituto de Geofísica de la UNAM se dio a la tarea de instalar una red de estaciones sismológicas equipadas con nuevos digitalizadores en diferentes sitios rodeando al Distrito Federal con el objetivo de mejorar la calidad de los datos y localizaciones de los temblores originados en el Valle de México. La Red Sísmica del Valle de México (RSVM) cuenta a la fecha con

11 estaciones digitales y una analógica (PPM), y la mayoría de ellas se localiza en el Estado de México.

1.8 Norma para evaluación Post-sísmica de estructuras de concreto reforzado

Un aspecto importante a considerar después de un sismo, son los daños causados en las edificaciones, y un diagnóstico rápido de las condiciones de servicio, ya que el daño indirecto por la lentitud para proporcionar auxilio y rehabilitación a las zonas afectadas ha quedado manifiesto. La tecnología de diseño antisísmico ha logrado que la pérdida de vidas por falla y derrumbe disminuya, pero se ha dejado el campo abierto a la investigación de las técnicas de evaluación y rehabilitación post-sísmicas emergentes, y así ganarle tiempo a las réplicas del evento principal.

En 1981 el Ministerio de la Construcción de Japón elaboró la guía técnica para refuerzo y rehabilitación de edificios dañados por sismo, como parte del proyecto general "Desarrollo de la Tecnología de Refuerzo y Rehabilitación de edificios Dañados por Sismos". Dentro de este proyecto se contempló la evaluación del nivel de daño y técnicas de rehabilitación.

La norma para evaluación del nivel de daño por sismo de estructuras de concreto reforzado, es la primera parte del cuaderno de investigación No. 37³ del CENAPRED. Que a su vez es una edición simplificada del "Manual de Técnicas de Rehabilitación dañadas por sismo" publicación de la Asociación de Investigación y Desarrollo en Arquitectura del Japón.

Esta norma se refiere a la necesidad de inspección de la seguridad y resistencia de las edificaciones de forma inmediata, ante la probabilidad de réplicas del evento principal.

En el diagrama de flujo que se encuentra en la próxima página (tomado del Cuaderno de Investigación No. 37) se ve de forma precisa la aplicación de la metodología de evaluación del nivel de daño y el proceso de rehabilitación, que se amplía en los capítulos subsecuentes.

³CENAPRED, Cuaderno de investigación No.37, 1996

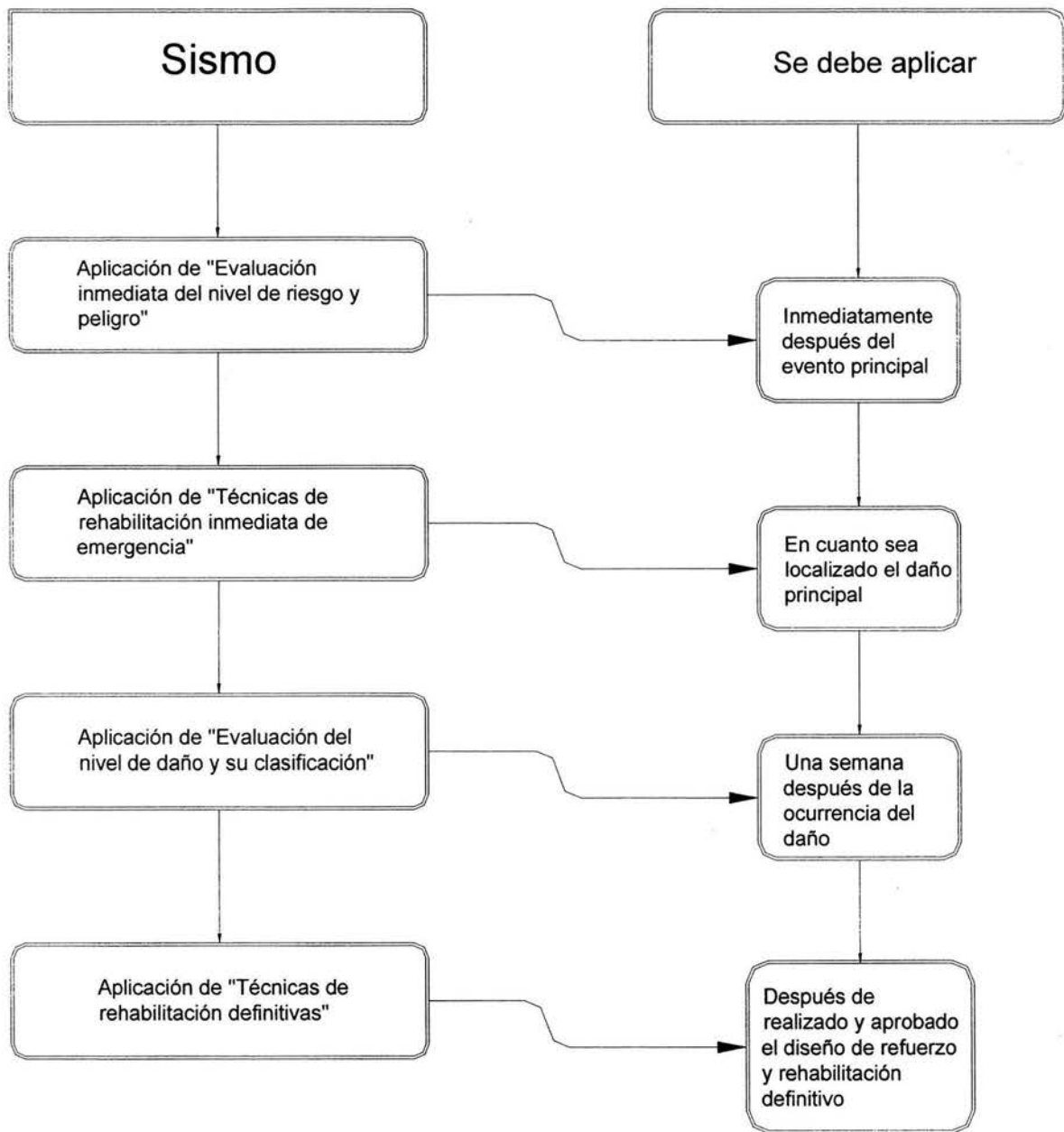


Diagrama de flujo 1. Aplicación de metodología de aplicación de ecuación del nivel de daño (Fuente: CENAPRED, 1996)



Efectos sísmicos en las construcciones

Capítulo II. Efectos sísmicos en las construcciones

2.1 Características de la acción sísmica

Los sismos provocan vibraciones en el suelo, este movimiento se transmite a la estructura de la siguiente forma: la base del edificio sigue el movimiento mientras que el resto, tiende a permanecer inerte.

La mayor parte de los problemas que causa un sismo en un edificio, se deben a las fuerzas de inercia que son contrarias a la dirección de desplazamiento del terreno. La solución de este problema compete a la dinámica estructural. Su planteamiento teórico, no está dentro de nuestro estudio. En el presente trabajo solo analizaremos en forma cualitativa las características de la acción sísmica.

En el suelo se presentan vibraciones horizontales y verticales, sin embargo, son las vibraciones horizontales las que provocan mayores problemas en un edificio. En la figura 2.1 podemos observar como el suelo y la base del marco se desplazan en la misma dirección y la parte superior se mueve en dirección contraria.

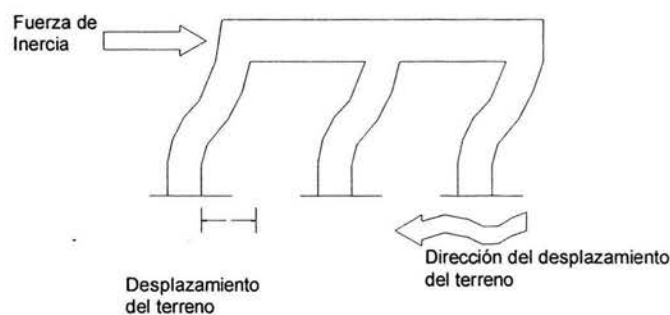


Fig. 2.1 Modelo de Desplazamiento

La flexibilidad de la estructura ante el efecto de la fuerza de inercia provoca que vibre en distinta forma que el suelo. La fuerza generada en la estructura, no es solo el resultado de la acción sísmica, también influyen las propiedades de la estructura misma. Intervienen la masa del edificio y algunas propiedades dinámicas, definiendo su forma de vibrar. La aceleración es el producto resultante de masa por la gravedad, por lo tanto, entre mayor masa tenga la estructura alcanzará mayores aceleraciones.

En la figura 2.2 se tiene un modelo simple de la respuesta sísmica de una estructura (Meli, Bazán, 1998) Se trata de un sistema con un grado de libertad, constituido por una masa concentrada y un elemento resistente con cierta rigidez lateral y amortiguamiento. En la historia de las aceleraciones del modelo, se ve el incremento existente, entre la base y el sistema. De esto se puede deducir que los movimientos del suelo son amplificados por la vibración de la estructura, de tal forma que la intensidad de las aceleraciones en una estructura puede ser muy superiores a las del suelo en que se encuentre.

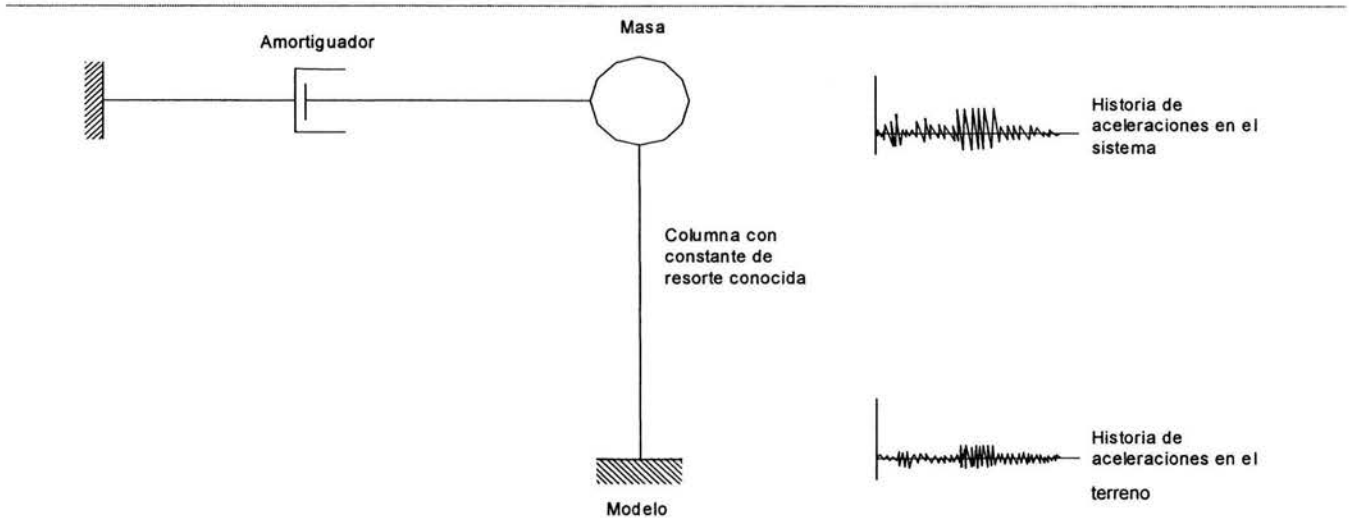


Figura 2.2 Modelo Simple de Respuesta sísmica

El grado de amplificación dependerá de la atenuación de propia de la estructura y la relación entre el período de la estructura y el período dominante del suelo.

Las fuerzas de inercia se transmiten en la estructura por trayectorias que dependen de la configuración estructural. Dichas fuerzas producen esfuerzos y deformaciones que ponen en peligro la estabilidad de la edificación.

En la figura 2.3 se muestra un esquema del flujo de fuerzas en una estructura típica, podemos observar que las fuerzas más críticas se dan en las uniones entre los elementos estructurales, las fuerzas cortantes en las columnas y la transmisión de dichas fuerzas a la cimentación.

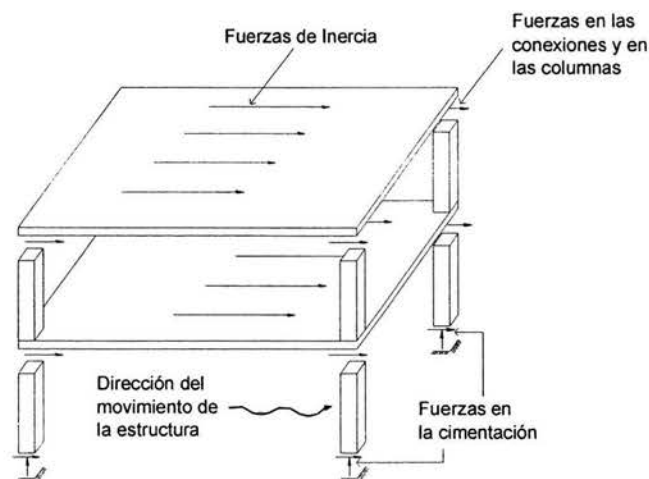


Figura 2.3 Flujo de fuerzas en la figura debido a la vibración

2.2 Respuesta de los edificios a la acción sísmica

La fuerza destructiva con que un sismo afecte un edificio, como ya lo vimos en los párrafos anteriores, depende de las características del terreno y las propiedades dinámicas de la estructura, por lo tanto, cada estructura responderá en forma muy particular. Para efectos de enseñanza se modela la estructura mediante un sistema de un grado de libertad. Los grados de libertad se definen como la posibilidad de un nudo(s) de moverse, en forma independiente en cierta dirección.

En la figura 2.4 se puede observar como los diferentes sistemas, todos de un grado de libertad, son sometidos a diferentes periodos. Para este caso en particular, se tiene un período predominante de 0.8 s en el suelo. La amplitud de la respuesta depende de la relación entre el período del sistema y el período dominante del suelo (T_E/T_S). En el sistema donde $T_S = 1.0$ s se observa la mayor amplificación del movimiento, esto nos lleva a concluir que la relación ($T_E/T_S = 1$) o muy cercana a la unidad, se presenta un incremento en la respuesta del movimiento.

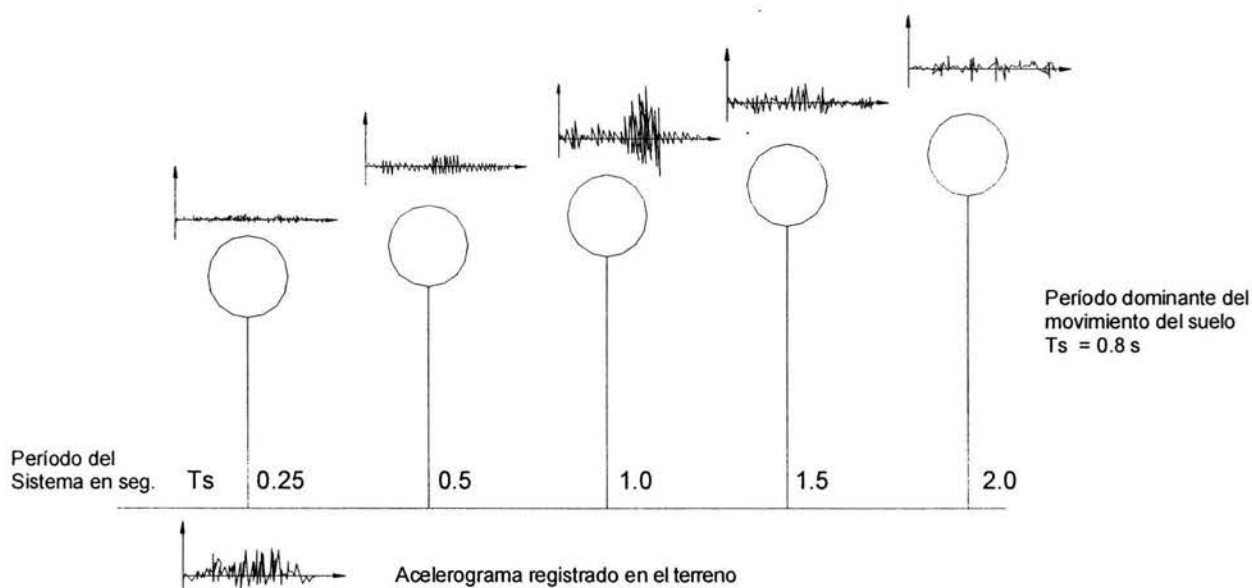


Figura 2.4 Amplificación del movimiento del terreno en sistemas con distinto periodo fundamental de vibración

La realidad es, que los sistemas presentan más grados de libertad, y por ende se complica su análisis. En una sola estructura se toman diferentes lecturas de la aceleración, y esto nos permite apreciar las variaciones. Un edificio de la Cd. de México de 11 pisos, durante un sismo moderado, presentó una aceleración 2.5 veces mayor en la azotea que la aceleración máxima en el sótano. Esta amplificación entre la azotea y el sótano depende principalmente de la relación entre el período fundamental del edificio y el período dominante del suelo.

Se ha observado que a medida que la intensidad de la excitación aplicada al edificio aumenta, se presentan cambios en las propiedades dinámicas del mismo, alterando su respuesta. En general, el comportamiento deja de ser lineal, la rigidez disminuye y el amortiguamiento tiende a ser mayor.

Dependerá del tipo de material y sistema, el comportamiento y magnitud de estas alteraciones. Se le da importancia, a la modificación en la respuesta que se tiene después de la fluencia. Es en este momento, cuando la rigidez se reduce drásticamente y entran en juego fuentes de amortiguamiento que no se presentan durante el comportamiento lineal. Frecuentemente se relaciona este comportamiento con una propiedad llamada ductilidad, la que se refiere a su capacidad de mantener su resistencia para deformaciones muy superiores aquella para la que se inició la fluencia.

La ductilidad es una propiedad importante en una estructura que debe resistir efectos sísmicos, ya que descarta la posibilidad de una falla súbita de tipo frágil, y además se tiene una fuente de amortiguamiento de reserva.

El comportamiento no lineal se puede describir en forma simple, como la relación existente entre la carga lateral total aplicada (fuerza cortante en la base) y el desplazamiento de la punta del edificio. Con este comportamiento se asocia el daño inicial en los elementos no estructurales y después en la estructura misma. Por ejemplo, daños por comportamiento no lineal, son los desprendimientos, agrietamientos, pandeos locales, y deformaciones residuales de la estructura.

Una forma de medir la respuesta no lineal de sistemas es el desplazamiento relativo de entrepiso. Se emplea un índice adimensional de esta medida de la respuesta, dividiendo el desplazamiento relativo del entrepiso entre la altura del mismo:

$$\gamma = \Delta/H$$

A este índice se le llama deformación de entrepiso, o deriva, y es el más empleado para cuantificar la respuesta de estructuras, para comparar el comportamiento de diferentes sistemas y para estimar el grado de daño que puede presentarse, tanto en la estructura misma como en los elementos no estructurales.

La ductilidad de la estructura en su conjunto, se relaciona con el comportamiento del entrepiso más crítico, o con el desplazamiento total de la estructura en la punta. El factor de ductilidad de entrepiso es la relación del máximo desplazamiento que puede aceptar el entrepiso antes del colapso y el desplazamiento al que se presentó la primera fluencia en alguna sección de los elementos que lo componen.

Dentro del diseño sísmico se trata de proporcionar a la estructura, además de la resistencia necesaria, la capacidad de deformación que permita la mayor ductilidad posible. En general, para que se desarrolle cierto factor de ductilidad de conjunto, se necesita un factor de ductilidad local mucho mayor. (Meli, Bazan 1998).

2.3 Características del concreto y acero

La respuesta de una estructura está definida en forma determinante por las características del material que la compone. En la tabla 2.1 se presentan las principales características y que define cada una.

Características	Delimita
Peso Volumétrico	La masa de la estructura
Módulo de Elasticidad	Rigidez lateral y período de vibración
Forma de la curva esfuerzo-deformación	Módulo de elasticidad
Ductilidad	Comportamiento del material
Forma de los lazos de histéresis	Amortiguamiento inelástico

2.1 Características del concreto

2.3.1 Concreto

La forma de la **curva de esfuerzo-deformación** del concreto es ya conocida (figura 2.5) podemos observar que el comportamiento es frágil en la compresión como en la tensión. La resistencia a la tensión es pequeña en comparación a la resistencia a la compresión.

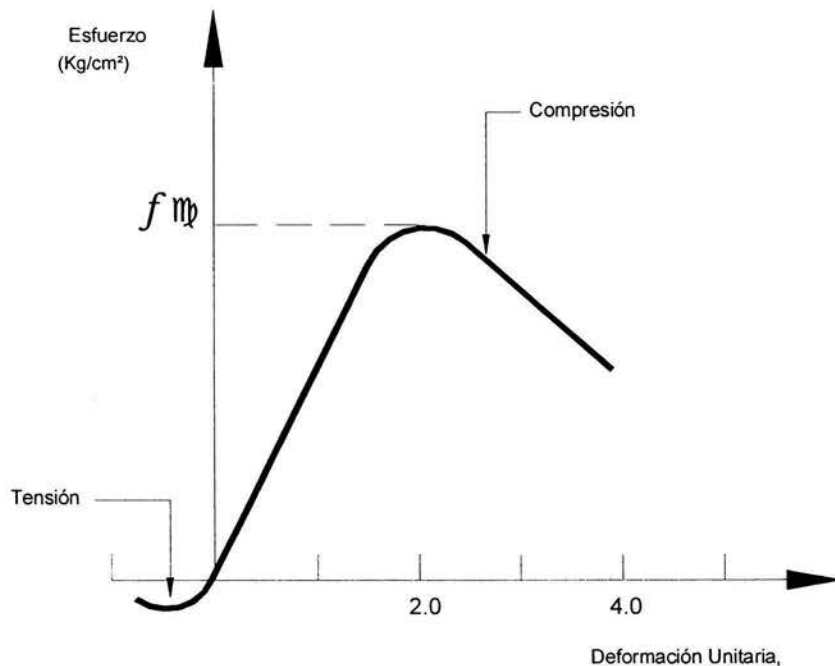


Figura 2.5 Curva Esfuerzo - Deformación típica del concreto simple

El módulo de elasticidad inicial está en función de la calidad de los agregados, del peso volumétrico del concreto y la velocidad con que se aplica la carga. El comportamiento lineal es reducido, para

esfuerzos de compresión mayores del 40 por ciento del máximo resistente (f'_c) se presenta un microagrietamiento que reduce la rigidez del material.

El esfuerzo máximo en compresión se alcanza en deformaciones unitarias cercanas a 0.002 y la falla por aplastamiento para deformaciones entre 0.003 y 0.004. Es importante señalar que para concretos de mayor resistencia la curva esfuerzo deformación se vuelve más frágil. La curva esfuerzo deformación también está en función de la velocidad de aplicación de la carga. En el caso de un sismo la velocidad de aplicación es alta, esto se refleja en la curva esfuerzo deformación con incrementos en el módulo de elasticidad y en la resistencia del orden de 15 por ciento. En el diseño sísmico estos incrementos se pasan por alto, por ser muy pequeños y no depender de la frecuencia de vibración de la estructura. (Meli, Bazán 1998)

Las reproducciones de esfuerzos de compresión no causan modificaciones de cuidado en la curva esfuerzo deformación cuando su valor es igual a $0.7 f'_c$. Sin embargo, para esfuerzos mayores a $0.85 f'_c$ estas replicas de ciclos de carga desgastan rápidamente la resistencia y la rigidez. Para las estructuras de concreto reforzado, que son las que trataremos en este estudio, se reduce o elimina el comportamiento frágil característico del concreto simple, mediante el acero de refuerzo. Un incremento en la ductilidad en el concreto sometido a compresión, se logra mediante el confinamiento, y hasta puede aumentarse la capacidad de deformación. Dicho confinamiento se puede lograr con zunchos o combinaciones de refuerzo longitudinal y transversal.

2.3.2 Acero

Las curvas esfuerzo deformación del acero de refuerzo y acero estructural, se caracterizan por un comportamiento lineal prolongado. El esfuerzo de fluencia (f_y) y su capacidad de deformación dependen de la composición química del acero y del tratamiento a que este haya sido sometido. El esfuerzo de fluencia aumenta con el contenido de carbono y puede incrementarse por un tratamiento de estirado o de torcido aplicados en frío. En la figura 2.6, se muestran curvas típicas de esfuerzo deformación para aceros de distintos grados. El factor de ductilidad se encuentra entre la deformación de ruptura y la deformación de fluencia, y para el acero son siempre grandes y exceden de diez, aún para los aceros menos dúctiles.

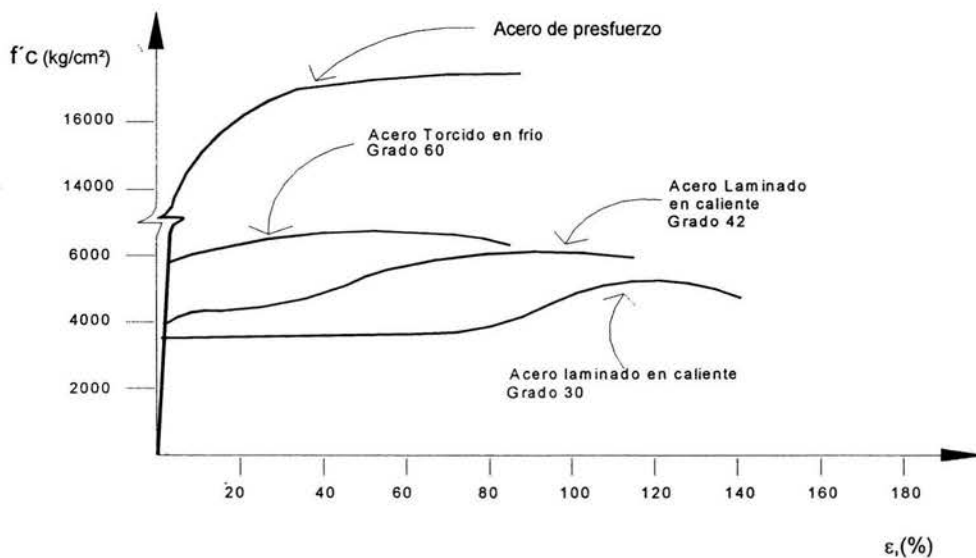


Figura 2.6 Curvas esfuerzo – deformación del acero refuerzo

En un sismo, las velocidades de carga son altas, el esfuerzo de fluencia aumenta en un rango del 5 por ciento, en tanto que el módulo de elasticidad y la deformación última no se modifican considerablemente.

Bajo la aplicación de cargas posteriores que exceden a la fluencia, se reduce la zona en que los esfuerzos son proporcionales a la deformación, los ciclos son muy estables, con lazos de histéresis muy amplios. En esta etapa la capacidad de disipación de energía es elevada y el comportamiento se puede idealizar como elastoplástico sin deterioro.

2.4 Características de la estructura que afectan su comportamiento sísmico

2.4.1 Peso

La fuerza de inercia es proporcional a la masa, por lo tanto, a mayor peso del edificio mayor fuerza de inercia será producida. Por tal razón al diseñar la estructura debe procurarse que sea lo más ligera posible. Esto puede lograrse colocando muros divisorios no estructurales de materiales diferentes al concreto o mampostería. Es allí donde más fácilmente se logran reducciones.

Razonando que la aceleraciones producidas en el edificio aumentan en función de su altura, es recomendable evitar masas excesivas en las partes altas de los edificios. En la mayoría de los proyectos arquitectónicos se propone ubicar en los pisos bajos las áreas de mayor concentración de peso (archivos, bóvedas, etc.) y evitar objetos pesados en la punta de la estructura.

Para que una estructura pueda considerarse regular debe cumplirse que el peso de cada nivel (incluyendo la carga viva de considerada para diseño sísmico), no es mayor que la del piso inmediato inferior, ni menor del 70 por ciento de dicho peso, a excepción del último nivel de la construcción. Debe tratarse que el peso del edificio este distribuido uniformemente. Una posición asimétrica genera vibraciones torsionales.

También cabe señalar que en voladizos, o vigas con claros muy largos, la vibración vertical produce fuerzas de inercia verticales que se suman a la gravedad. Por lo tanto, es conveniente evitar masas excesivas en esos elementos.

2.4.2 Regularidad del edificio en planta

Existen algunos diseños arquitectónicos, con formas asimétricas que producen vibraciones torsionales fig. 2.7 Estas vibraciones pueden ser minimizadas, haciendo coincidir el centro de gravedad de la masa con el centro de torsión, mediante una distribución de elementos resistentes fig.2.8 o subdividir el edificio en cuerpos independientes y regulares mediante juntas sísmicas (juntas de construcción) fig. 2.8.

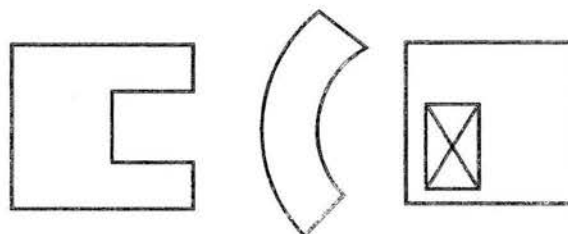


Figura 2.7 Formas asimétricas en planta

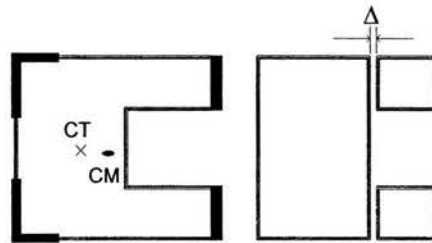


Figura 2.8 Soluciones posibles para eliminar problemas de plantas asimétricas (Meli, Bazan 1998)

Otro aspecto que hay que evitar es la presencia de alas muy largadas fig. 2.9. Esta longitud tan grande tiende a producir que las alas vibren en direcciones diferentes. Este fenómeno puede remediarse con la subdivisión de la planta o rigidización de las puntas y reforzar cuidadosamente las esquinas interiores fig. 2.10.

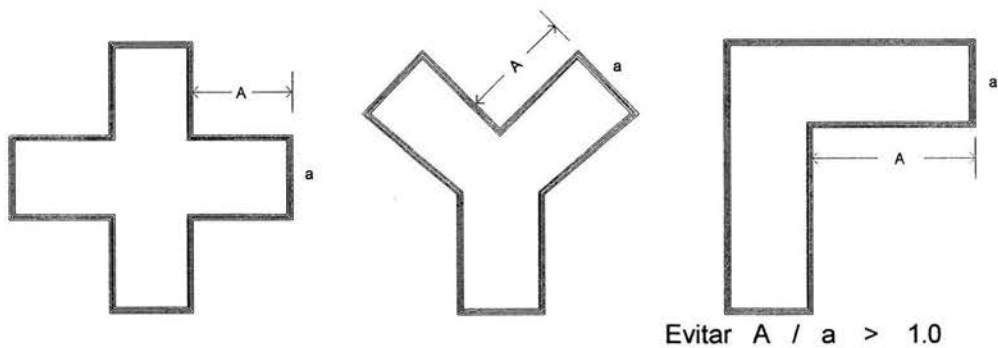


Figura 2.9 Plantas con alas largas (Meli, Bazan 1998)

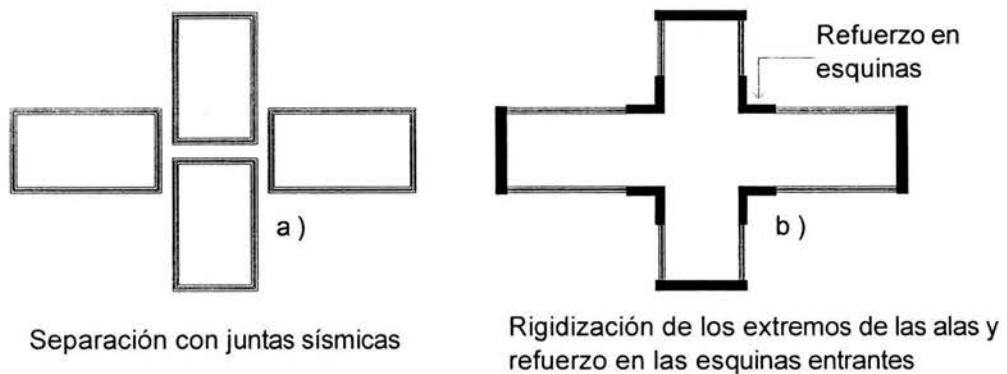


Figura 2.10 Soluciones para edificios con alas muy largas (Meli, Bazan 1998)

Por otro lado, es recomendable que las plantas de los edificios no sean muy alargadas, ya que, entre mayor sea la extensión de la estructura crece la probabilidad que, sobre su base actúen movimientos que difieran entre un extremo y otro. Sin embargo, el problema principal es que la flexibilidad del sistema de piso puede provocar vibraciones importantes en planta (fig. 2.11).

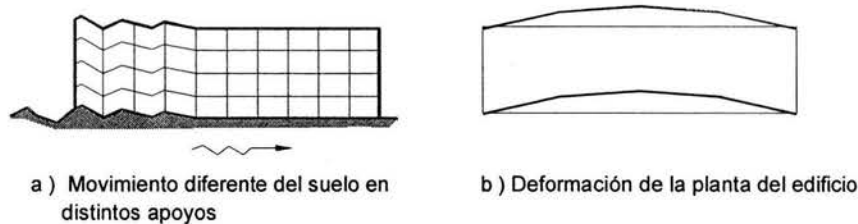


Figura 2.11 Problemas en edificios demasiado largos en planta (Meli, Bazan 1998)

2.4.3 Regularidad del edificio en elevación.

Los cambios de simetría en la elevación, también pueden afectar el comportamiento de la estructura, produciendo esfuerzos en ciertos pisos o amplificaciones de la vibración en las partes superiores.

En la fig. 2.12 se muestran reducciones bruscas en el tamaño de la planta de los pisos superiores. En algunos de estos casos como la fig 2.12 c, se presenta el fenómeno "de chicoteo" con una gran amplificación de vibración en la punta. Este tipo de diseños los podemos observar en edificios tipo plaza y torre. Para evitar estos problemas, algunos autores recomiendan diseñar en forma prismática, hacer una reducción gradual, o bien rigidizar la parte superior (fig. 2.13).

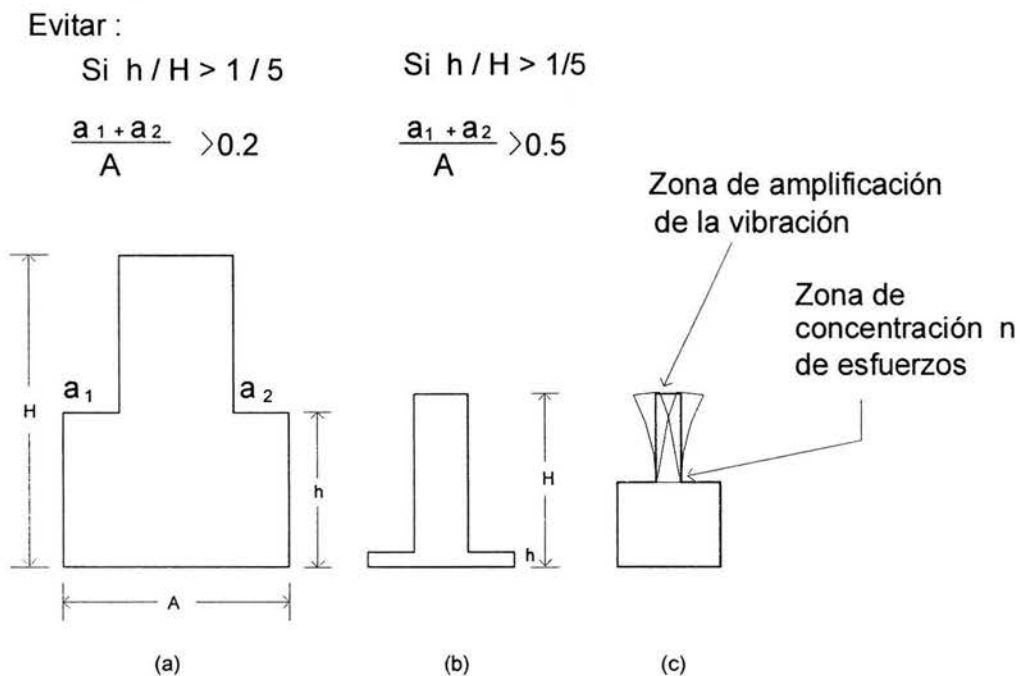


Figura 2.12 Reducciones bruscas en pisos superiores (Meli, Bazan 1998)

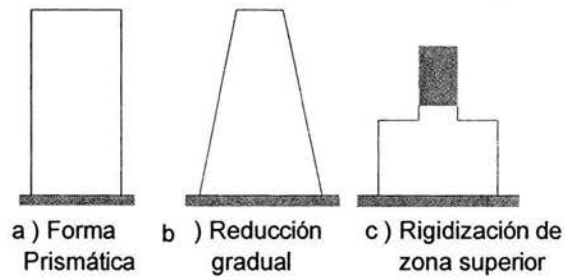


Figura 2.13 Posibles soluciones a la reducción en elevación (Meli, Bazan 1998)

La esbeltez excesiva de la estructura, puede provocar problemas de volteo, inestabilidad, y transmisión de cargas elevadas. La mayoría de las recomendaciones de estructuración recomiendan que la relación de esbeltez (IE) sea menor de cuatro.

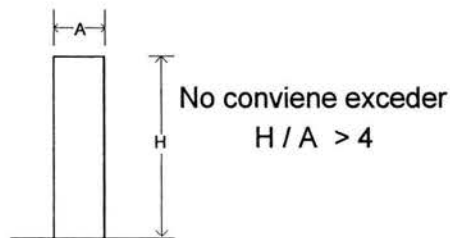


Figura 2.14 Esbeltez en edificios (Meli, Bazan 1998)

2.4.4 Separación entre edificios colindantes

En el terremoto de 1985, se presentaron bastantes casos de “choques” entre edificios adyacentes, sobre todo en terreno blando. El daño se agravó al no coincidir, las alturas de los pisos, de tal forma que las losas de piso de un edificio golpearon las columnas del otro. Algunas recomendaciones proponen, una separación mínima entre edificios, de un centésimo de la altura del punto más alto de posible contacto, el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal es más estricto y establece que la separación (s) debe ser mayor o igual que α (que tiene un valor de 0.012 para terreno blando, y 0.007 terreno firme) por la altura (H) de la estructura fig. 2.14a y para edificios de un mismo conjunto la separación (s) debe ser mayor o igual a dos veces α por la altura (H) (Fig.2.14b).

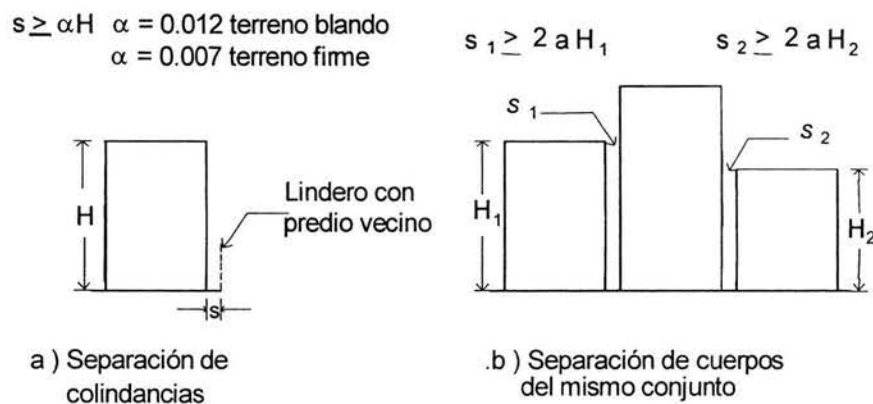


Figura 2.15 Separación entre edificios adyacentes

Para edificios ya existentes se ha recomendado rigidizar los edificios, y así limitar sus movimientos laterales, o colocar entre ellos dispositivos que amortigüen el impacto.

2.5 Daños más comunes en estructuras de concreto

La experiencia obtenida en el comportamiento de los edificios ante sismos severos, ha influido en la práctica actual del diseño sismorresistente. La identificación de las características que han dado lugar a los diferentes comportamientos, el análisis de los daños y sus causas contribuyen a la mejor comprensión del comportamiento sísmico de las estructuras. Nos parece importante señalar los daños que más se presentan en estructuras de concreto, a fin de conocer con exactitud, que tendremos examinar para aplicar la norma de evaluación post-sísmica que veremos en el próximo capítulo.

2.5.1 Columnas

Es posible, que la principal causa de falla por tensión diagonal en columnas se deba a la costumbre de ligar muros de mampostería, que no llegan al techo, a los marcos estructurales. Esto se debe a la interacción de los muros con los marcos, las fuerza sísmicas en los ejes donde existen muros son mayores a las que actúan en ejes donde no actúan estos elementos, por lo que la fuerza cortante en la zona restringida de las columnas aumenta en forma más pronunciada que sus momentos flexionantes, fallando el miembro por tensión diagonal al no estar diseñada con este fin.

La columna al estar ligada no tiene libertad de deformación. Por otra parte, la parte libre de la columna tiene poco refuerzo transversal la falla puede ocurrir por cortante directo, esto puede agravarse por la presencia de momentos de torsión, inducidos por la colocación inadecuada de muros de cortante o de relleno. Cuando la columna no se encuentra enmarcando un muro, la falla por torsión se presenta en forma similar a la tensión diagonal, en este caso la grieta se extiende en espiral en toda la longitud de la columna dañándose por aplastamiento los extremos de la misma.

Las fallas por carga axial, se deben principalmente a fuerzas de compresión, la que se produce cuando se alcanza una deformación unitaria comprendida entre 0.003 y 0.004. La reacción del concreto ante esta deformación es el agrietamiento longitudinal o en planos con una inclinación de 45°, esto dependiendo del grado de restricción que exista en los extremos de la columna. Si la excitación es fuerte, se produce el desprendimiento del recubrimiento y las varillas longitudinales se pandean entre estribos al faltarles el soporte lateral que proporcionan estos y el concreto de recubrimiento. Por lo general, la falla por compresión se presenta en la parte superior de las columnas, ya que en este sitio el concreto es menos resistente.

La falla de columnas por compresión o tensión durante un sismo usualmente se produce por el momento de volteo del edificio. Este momento afecta a las columnas de los pisos inferiores y en mayor grado a las columnas de esquina, que suelen estar menos reforzadas, o son de menor sección debido a que la carga vertical es menor.

La tendencia a la falla de compresión por momento de volteo en columnas de planta baja se acentúa cuando los marcos extremos en la dirección corta confinan muros; esto provoca que la cantidad de fuerza sísmica transmitida aumente. La situación se agrava si los tableros de muros se eliminan de la planta baja. Las fallas de columnas por compresión pueden ser causadas también por aceleraciones verticales o por asentamientos diferenciales. En columnas, también se pueden presentar fallas por flexión, las que se identifican por las grietas horizontales cercanas a sus extremos, lugar donde el momento flexionante es máximo.

Patrón de Agrietamiento

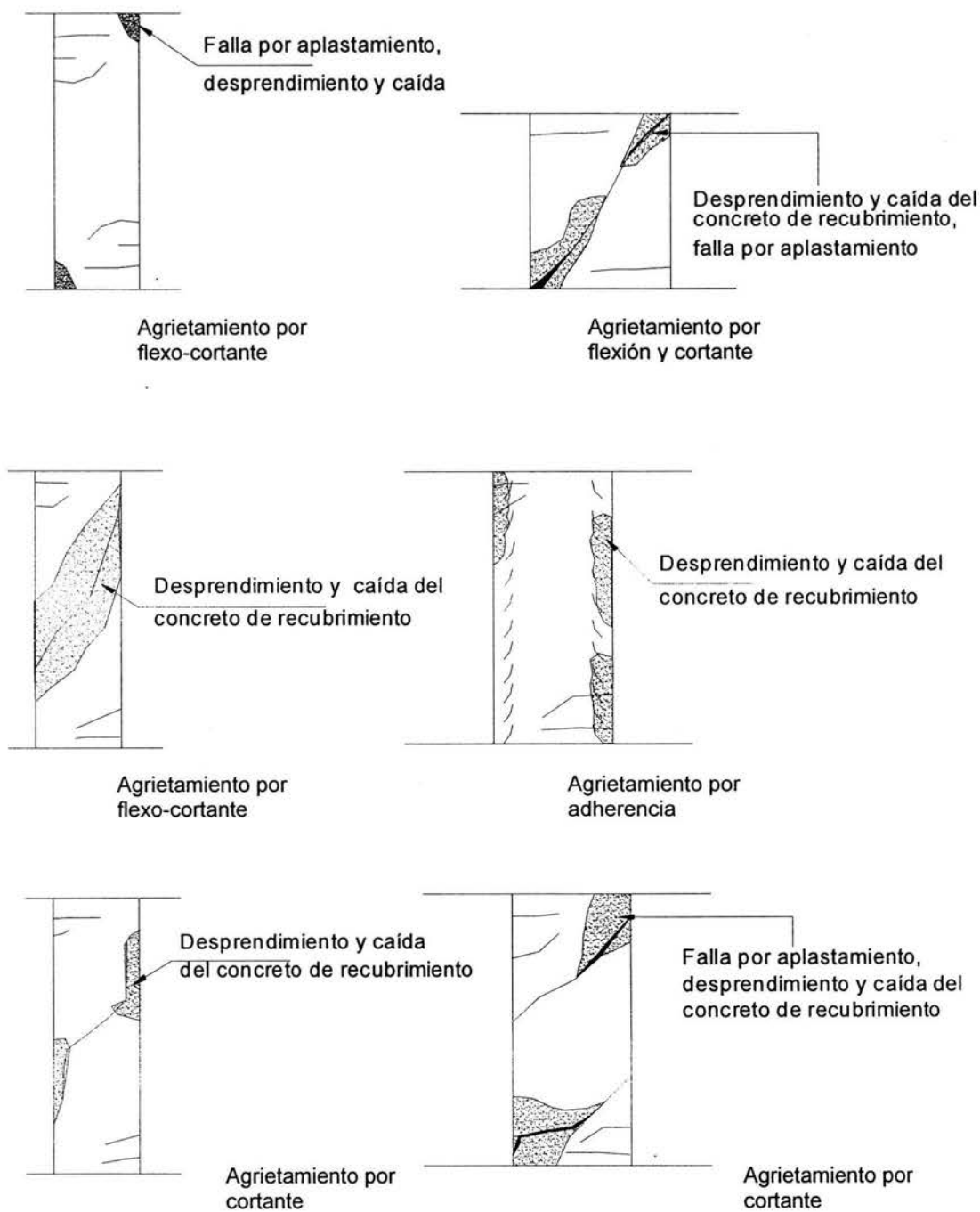


Figura 2.16 Patrón de agrietamiento en columnas

2.5.2 Vigas

La falla que más se presenta en vigas es la de tensión diagonal (cortante.) Al presentarse un incremento debido a efectos sísmicos, la fuerza cortante puede originar esfuerzos principales que excedan la resistencia a tensión del concreto, produciéndose grietas inclinadas. Estas se forman súbitamente, y se propagan de forma rápida causando el colapso de la viga. La causa de la falla puede ser el escaso refuerzo transversal, o estructuración inadecuada.

Las fallas por cortante debidas a mala estructuración ocurren porque frecuentemente se construyen traveses de poca longitud y gran peralte, y por consecuencia, baja ductilidad. Este problema se presenta en la zona de escaleras, donde para formar el cubo de la escalera, se colocan columnas adicionales a las de los marcos principales, dando como resultado que algunas traveses tengan claros muy cortos y fallan por tensión diagonal.

Este tipo de falla también se presenta cuando se unen elementos de gran rigidez por medio de una trabe corta. Este caso es comparable al de columnas cortas, es decir, la fuerza cortante en la trabe aumenta de manera más pronunciada que sus momentos flexionantes. La falla puede acrecentarse cuando no se cuenta con suficiente refuerzo transversal, y así proporcionar la ductilidad necesaria para poder soportar grandes deformaciones.

2.5.3 Uniones viga-columna

En edificios muy flexibles es frecuente también que se presenten fallas en la unión viga-columna producidas por los momentos excesivos a que se ven sometidos los nudos, además de la transmisión de fuerzas cortantes de un piso a otro.

La mayoría de los daños en uniones viga-columna se deben a un confinamiento inadecuado (zunchos o estribos mal anclados) o a una pobre disposición de los elementos conectados (problemas de adherencia).

También se pueden provocar fallas en las uniones por la existencia de excentricidades importantes entre los ejes de traveses y columnas.

2.5.4 Muros

Los muros de cortante, si son muy esbeltos pueden ser tan flexibles que antes de alcanzar una falla por cortante, la alcanzan por flexión, esto se debe al momento de volteo que hace trabajar al muro como viga en voladizo. Las fallas de este tipo se presentan en edificios altos en donde hay poca densidad de muros los que generalmente se colocan en las colindancias o en los cubos de los elevadores.

Las fallas por flexión se caracterizan por el aplastamiento del concreto en la zona de compresión después de una fluencia considerable del acero en tensión. El muro presenta profuso agrietamiento horizontal cerca de la base y es común que después del aplastamiento del concreto se pandee el refuerzo longitudinal colocado en la zona de falla.

Por lo general, los muros por cortante tienen el refuerzo uniformemente distribuido en la sección, esto es indeseable cuando se requiere capacidad de absorción de energía en el rango inelástico. Se pueden lograr ductilidades bastante altas, aún con cargas axiales de consideración, si se concentra parte del refuerzo en los extremos, y especialmente cuando se tiene un ensanchamiento del muro en zonas y se restringe el pandeo de las varillas longitudinales mediante estribos.

En muros cortos, el problema de cortante es más crítico; en estos, la falla es frágil presentándose grandes grietas diagonales.

Para evitar nuevos agrietamientos de tensión diagonal en sismos futuros, tanto en muros esbeltos como bajos, debe aumentarse la sección transversal para garantizar que primero se presente la fluencia y en esta forma asegurar un comportamiento dúctil.

2.5.5 Losas

Las losas generalmente, se considera que trabajan como diafragmas rígidos, cuando es imposible suponer lo anterior los pisos se analizan como marcos y/o armaduras horizontales. Los pisos o losas pueden fallar por la excesiva flexibilidad cuando se tengan muros de rigidez colocados simétricamente y diseñados para resistir cargas laterales.

Las losas que presentan este problema son principalmente las de tipo reticular con nervaduras en una o dos direcciones, aunado a esto la estructura posee elementos de alta rigidez en sus extremos y pocos o ninguno en su interior, este tipo de losa seguramente fallará.

Comentarios

En la tabla 2.2 hacemos un resumen de los daños estructurales más comunes y sus causas; en la tabla 2.3 se muestran los anchos de grieta y el tipo de daño que representan.

Consideramos también daños en muros de mampostería, ya que si se ligan adecuadamente, contribuyen a la resistencia de fuerzas laterales. (Ministerio de construcción del Japón, 1996)

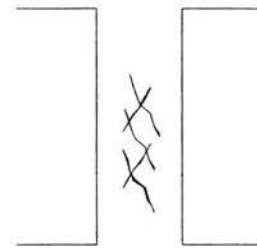
2.5.6 Daños no estructurales

Casi siempre los daños en este tipo de elementos, se deben a la unión inadecuada de estos con la estructura, o a una falta de rigidez de esta unión.

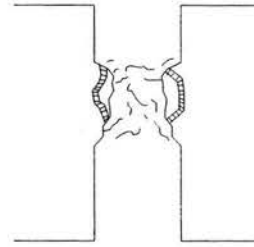
- Aplastamiento de las uniones entre la estructura y los elementos divisorios
- Agrietamiento de los elementos divisorios de mampostería
- Rotura de vidrios, lámparas y elementos decorativos
- Desprendimiento de aplanados, recubrimientos y elementos de fachada
- Desprendimiento de plafones
- Rotura de tuberías e instalaciones diversas
- Colapso o daños graves en escaleras
- Volcamiento de tanques de agua

Elemento Estructural	Tipo de daño	Causa
Columnas fig. 2.17 a y b	Grietas diagonales Grietas verticales Desprendimiento del recubrimiento Aplastamiento del concreto y pandeo de barras	Cortante o torsión Flexocompresión Flexocompresión Flexocompresión
Vigas fig. 2.17 c y d	Grietas diagonales Rotura de estribos Grietas verticales Rotura del refuerzo Aplastamiento del concreto	Cortante o torsión Cortante o torsión Flexión Flexión Flexión
Unión viga – columna fig. 2.17 c y d	Grietas diagonales Falla por adherencia del refuerzo de vigas	Cortante Flexión
Sistemas de piso fig. 2.17 f y g	Grietas alrededor de columnas en losas o Placas planas Grietas longitudinales	Penetración Flexión
Muros de concreto fig. 2.18	Grietas perimetral Grietas perimetralmente Aplastamiento del concreto y pandeo de barras	Cortante perimetralmente Flexocompresión
Muros de mampostería fig. 2.19	Grietas perimetral Grietas perimetral en las esquinas y centro Grietas como placa perimetralmente apoyada	Cortante Flexión y volteo Flexión

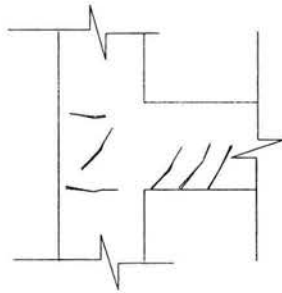
Tabla 2.2 Daños estructurales más comunes (Iglesias, Robles 1992)



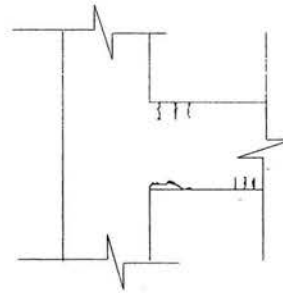
a) Grietas diagonales



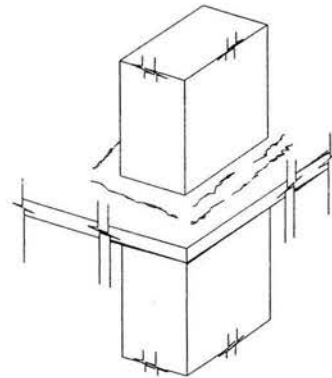
b) Aplastamiento del concreto y
pandeo de barras



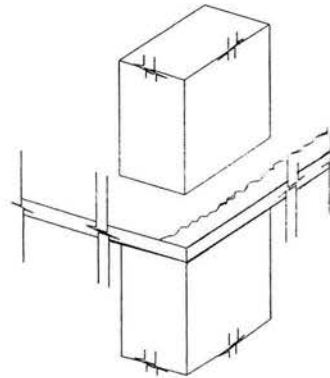
c) Grietas diagonales



d) Grietas verticales y aplas-
tamiento del concreto



e) Grietas por penetración



f) Grietas longitudinales

Figura 2.17 Tipo de daños en elementos estructurales (Iglesias, Robles 1992)



Figura 2.18 Daños en muros de concreto (Iglesias, Robles 1992)

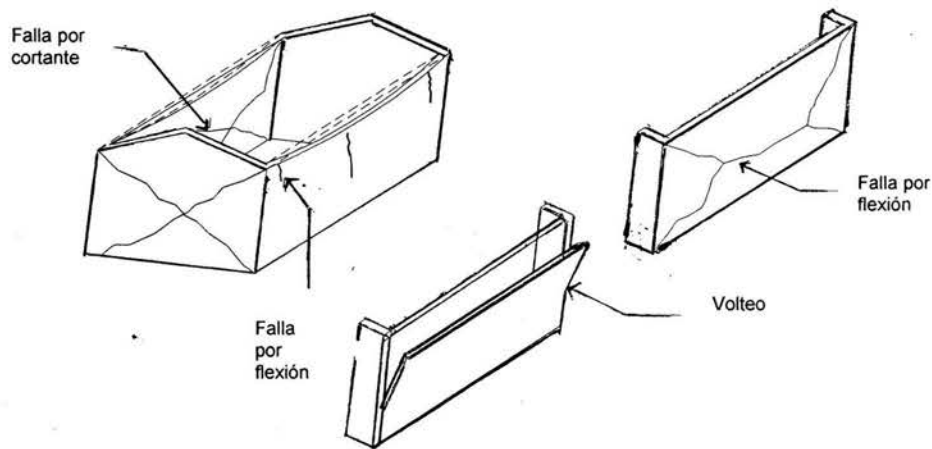


Figura 2.19 Daños en muros de mampostería (Iglesias, Robles 1992)

Material	Descripción de la grieta	Daño
Elementos de concreto y muros de mampostería	Grietas de menos de 0.2 mm de ancho en elementos de concreto	Estructural ligero
Elementos de concreto y muros de mampostería	Grietas de 0.2 a 1.00 mm de ancho	Estructural medio
Elementos de concreto y muros de mampostería	Grietas de más de 1.00 mm	Estructural Grave
Elementos de concreto	Agrietamiento de losas planas alrededor de las columnas	Estructural Grave

Tabla 2.3 Daño estructural en base al ancho de grieta

2.6 Aspectos reglamentarios para estructuras existentes

Las normas de la localidad donde se llevará a cabo la evaluación de la estructura, deben conocerse para efectos de resguardar la seguridad adecuada. En este caso en el Distrito Federal, se aplican la Propuesta de Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (propuesta de NTCS). La información ha sido tomada de la revisión de la propuesta del año 2001.

En el capítulo 11 de la Propuesta de Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, se define la revisión de seguridad de edificios ya existentes, sin embargo, antes de tocar ese punto definiremos los criterios generales de diseño sísmico.

a. Condiciones de análisis y diseño

Solo se consideran dos componentes horizontales ortogonales no simultáneos del movimiento del terreno. Las deformaciones y fuerzas internas que resulten se combinarán entre sí, como lo especifica la propuesta de propuesta de NTCS, y se deben combinar con los efectos de las fuerzas gravitacionales y de las otras acciones que correspondan.

Los métodos usados serán: el método simplificado, el método estático o alguno de los dinámicos. Las características de la estructura definirán que método es el más adecuado.

En el análisis se tomarán en cuenta la contribución a la rigidez de cualquier elemento, sea este estructural o no. Se calcularán las fuerzas sísmicas, deformaciones, y desplazamientos laterales de la estructura (excepto en el método simplificado de análisis.) Deberá revisarse que la estructura y su cimentación no rebasen ningún estado límite de falla o de servicio a que se refiere el RCDF.

Para el diseño de muros, columnas o contravientos que contribuya en más del 35% de la resistencia total en fuerza cortante, momento torsionante o momento de volteo, se adoptarán factores de resistencia de 20 por ciento inferiores a los que corresponderían de acuerdo a las Normas correspondientes.

b. Zonificación

Para la propuesta de NTCS se consideran las zonas del Distrito Federal que fija el artículo 219 del Reglamento. Adicionalmente la zona III se divide en cuatro subzonas (III_a, III_b, III_c y III_d) Figura 2.20 (Reproducida de la propuesta de NTCS-2001.)

c. Coeficiente sísmico

Es el cociente de la fuerza cortante horizontal que debe considerarse que actúa en la base de la edificación por efecto del sismo V_o , entre el peso de la edificación sobre dicho nivel, W_o .

Con este fin se tomará como base o desplante de la estructura a partir del cual sus desplazamientos con respecto al terreno circundante comienzan a ser significativos. El cálculo del peso total debe contar con las cargas muertas y vivas que corresponden según la propuesta de NTCS.

El coeficiente sísmico (C) se asigna de acuerdo a la zonificación y clasificación de la estructura (tabla 2.2 de propuesta de NTCS), se reproduce en la tabla 2.4b del presente trabajo.

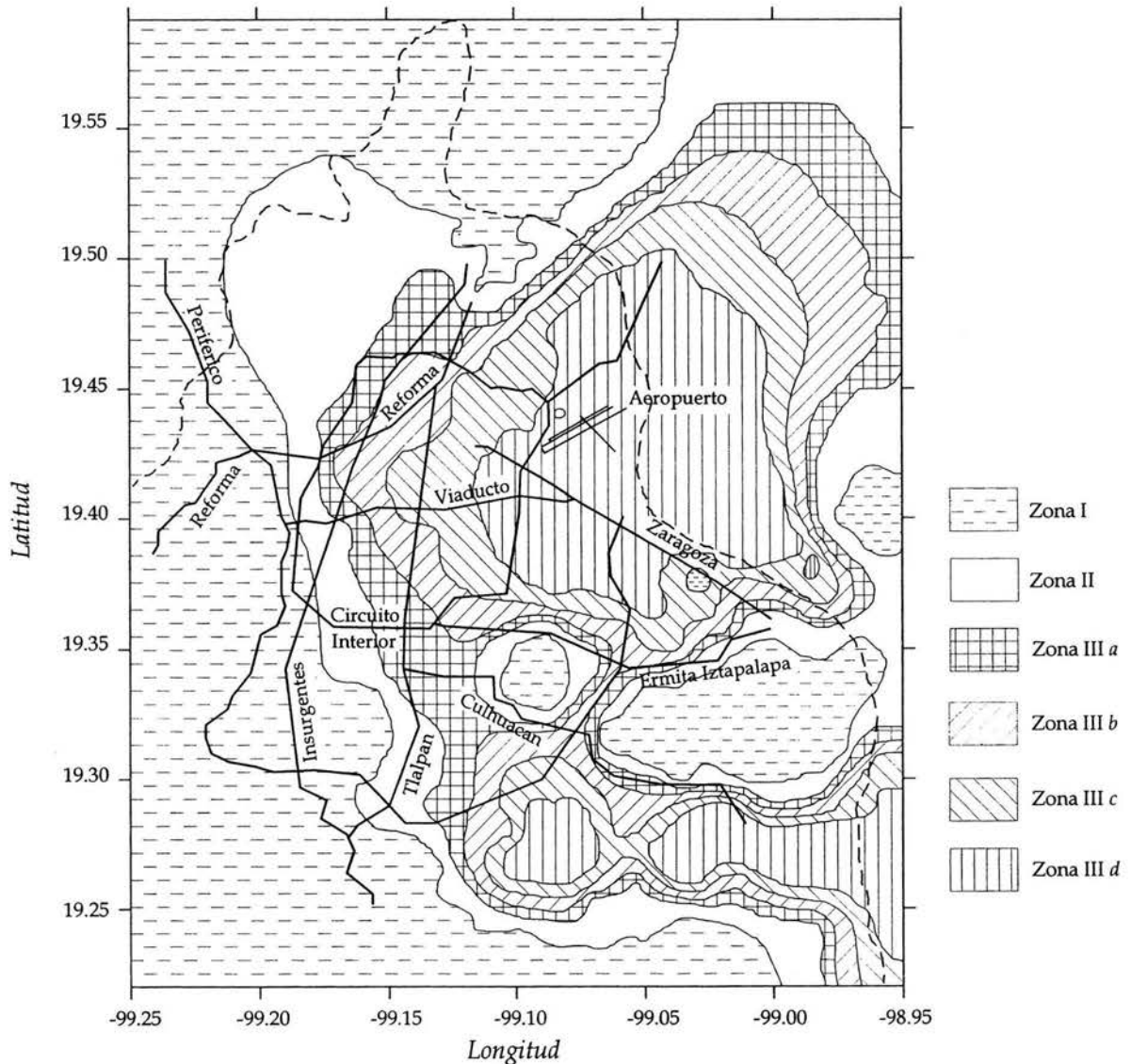


figura.2.20 Zonificación del Distrito Federal por tipo de suelo Normas Técnicas Complementarias 2001

Grupo	Descripción
Grupo A	Construcciones cuya falla estructural podría causar un número elevado de muertes, pérdidas económicas o culturales excepcionalmente altas, o que constituyan un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, así como construcciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana, como hospitales y escuelas, estadios, templos, salas de espectáculos y hoteles que tengan salas de reunión que pueden alojar a más de 200 personas; gasolineras, depósito de sustancias inflamables o tóxicas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, subestaciones eléctricas, centrales telefónicas y de telecomunicaciones, archivos y registros públicos de particular importancia a juicio del Departamento, museos monumentos y locales que alojen equipo especialmente costoso, y
Grupo B	Construcciones comunes destinadas a vivienda, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el grupo A, las que se subdividen en:
Subgrupo B1	Construcciones de más de 30 m de altura o con más de 6,000 m ² de área total construida, ubicadas en la zona I y II según se define en el artículo 175, y construcciones de más de 15 m de altura o 3,000 m ² de área total construida en zona III, y
Subgrupo B2	las demás de este grupo.

Tabla 2.4 Agrupación de construcciones según el RCDF (Propuesta de NTCS)

Zona	C	Grupo	C	Grupo
I	0.160	B	0.240	A
II	0.320	B	0.480	A
III _a	0.400	B	0.600	A
III _b	0.450	B	0.675	A
III _c	0.400	B	0.600	A
III _d	0.300	B	0.450	A

Tabla 2.5 Factor de comportamiento sísmico (Propuesta de NTCS)

d. Espectros para diseño sísmico

Así mismo, la propuesta de Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo 2001, también establece los períodos característicos de vibración del terreno de las tres zonas del D.F. (la zona III con sus subdivisiones), que están comprendidos en el intervalo $T_a - T_b$. Con estos valores como abscisas los valores de a como ordenadas (definidas en el capítulo 3 de la propuesta de NTCS-2001) se pueden definir curvas que muestran la variación de la aceleración espectral de diseño con el período T , conocidas como espectros para diseño sísmico (figura 2.21). se pueden trazar los espectros para diseño sísmico para cada una de las zonas en que se divide el D.F. según el coeficiente sísmico que le corresponda. Estos

espectros se usan para valorar las fuerzas sísmicas que actúan sobre una estructura estimando el período fundamental de vibración de la estructura, y en su caso, reducirlas.

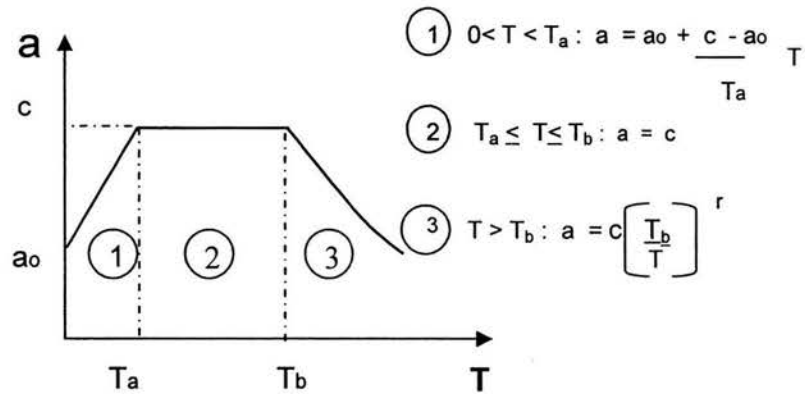


figura 2.21 Espectros de para diseño sísmico

Donde:

a = ordenada espectral

a_o = ordenada espectral para $T=0$

c = coeficiente sísmico básico

r = exponente adimensional

T = período natural de la estructura o uno de sus modos en segundos,

T_a , T_b = períodos naturales que definen la forma de espectro en segundos.

Cuando se aplique el análisis dinámico modal, que se especifica en la propuesta de NTCS (Capítulo 9), se adoptará como ordenada del espectro de aceleraciones para diseño sísmico, a , expresada en fracción de la aceleración de la gravedad, la que se estipula a continuación:

$$a = a_o + (c - a_o) T \quad ; \text{ si } T < T_a$$

$$a = c; \quad \text{ si } T_a \leq T \leq T_b$$

$$a = qc; \quad \text{ si } T > T_b$$

donde:

$$q = (T_b / T)^r$$

Los parámetros que intervienen en estas expresiones se obtienen de la tabla

Zona	C	a_o	T_a^*	T_b^*	r
I	0.16	0.04	0.20	1.35	1.00
II	0.32	0.08	0.20	1.35	1.33
III _a	0.40	0.10	0.53	1.80	2.00
III _b	0.45	0.11	0.85	3.00	2.00
III _c	0.40	0.10	1.25	4.20	2.00
III _d	0.30	0.10	0.85	4.20	2.00

* Períodos en segundos

Tabla 2.6 Valores que definen los espectros para diseño sísmico en el D.F. (propuesta de NTCS-2001)

e. Reducción de fuerzas sísmicas y desplazamientos

Cuando se aplique el método estático o un método dinámico para análisis sísmico, las fuerzas sísmicas calculadas podrán reducirse con fines de diseño. Para el cálculo de las fuerzas sísmicas para análisis estático y de las obtenidas del análisis dinámico modal se emplea un factor de reducción Q' .

Donde:

$$Q' = Q;$$

si se desconoce T , o si $T \geq T_a$

$$Q' = 1 + \frac{T}{T_a} (q - 1); \text{ si } T < T_a$$

Q' = Factor de reducción de las fuerzas sísmicas con fines de diseño, en función del período natural

Q = Factor de comportamiento sísmico, independiente de T

T = Período natural de vibración de la estructura

T_a = Período característico de los espectros de diseño

T se toma igual al período fundamental de vibración de la estructura cuando se utilice el método estático, e igual al período natural de vibración del modo que se considere cuando se utilice el análisis dinámico modal; T_a es un período característico del espectro de diseño. Q es el factor de comportamiento sísmico que se define en el inciso d. Para el diseño de estructuras irregulares se corregirá el valor de Q' multiplicándolo por 0.9, por 0.8 o por 0.7 dependiendo de las condiciones de irregularidad de la estructura analizada.

f. Factor de comportamiento sísmico (Q)

Para el factor sísmico Q , se adoptarán los valores especificados en alguna de las siguientes secciones:

1. Se usara $Q = 4$ cuando se cumplan los siguientes requisitos:

1.1 La resistencia en todos los entresijos es suministrada exclusivamente por marcos no contraventeados de acero, concreto reforzado o compuestos de los dos materiales, o bien por marcos contraventeados o con muros de concreto reforzado o de placa de acero o compuestos por los dos materiales, en los que en cada entresijo los marcos son capaces de resistir sin contar muros ni contravientos, cuando menos por 50 por ciento de la fuerza sísmica actuante

- 1.2 Si hay muros de mampostería ligados a la estructura (muros que contribuyan a resistir fuerzas laterales ligados adecuadamente a marcos estructurales, castillos, y dalas en todo el perímetro del muro), estos se deberán considerar en el análisis, pero su contribución a la resistencia ante fuerzas laterales solo se tomará en cuenta si son de piezas macizas, y los marcos, sean contraventeados. Los muros de concreto reforzados de placa de acero o compuestos de los dos materiales, son capaces de resistir al menos 80 por ciento de las fuerzas laterales totales sin la contribución de los muros de mampostería
- 1.3 El mínimo cociente de la capacidad resistente de un entrepiso entre la acción de diseño no difiere en más de 35 por ciento del promedio de dichos cocientes para los entrepisos. Para verificar el cumplimiento de este requisito, se calculará la capacidad resistente de cada entrepiso teniendo en cuenta todos los elementos que puedan contribuir a la resistencia, los muros mencionados en párrafo 2. El último entrepiso queda excluido de este requisito.
- 1.4 Los marcos y muro de concreto reforzado cumplen con los requisitos que fijan las Normas correspondientes para muros y marcos dúctiles.
- 1.5 Los marcos rígidos de acero satisfacen los requisitos para marcos con ductilidad alta que fijan las Normas correspondientes, o están provistos de contraventeo excéntrico de acuerdo con las mismas normas.

2. Requisitos para $Q = 3$

Se usará $Q = 3$ cuando se satisfacen las condiciones 2, 4 ó 5 de los párrafos anteriores y en cualquier entrepiso dejan de satisfacerse las condiciones 1 ó 3, pero la resistencia en todos los entrepisos es suministrada por columnas de acero o de concreto reforzado con losas planas, por marcos rígidos de acero, marcos de concreto reforzado, por muros de concreto o de placa de acero o compuestos de los dos materiales, por combinaciones de éstos y marcos o por diafragmas de madera. Las estructuras con losas planas y las de madera deberán además satisfacer los requisitos que sobre el particular se marcan en las Normas correspondientes. Los marcos rígidos de acero satisfacen los requisitos para ductilidad alta o están provistos de contraventeo concéntrico dúctil, de acuerdo a las normas correspondientes.

3. Requisitos para $Q = 2$

Se usará $Q = 2$ cuando la resistencia a fuerzas laterales es suministrada por losas planas con columnas de acero o de concreto reforzado, por marcos de acero con ductilidad reducida o provistos de contraventeo con ductilidad normal, o de concreto reforzado que no cumplan con los requisitos para ser considerados dúctiles, o muros de concreto reforzado, de placa de acero o compuestos de acero y concreto, que no cumplen en algún entrepiso lo especificado por los párrafos 1 y 2 de este inciso, o por muros de mampostería de piezas macizas confinados por castillos, dalas, columnas o trabes de concreto reforzado o de acero que satisfacen los requisitos de las Normas correspondientes.

También se usará $Q = 2$ cuando la resistencia es suministrada por elementos de concreto prefabricado o pre-esforzado, con las excepciones que sobre el particular marcan las Normas correspondientes, o cuando se trate de estructuras de madera con las características que se indican en las Normas respectivas o de algunas estructuras de acero que se indican en las Normas correspondientes.

4. Requisitos para $Q = 1.5$

Se usará $Q = 1.5$ cuando la resistencia a fuerzas laterales es suministrada en todos los entrepisos por muros de mampostería de piezas huecas, confinados o con refuerzo interior, que satisfacen los requisitos de las Normas correspondientes, o por combinaciones de dichos muros con elementos como los descritos para los casos 1.2 y 2.3 o por marcos y armaduras de madera, o por algunas estructuras de acero que se indican en las Normas correspondientes.

5. Requisitos para $Q = 1$

Se usará $Q = 1$ en estructuras cuya resistencia a fuerzas laterales es suministrada al menos parcialmente por elementos o materiales diferentes de los arriba especificados, a menos que se haga un estudio que demuestre, la satisfacción de la Administración, que se puede emplear un valor más alto que el que aquí se especifica, también en algunas estructuras de acero que se indican en las Normas correspondientes.

En todos los casos se usará para toda la estructura, en la dirección de análisis, el valor mínimo de Q que corresponde a los diversos entre pisos de la estructura en dicha dirección.

El factor Q puede diferir en los dos direcciones ortogonales en que sea analiza la estructura, según sean las propiedades de ésta en dichas direcciones.

Como ya se mencionó (sección 2.6.1), en el capítulo 11 de la propuesta de NTCS. Se establece que para la revisión de seguridad en un edificio existente se adopte el valor del factor de comportamiento sísmico Q , que corresponda según lo establecido en la sección f de dicho texto. A menos que se justifique, y a satisfacción de la administración a cargo de la estructura, se podrá adoptar un valor mayor que éste.

En el caso de estructuras, cuyo comportamiento en sentidos opuestos sea asimétrico por inclinación de la estructura con respecto de la vertical, si el desplomo excede de 0.01 veces su altura, se tomará en cuenta la asimetría multiplicando las fuerzas sísmicas de diseño por $1 + 10 f$ cuando se use el método simplificado de análisis sísmico, o por $1 + 5 Q f$ cuando se use el estático o el dinámico modal, siendo f el desplomo de la construcción dividido entre su altura. Si se emplea el método dinámico de análisis paso a paso se hará consideración explícita de la inclinación.

En el caso de reforzar una construcción del grupo B con elementos estructurales adicionales será lícito adoptar valores de Q que corresponden a estos elementos, siempre que tengan la capacidad de resistir en cada entrepiso al menos 50 por ciento de la fuerza cortante de diseño,

resistiendo la estructura original el resto, y en cada nivel los elementos añadidos deben ser compatibles con las fuerzas de diseño que les correspondan.

Se debe comprobar que los sistemas de piso cumplan con la rigidez y resistencia suficientes para transmitir las fuerzas que se generan en ellos por los elementos de refuerzo nuevos. De no ser así se deben reforzar o rigidizar los sistemas de piso para lograrlo.



Guía de Evaluación Post-sísmica de estructuras de concreto

Capítulo III. Guía de Evaluación Post-sísmica de Estructuras de Concreto

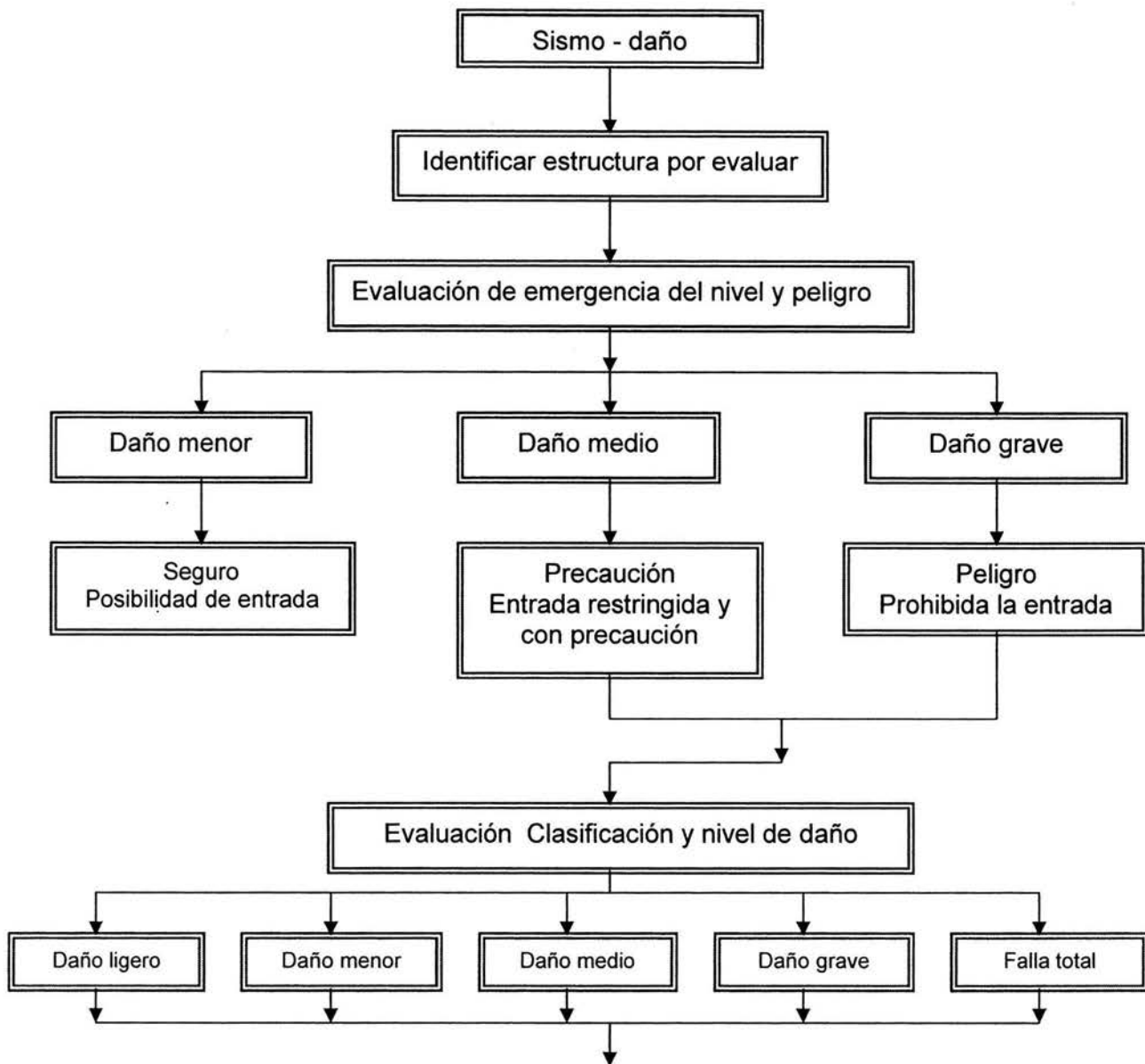
3.1 Objetivo y alcance de aplicación

Una de las prioridades como sector de la construcción, es hacer que los usuarios de lo que construimos, se sientan seguros del edificio donde viven o trabajan. Las situaciones que se generan después de un sismo, sin duda, son de incertidumbre y en ocasiones de pánico, es entonces, que se requiere nuestra intervención. Con esta guía lo que se pretende lograr es administrar los recursos humanos y tecnológicos de la mejor manera posible.

Con tal fin, se expone la siguiente metodología (fig. 3.1) Como primer punto formar equipos con personal que conozca la guía (como pueden ser Ingenieros o Arquitectos) y hacer una revisión inmediata de los daños de la estructura, y clasificarla en alguno de los tres niveles con que se trabaja en esta etapa. El siguiente paso es evaluar de una forma más precisa las estructuras (es indispensable el criterio de un especialista en estructuras) clasificadas como afectadas, hacer una revisión de daño y pérdida de capacidad estructural. En ambos casos se presentan formatos, que deberán ser llenados. En base a los resultados obtenidos ver la necesidad de reparación, refuerzo o rehabilitación, y en el peor de los casos la demolición de la estructura.

La guía está diseñada para la evaluación de las estructuras de concreto reforzado, (CR) estructurados a base de marcos resistentes a momento o a base de muros estructurales, que hayan sufrido algún tipo de daño causado por un evento sísmico. Sin embargo, es aplicable a estructuras que cuenten con algunos componentes de concreto reforzado, tales como: edificios de acero estructural ahogados en concreto reforzado, estructuras de concreto pre-esforzado, estructuras de bloque de concreto reforzado, etc. En este tipo de estructuras, no importando cual sea su sistema estructural (marcos resistentes a momento o muros estructurales), se pueden aplicar los procedimientos de evaluación del nivel de daño y de su clasificación, y de evaluación inmediata del nivel riesgo y peligro. Sin embargo, en el caso de edificaciones de concreto reforzado pre-coladas, cuando se presenta daño importante con pérdida de capacidad en las uniones, se tiende a degradar el trabajo conjunto del sistema estructural. Si solo se revisa el daño estructural en elementos como columnas y trabes, podría conducir a la conclusión de que no existe un nivel importante de daño y pérdida de capacidad, y no se contemplaría la revisión de las uniones entre elementos. Lo que se recomienda es modificar la guía considerando en los sistemas estructurales a investigar, la sustitución de las columnas y muros en edificaciones a base de marcos resistentes a momento y muros estructurales, por las uniones entre elementos, respectivamente.

Cabe aclarar, que se consideran fuera del alcance de aplicabilidad de este nivel de evaluación, los edificios con más de diez pisos (o alturas superiores a 31 metros) por tratarse de estructuras de alto riesgo o importancia especial, en estos casos será necesario llevar a cabo una inspección más específica para cada caso.



Intensidad Sísmica	Nivel de daño				
	Daño ligero (I)	Daño menor (II)	Daño medio (III)	Daño grave (IV)	Falla total (V)
Menor que IV	O	Δ	X	X	X
V	O	O	Δ	X	X
Mayor que VI	O	O	O	Δ	X

O = Rehabilitación Δ = Rehabilitación y/o refuerzo X = Refuerzo o demolición

fig. 3.1 Diagrama de flujo y metodología del procedimiento de evaluación del nivel de daño

3.2 Evaluación inmediata del nivel de riesgo y peligro

La finalidad primaria de la Evaluación Inmediata del nivel de riesgo y peligro, es determinar el nivel de seguridad estructural y riesgo de caída de estructuras con daño grave. Esto nos permite determinar el nivel de riesgo en estructuras inestables con posibilidad de colapsar ante la probabilidad de una réplica del movimiento principal, es por eso, que debe aplicarse durante los dos días posteriores al evento sísmico.

Con base en los resultados de esta evaluación, se comunica a los usuarios o a la administración del inmueble la factibilidad de seguir usándose, así como las medidas para evitar la aparición de daños secundarios. Otro objetivo de la evaluación inmediata es identificar que edificios puedan ser usados como instalaciones para albergues, hospitales y almacenes temporales. En esta etapa, también se identifican a las edificaciones con seguridad aceptable y las que requieren pasar a la Evaluación del nivel de daño y reparación.

La demolición de la estructura, es justificable, por el peligro inminente de derrumbe inmediato que pueda afectar las construcciones vecinas o vías de circulación. En casos dudosos y cuando las consecuencias de un posible derrumbe no sean peligrosas, puede convenir retrasar la decisión de demoler hasta tener información más detallada que la de la guía de emergencia y nivel de peligro.

3.2.1 Conceptos de investigación e inspección

Exterior del edificio

El reconocimiento de campo debe incluir una descripción de la fachada del edificio, incluyendo el desplomo y asentamiento, las características y el tipo de daño del sistema estructural (tabla 2.2), así como de objetos o elementos estructurales y no-estructurales cuya caída pueda resultar peligrosa para los transeúntes.

1. Asentamientos y desplomo de estructuras (fig. 3.2)

Para este trabajo de investigación consideraremos como asentamiento la falla de estructuras de cimentación (zapatas, cajones, pilotes y losas). Es decir si la estructura examinada presenta hundimiento en todas sus esquinas, con respecto a su condición original estaremos ante un caso de asentamiento.

El desplomo se puede observar en hundimientos diferenciales de la estructura, provocando la inclinación de la misma. También se tomará como desplomo cuando se presente la inclinación de alguno de los pisos de la superestructura, o el ya común efecto "sándwich". Este tipo de desplomo se da como resultado de la falla de elementos como vigas, columnas y muros estructurales. Se pueden dar casos de asentamiento y desplomo en un mismo edificio.

En los edificios donde la evaluación exterior sea aceptable puede hacerse una evaluación interior resumida. Sin embargo en las edificaciones del tipo A, (tabla 2.4) o lugares de refugio se deben realizar, directamente la evaluación de clasificación y nivel de daño.

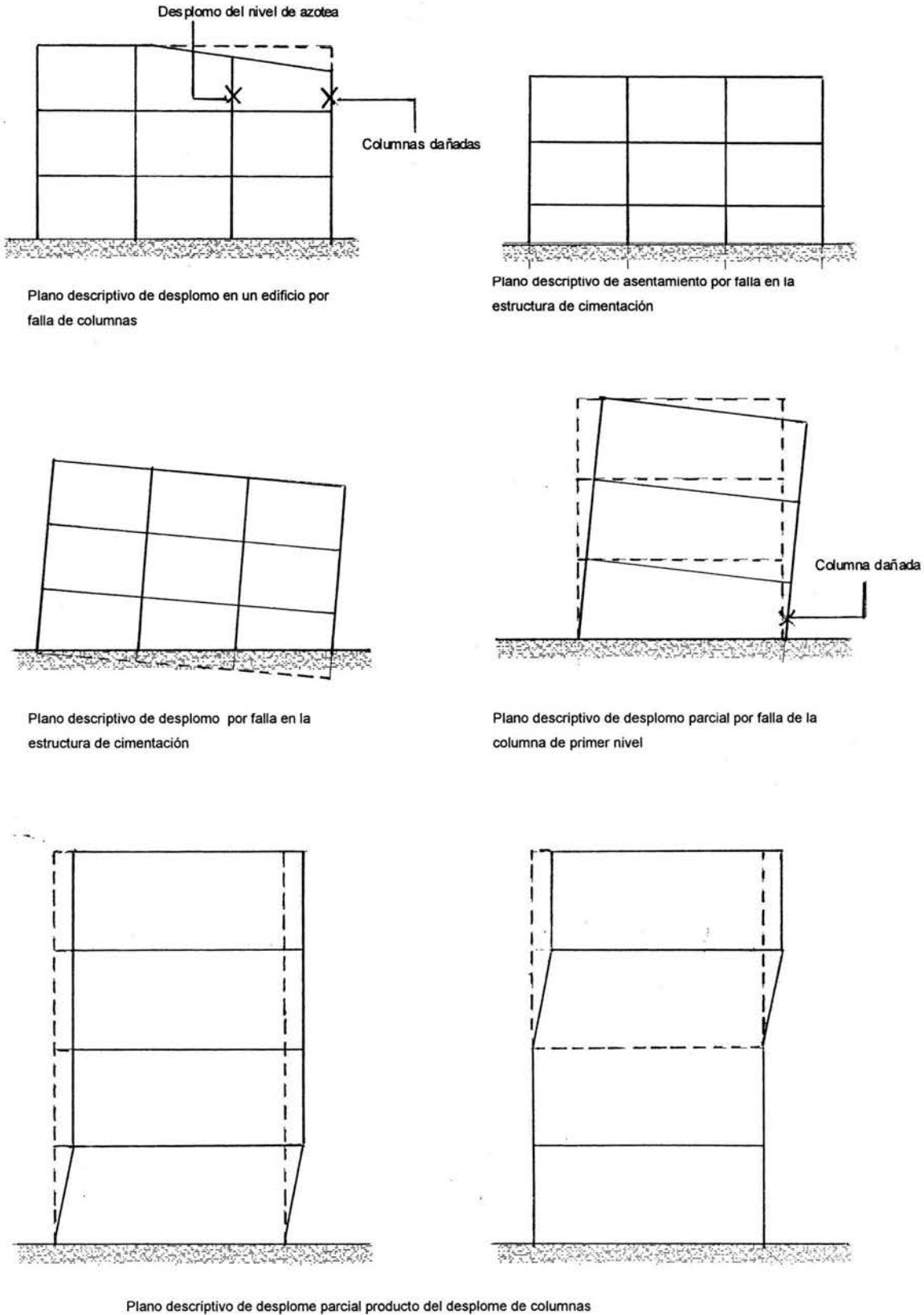


fig. 3.2 Asentamientos y desplomo de estructuras

Interior del edificio

Se debe efectuar un reconocimiento de las condiciones de daño de los elementos estructurales y no estructurales, se puede usar como base la tabla 2.2, donde se resumen los principales daños en estructuras de concreto y sus causas.

3.2.2 Método de evaluación

1. Determinación del nivel de daño para cada concepto a investigar

A cada aspecto a evaluar durante la visita de campo (Forma 1) se debe asociar un nivel de daño A: ligero, B: medio, C: severo.

2. Evaluación del nivel de riesgo o peligro de la estructura

Con base en los niveles de daño, determinados para cada punto a inspeccionar, se obtendrá el nivel de riesgo de estabilidad estructural, como se en la tabla 3.1.

Consideración de la estructura	Definido por:
Peligro	Más de uno con nivel "C" o más de dos con nivel "B".
Precaución	Más de uno con nivel "B"
Seguro	Cuando no se presentan condiciones de estabilidad estructural que califiquen al inmueble en nivel de "peligro" o "precaución".

tabla 3.1 Nivel de riesgo de estabilidad estructural

3. Evaluación del nivel de riesgo causado por la caída y volcamiento de objetos y elementos no estructurales

Tomando como fundamento la Forma 1, en la sección de evaluación desprendimiento, caída o volcadura de objetos se determinara el nivel de riesgo como se indica en la tabla 3.2.

Consideración de la estructura	Definido por:
Peligro	Más de uno con nivel "C" o más de dos con nivel "B".
Precaución	Más de uno con nivel "B"
Seguro	Cuando no se presentan condiciones de inestabilidad de objetos y elementos no estructurales que se califiquen dentro del nivel de "peligro" o "precaución".

3.2 Nivel de riesgo de desprendimiento, caída o volcadura de objetos.

3.2.3 Inspectores

Brigadas de Ingenieros Civiles o Arquitectos (el número de personas que integren cada brigada estará en función del tamaño de la estructura, el mínimo será de dos integrantes). Es muy recomendable que sean personas relacionadas con aspectos estructurales, con el fin de poder reconocer con facilidad daños estructurales o situaciones no usuales.

3.2.4 Equipo mínimo requerido

- Casco
- tabla de apoyo y formas de inspección
- Cinta métrica
- Plomada o nivel
- Martillo y cincel o desarmador
- Linterna
- Grietómetro (fig. 3.3)
- Cámara fotográfica
- Binoculares

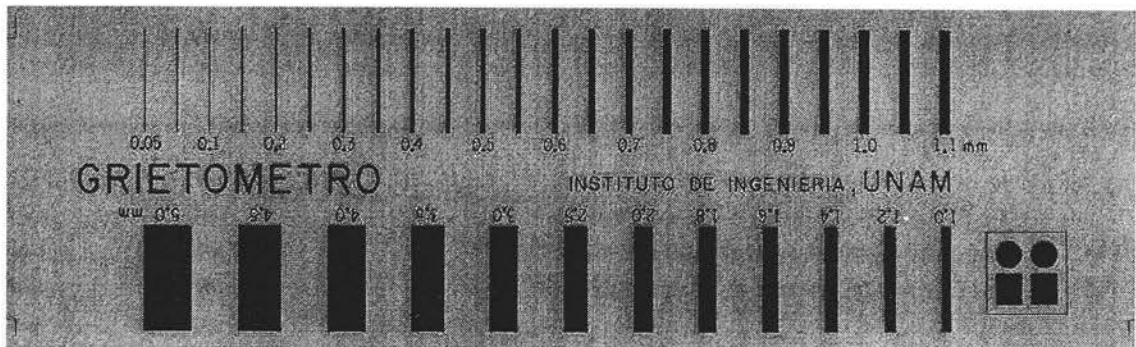


fig. 3.3 Grietómetro para medir ancho de grietas ⁴

3.2.5 Metodología

1. Examinar el exterior de la estructura. Llenar la Forma 1.

La evaluación de asentamientos y/o desplomo puede medirse a simple vista, si existiera algún equipo de medición simple es válido emplearlo.

Si el desplomo de un edificio es del orden de 1 a 2 grados, el desplazamiento horizontal será de 1/60 y 1/30 veces la altura del edificio. Por ejemplo, si la altura libre de entrepiso es de aproximadamente 3.50 m, el desplazamiento horizontal resultante del desplomo fluctuará entre los 6 y 12 cm.

En los casos donde el desplomo sea mayor a dos grados, o si el desplomo en alguna de las esquinas del edificio sea mayor a 1.0 m, la estructura se considera de alto riesgo.

⁴ Instituto de Ingeniería, UNAM, División de Ingeniería Sísmica, 2004

Cuando exista daño en elementos estructurales verticales, no importando si el sistema es a base de marcos resistentes a momentos o muros estructurales, sea del nivel de daño V (es decir: falla, fig. 3.1) y el sistema del piso en el que se apoyen estos elementos presenten desplomo, la estructura no tendrá la capacidad de resistir las fuerzas laterales producidas por una réplica del evento principal.

En los casos en el que se presenten deformaciones permanentes en columnas y muros estructurales, la capacidad de estos elementos se verá visiblemente afectada, y puede ser calificada como peligrosa, por los mismos habitantes del inmueble.

En el formato de evaluación se presentan un renglón para los dos diferentes tipos de sistema estructural más empleados (marcos resistentes a momento y muros estructurales), y con la siguiente relación:

Número de columnas con nivel de daño y perdida (IV) ó (V)
Número de columnas exteriores investigadas

ó

Longitud de muros con nivel de daño y perdida (IV) ó (V)
Longitud total de muros investigados

Es posible conocer el porcentaje de elementos afectados, y así asignar un valor al nivel de daño.

Es importante señalar, que al evaluar un muro estructural o columna se debe considerar el nivel y sentido que presente mayor concentración de daño. En el caso de muros estructurales se concentrará la evaluación, principalmente, en los muros exteriores de la edificación mientras que en los marcos resistentes a momento la investigación e inspección se enfocará en las columnas.

No importando de que sistema estructural se trate, en la evaluación se debe poner atención a la presencia de:

a) Grietas en el concreto

b) Falla en el concreto por aplastamiento

c) Pandeo y falla por tensión en el acero de refuerzo longitudinal

2. En base al número de casos con nivel A (Ligero), B (medio) ó C (severo) hacer una clasificación.

También está incluido un renglón en el cual, si a simple vista se puede catalogar a la estructura con nivel "C", se pueden omitir todos los pasos anteriores.

3. Se recomienda que antes de dar la calificación de "seguro" en cualquier edificio se realice la inspección interior (Forma 1) .En las edificaciones de uso público (tabla 2.4) no debe omitirse la inspección interior.

4. No entrar en edificaciones obviamente inseguras. Si el peligro de derrumbe, de las edificaciones vecinas es alto, debe revisarse si las salidas de la edificación son seguras.
5. En base al número de casos con nivel A, B ó C (sección 3.3.2) hacer una clasificación.
6. Dar un informe a los administradores del inmueble o al responsable del mismo. Indicarles si la revisión fue exterior e interior.

3.2.6 Recomendaciones a seguir para una respuesta inmediata de emergencia

Con el respaldo en los resultados de la evaluación del nivel de riesgo, el grupo de trabajo que llevó a cabo la inspección, deberá dar recomendaciones a la administración y usuarios de la estructura para adoptar medidas de seguridad, como se indica en los siguientes párrafos:

1. En las edificaciones con calificación de nivel de "peligro" (es decir más de uno con nivel "C" o más de dos con nivel "B") en la evaluación estructural, se prohibirá el acceso a los mismos, ya que existe una reducción importante en la capacidad sismo-resistente, y es necesario proteger la calle y los edificios vecinos mediante la rehabilitación temporal, o proceder a la demolición urgente. Aunque lo más conveniente, de ser posible, será efectuar una evaluación definitiva y considerar si la opción más viable es demoler o efectuar un refuerzo generalizado.
2. Para los edificios evaluados en el rango de "peligro" en cuanto a los elementos no estructurales cercanos las puertas de entrada, se prohibirá el acceso a los mismos. Aunque no existe reducción en la capacidad estructural, es necesario realizar un proyecto de reparación para la restauración y el refuerzo de la estructura, en el menor tiempo posible.
3. En los edificios que fueron calificados con el nivel de "peligro" en la evaluación de los elementos no estructurales, en zonas diferentes a las de acceso, se deberá prohibir la entrada a dichos lugares únicamente, y deberá realizarse un proyecto de reparación para la restauración y el refuerzo de las áreas afectadas.
4. Para edificios cuya evaluación fue el nivel de "precaución" (más de uno con nivel "B") en cualquier punto de inspección, no importando si fue en la totalidad de la estructura o parcialmente, se permitirá el acceso, siempre que se tomen las precauciones correspondientes en base a los resultados y recomendaciones de la inspección evaluatoria. No existe reducción en la capacidad sismo-resistente. La reparación consistirá en la restauración de los elementos dañados.
5. En los edificios que obtuvieron nivel de "seguro" (ningún punto con nivel "B" ó "C") en cualquier aspecto de la inspección, ya sea para la totalidad de la estructura o en forma parcial, se permitirá el libre acceso a los mismos.

Forma para inspección Post-Sísmica
Identificación del edificio

Hoja 1

Inspector	Nombre _____				
	Afiliación _____				
Fecha de inspección	_____				
	Año	Mes	Día	Hora	

Resultado de la evaluación	Nivel de riesgo y peligro	Seguro	Precaución	Peligro	Observaciones y medidas recomendadas
	Edificio	()	()	()	() Prohibido el acceso
	Caída de objetos	()	()	()	() Precaución al entrar
	Volcamiento de objetos	()	()	()	() Acceso Posible
Posibilidad de usarlo como albergue (Edificios Públicos)					
() Posible () Imposible					

Necesario entrevistarse con los usuarios para informar sobre las medidas de Precaución			
Si ()		No ()	
Descripción e información del edificio	Nombre del edificio	_____	
	Dirección y ubicación	_____	
	Responsable de edificio	Dirección : _____ Nombre : _____ Teléfono : _____	
	Uso del edificio	General	() Oficinas () Residencial () Departamentos () Tiendas () Fabricas () Bodegas () Otros ()
		Público	() Escuelas () Gimnasio () Jardín de niños () Centrocomunitario () Edificio de Gobierno () Hospital () Otros ()
	Tipo de construcción	() Compuesta acero-concreto () Concreto Reforzado () Mampostería () Concreto precolado	
	Sistema estructural	() Marcos resistentes a momento () Muros estructurales () Otros ()	
	Regularidad del edificio	Regularidad en planta	() Buena () Intermedia () Mala
		Regularidad vertical	() Buena () Intermedia () Mala
	Dimensiones del edificio	Número de niveles	Superestructura : __ Pisos, PH: __ Pisos, Sótano __ Pisos
Planta Baja		_____ Piso, Aproximadamente _____(m) x _____(m)	
Zonificación	() Zona I () Zona II () Zona III () Zona III _a () Zona III _b () Zona III _c () Zona III _d		
Materiales de acabado exterior		() Concreto () Mortero () Azulejo () Piedra () Muros Precolados () Paneles Prefabricados () Bloques () Paneles de concreto () Ligeros () Otros, Especificar ()	

		Observaciones	

Forma 1

Forma para inspección y Evaluación Inmediata Post-Sísmica

Hoja 2

Aspectos de Inspección e investigación	Método de inspección e investigación, objeto modelo	Nivel A de daño	Nivel B de daño	Nivel C de daño
Desplomo del edificio	Desplomo debido a asentamientos diferenciales	() Menor	() Medio	() Grave
Asentamiento del edificio	Asentamiento o emersión total por falla del subsuelo	() Menor	() Medio	() Grave
Falla en columnas exteriores de edificios a base de marcos resistentes a momento (Porcentaje de columnas Investigadas = %)	(Número de columnas con nivel de daño y pérdida IV) (Número de columnas exteriores investigadas)	() < 10 (%)	() 10 - 20 (%)	() ≥ 20 (%)
	(Número de columnas con nivel de daño y pérdida V) (Número de columnas exteriores investigadas)	() < 1 (%)	() 1- 10 (%)	() ≥ 10 (%)
	A simple vista se puede catalogar con nivel C	*****	*****	()
Falla en muros exteriores de edificios a base de muros estructurales (Porcentaje de Muros Investigados = %)	(Longitud total de muros con nivel de daño y pérdida IV) (Longitud total de muros exteriores investigados)	() < 10 (%)	() 10 - 20 (%)	() ≥ 20 (%)
	(Longitud total de muros con nivel de daño y pérdida V) (Longitud total de muros exteriores investigados)	() < 1 (%)	() 1- 10 (%)	() ≥ 10 (%)
	A simple vista se puede catalogar con nivel C	*****	*****	()
Conclusión, resumen	Existencia de elementos estructurales con nivel de daño superior a III : () Si () No	Total de casos con nivel A ()	Total de casos con nivel B ()	Total de casos con nivel C ()
Desprendimiento y caída de objetos	() Daños en vidrios de ventanas o fachada	() < 1 (%)	() 1- 10 (%)	() ≥ 10 (%)
	() Daños en acabado exterior () Mortero	() Daño menor	() Agrietamiento y separación parcial	() Agrietamiento y separación y caída
	() Azulejos () Piedra () Otros	() Observación visual de grietas	() Grietas importantes se observa el otro lado del panel	() Movimiento relativo en la grieta, falla del panel
	() Daños en acabado exterior	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable
	() Concreto Prefabricado	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable
	() Paneles de concreto ligero	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable
	() Bloques	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable
	() Pasillo y balcón	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable
	() Parapeto	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable
	() Publicidad en las azoteas	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable
() Tinacos	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable	
() Cuarto de máquinas e instalaciones	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable	
() Sistema de aire acondicionado	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable	
() Torres de enfriamiento	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable	
() Penthouse	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable	
() Chimenea de azotea	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable	
() Otros ()	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable	
Conclusión, resumen		Total de casos con nivel A ()	Total de casos con nivel B ()	Total de casos con nivel C ()

Inspección exterior () se realiza en todos los edificios

Forma 1

Tesis: Evaluación Post-sísmica de Estructuras de Concreto no mayores a 30 mtrs. de altura

Aspectos de Inspección e investigación	Método de inspección e investigación, objeto modelo	Nivel A de daño	Nivel B de daño	Nivel C de daño
Falla en columnas interiores de edificios a base de marcos resistentes a momento (Porcentaje de columnas Investigadas = %)	_____ $\frac{\text{(Número de columnas con nivel de daño y pérdida IV)}}{\text{(Número de columnas interiores investigadas)}}$	() < 10 (%)	() 10 - 20 (%)	() ≥ 20 (%)
	_____ $\frac{\text{(Número de columnas con nivel de daño y pérdida V)}}{\text{(Número de columnas interiores investigadas)}}$	() < 1 (%)	() 1- 10 (%)	() ≥ 10 (%)
	A simple vista se puede catalogar con nivel C	*****	*****	()
Falla en muros interiores de edificios a base de muros estructurales (Porcentaje de Muros Investigados = %)	_____ $\frac{\text{(Longitud total de muros con nivel de daño y pérdida IV)}}{\text{(Longitud total de muros interiores investigados)}}$	() < 10 (%)	() 10 - 20 (%)	() ≥ 20 (%)
	_____ $\frac{\text{(Longitud total de muros con nivel de daño y pérdida V)}}{\text{(Longitud total de muros interiores investigados)}}$	() < 1 (%)	() 1- 10 (%)	() ≥ 10 (%)
	A simple vista se puede catalogar con nivel C	*****	*****	()
Conclusión, resumen	Existencia de elementos estructurales con nivel de daño superior a III : () Sí () No	Total de casos con nivel A ()	Total de casos con nivel B ()	Total de casos con nivel C ()
Peligro y riesgo de volcamiento y caída de objetos	() Acabado en techos	() Completamente sano	() Incierto	() Existe peligro de caída de objetos
	() Equipo de iluminación en techos	() Completamente sano	() Incierto	() Existe peligro de caída de objetos
	() Plafón y domos en techos	() Completamente sano	() Incierto	() Existe peligro de caída de objetos
	() Instalaciones de aire acond. en muros y techos	() Completamente sano	() Incierto	() Existe peligro de caída de objetos
	() Muros divisorios	() Completamente sano	() Incierto	() Existe peligro de caída de objetos
	() Escaleras interiores	() Completamente sano	() Incierto	() Existe peligro de caída de objetos
	() Otros ()	()	()	()
Conclusión, resumen		Total de casos con nivel A ()	Total de casos con nivel B ()	Total de casos con nivel C ()
Edificios colindantes (Inspección de edificios, iniciando con edificios públicos)	Riesgo debido a colisión con edificios colindantes	() Sin riesgo	() Incierto	() Riesgoso
	Estructuras ajenas al edificio en estudio	() Sin riesgo	() Incierto	() Riesgoso
Instalaciones	Eléctricas () O.k. () No	Suministro de agua () O.k. () No	Ductos de gases () O.k. () No	Servicio Sanitario () O.k. () No

Forma 1

Tesis: Evaluación Post-sísmica de Estructuras de Concreto no mayores a 30 mtrs. de altura

3.3 Evaluación del nivel de daño y su clasificación

El objetivo es evaluar con una aproximación razonable y en tiempo corto la seguridad, de edificaciones clasificadas como precaución y peligro en la evaluación inmediata. Se debe aplicar como primera evaluación en edificaciones del grupo A (tabla 2.3) Otro de los objetivos es determinar si la estructura dañada es reparable, es decir, comprobar si es posible recuperar parte de la inversión que representaba antes del sismo. Casi en forma general, esto puede lograrse cuando el costo de la reparación es menor del que implica demoler y volver a construir una estructura.

La evaluación del nivel de daño y su clasificación, consiste en registrar detalladamente la edificación, en el interior, exterior y en particular su sistema estructural.

El primer paso para plantear la posible reparación de una estructura es el reconocimiento de los daños existentes en ella, se pretende que en esta guía se definan estas alteraciones en la estructura.

El estudio de las alternativas de reparación así como, las limitaciones de cada caso, permitirán elegir la solución adecuada.

3.3.1 Conceptos de investigación e inspección

Se evaluará el estado en conjunto de la estructura por problemas de: asentamientos, desplomo y daño en elementos estructurales. En la revisión de los elementos estructurales, se debe enfocar el análisis en el nivel o en los entrepisos más dañados. En caso de que, los elementos no estructurales presenten daño importante y tengan riesgo de caída o volcamiento repercutirán en la evaluación. Finalmente se deberá investigar la existencia de la memoria de cálculo, planos de diseño arquitectónico y estructural.

Para la evaluación definitiva de la estructura y el proyecto de reparación, es conveniente obtener información sobre el diseño original del edificio, su proceso de construcción, el uso y adaptaciones que haya tenido durante su vida útil. Para este fin se requerirán:

- a. Planos estructurales
- b. Planos arquitectónicos
- c. Planos de instalaciones
- d. Memoria de cálculo
- e. Estudio de mecánica de suelos
- f. Normas de diseño utilizadas
- g. Normas de diseño vigentes para la reparación
- h. Bitácora de la construcción
- i. Informes del control de calidad de los materiales empleados
- j. Uso actual de la estructura
- k. Remodelaciones o reparaciones previas

En el caso de no tener toda la información disponible, sobre todo lo correspondiente a los incisos a, b, c y e, será necesario reconstruirla a partir de la propia estructura. Para este efecto, se puede hacer uso, de los siguientes métodos de verificación de información (3.4.1.1 y 3.4.1.2.)

3.3.1.A Planos estructurales, arquitectónicos y de instalaciones

- a. Existencia y ubicación de los elementos estructurales
- b. Dimensiones y armado de los elementos estructurales
- c. Existencia, ubicación y tipo de los elementos divisorios
- d. Existencia y ubicación de aberturas
- e. Tipos de acabados y elementos de fachada
- f. Rellenos en azoteas
- g. Uso actual de la estructura
- h. Existencia y ubicación de ductos

Para la localización del refuerzo o de ductos de acero en elementos de concreto, pueden emplearse los siguientes métodos de detección:

- a. **Sistemas electromagnéticos**
Estos sistemas utilizan un instrumento que genera un campo electromagnético y que registra las alteraciones que éste sufre en presencia de cualquier objeto que contenga hierro. Además de detectar la posición del refuerzo en elementos de concreto, este procedimiento permite determinar el diámetro de las barras cuando se conoce su recubrimiento.
- b. **Radiografías**
Una alternativa menos práctica y más costosa que la anterior, consiste en la toma de radiografías de los elementos de concreto.

3.3.1.B Verificación de características de los materiales

Para la verificación de las características mecánicas de los materiales se puede hacer uso de los siguientes equipos:

1. **Extractor de corazones.**
La extracción y prueba de corazones que permite estimar la resistencia del concreto en la estructura y su módulo de elasticidad; también aporta la información sobre su composición granulométrica, densidad aparente y estado de carbonatación.
2. **Equipo de ultrasonido**
Este sistema de verificación se basa en el uso de un instrumento que registra la velocidad de un pulso ultrasónico a través del concreto, la que depende de la densidad del mismo. Con esta técnica se pueden hacer estimaciones de la resistencia del concreto y de su módulo de elasticidad, así como el estado de agrietamiento interno.
3. **Esclerómetro**
Es un dispositivo que mide el rebote de un sistema masa-resorte contra la superficie de un elemento de concreto. Con base en relaciones empíricas se puede estimar la resistencia del concreto en función del índice del rebote. Estas relaciones deberán corresponder al tipo de curado y a la clase de agregados del elemento en cuestión.
4. **Pistola de Windsor**
Con este instrumento se puede estimar la resistencia del concreto a partir de la penetración de un dardo metálico en un elemento en particular. También en esta prueba se recurre al uso de

relaciones empíricas penetración – resistencia, que deberán corresponder al mismo tipo de agregados usado en el elemento en estudio.

5. Extracción y prueba de barras

Para verificar la calidad del acero empleado se puede recurrir a la extracción de algunas muestras y a su prueba estándar a tensión.

Para obtener, resultados más precisos, se recomienda combinar pruebas más costosas y precisas como extracción de corazones y/o equipo de ultrasonido, con aquellas de menor precisión pero de empleo más sencillo y económico como el esclerómetro y/o pistola de Windsor.

3.3.1.C Nivelación y mecánica de suelos

Cuando se tengan indicios, de desplomes o hundimientos, será necesario efectuar una nivelación general de la estructura, hacer nuevos estudios de mecánica de suelos para la verificación de las características del mismo. Se recomienda determinar un perfil que muestre la variación de los desplazamientos laterales del edificio con su altura, y realizar nivelaciones periódicas hasta cerciorarse de que ya no hay movimientos significativos.

Si la estructura se encuentra en el Distrito Federal, se deberá tomar en cuenta el comportamiento de la misma, en sismos intensos ocurridos con anterioridad, principalmente el de 1985, ya que es de importancia conocer si el edificio ha sido recimentado, cuáles fueron las causas y los resultados que se han obtenido. También se recomienda identificar la geometría de la cimentación y principales aspectos constructivos de está.

3.3.2 Método de Evaluación

3.3.2.A Evaluación considerando los asentamientos locales

Para la evaluación del sitio se tendrá en cuenta lo siguiente: en suelos blandos se deberá identificar los efectos generales y locales del hundimiento regional. En el caso de un suelo de transición se deberá identificar si existe un hundimiento diferencial marcado, ya sea general o local por la presencia de promontorios de terreno firme o poca profundidad. En suelos de lomas se debe identificar la presencia de cavernas. También será de importancia identificar rellenos, especialmente de magnitud importante y cualquier tipo de cambio realizada por el hombre que pueda afectar en la cimentación.

En lo que se refiere, al asentamiento (**S**) o emersión (**E**), se evaluará el daño en base al valor medio de éstos. En el caso de edificaciones colindantes se considera lo establecido en las tablas 3.3 y 3.4.

Asentamiento (S)	Clasificación
$S \leq 10 \text{ cm}$	Daño menor
$10 \text{ cm} < S \leq 20 \text{ cm}$	Daño medio
$S > 20 \text{ cm}$	Daño grave

tabla 3.3 Daño por asentamiento⁵

⁵ SMIS ,Manual de Evaluación Postsísmica de la seguridad estructural de las edificaciones,1998

Emersión (E)	Clasificación
$E \leq 20$ cm	Daño menor
$20 \text{ cm} < E \leq 30$ cm	Daño medio
$E > 30$ cm	Daño grave

tabla 3.4 Daños por emersión ⁶

Para construcciones aisladas se sugiere (tabla 3.5):

Asentamiento (S)	Clasificación
$S \leq 20$ cm	Daño menor
$20 \text{ cm} < S \leq 30$ cm	Daño medio
$S > 30$ cm	Daño grave

tabla 3.5 Daños por asentamiento en estructuras aisladas⁶

En zonas de ladera se recomienda hacer una revisión para evaluar el riesgo de deslizamientos de talud.

Los edificios localizados en un área donde existen peligros geotécnicos, deberán ser clasificados como inseguro o cuidado. Los valores límites que aquí se sugieren para evaluar el asentamiento o emersión de una edificación, deben emplearse principalmente para evaluar edificaciones situadas en la zona III (sección 2.6.b) En los casos de estructuras localizadas en las zonas I y II se recomienda, usar criterios diferentes a los aquí citados, a juicio del especialista en geotecnia.

3.3.2.B Evaluación considerando el desplomo de la estructura

En el caso de la máxima inclinación, el daño se evaluará con base en los valores de a , que se define por:

$$a = 100 / (100 + 3H)$$

Donde:

H = altura del edificio en metros.

El grado de daño en base a la inclinación, a (desplome entre altura total), se define en la tabla 3.6.

% inclinación ($\Delta / H \times 100$)	Clasificación
$\% \leq a$	Daño menor
$a < \% \text{inclinación} \leq 1.5 a$	Daño medio
$> 1.5 a$	Daño grave

tabla 3.6 Daño por inclinación⁶

⁶ SMIS ,Manual de Evaluación Postsísmica de la seguridad estructural de las edificaciones,1998

3.3.2.C Evaluación de la cuantía de daño y pérdida de capacidad de los elementos estructurales

La consideración de daño en una estructura, se denomina D_i (donde i representa el tipo de daño, evaluado de I a V). El valor de D_i , o la suma de los valores individuales de D_i , $D = \sum D_i$, nos permite evaluar el nivel del daño y la clasificación de la edificación (tabla 3.7).

Tipo de Daño	Valor de D
D I (Ligero)	$D \leq 5$
D II (Menor)	$5 < D \leq 10$
D III (Medio)	$10 < D \leq 50$
D IV (Grave)	$D > 50$
D V (Falla)	$D_5 = 50$

tabla 3.7 Consideración de daño en la estructura

Metodología para calcular el valor de daño (D_i)

- A. El valor de D_i se hará, considerando el piso de la estructura que presente mayor daño (a simple vista), este criterio también se aplicará en edificios a base de muros estructurales. Para ambos casos, se determina el valor para D_i en las direcciones larga y corta de la estructura (X, Y), en forma independiente.
- B. Para el entrepiso a evaluar, si esta estructurado a base de marcos resistentes a momento, se definirá el número total de columnas del nivel o entrepiso (A_0) y el número de columnas con posibilidad de revisarse (A_1) En el caso de estructuras a base de muros estructurales, la longitud total de los muros existentes (A_0) y la longitud de muros con posibilidad de ser inspeccionados (A_1). Para obtener el valor de A se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$A_0 / A_1 = A$$

- C. En los marcos resistentes a momentos, cada columna que lo integre, así como cada muro estructural de sistemas a base de muros, se evaluará y se clasificará el tipo de daño, tomando como base los criterios establecidos en la tabla 3.8. Después el número de columnas con la misma clasificación de nivel de daño se denominará como $\sum B_i$; o bien, el total de la longitud de muros con el mismo nivel de daño se denominará como $\sum B_i$.

Nivel de daño de columnas, viga o muro estructural	Descripción del Tipo de Daño en columnas o muros
I (Ligero)	Agrietamiento muy pequeño, no se distingue a simple vista (anchura de grieta menor a 0.2 mm)
II (Menor)	Agrietamiento distinguible a simple vista (anchura de grieta entre 0.2 mm y 1.0 mm.)
III (Medio)	Aparecen grietas comparativamente grandes, en los casos extremos se presenta desprendimiento incipiente del concreto (Anchura de grieta entre 1.0 y 2.0 mm.)
IV (Grave)	Aparición de gran cantidad de grietas anchas (Grietas con anchura mayor a 2.0 mm.) Desprendimiento severo del recubrimiento de concreto y exposición del refuerzo longitudinal
V (Falla)	Pandeo del refuerzo longitudinal, aplastamiento del concreto del núcleo. A simple vista se aprecia deformación vertical en columnas (o bien, muros estructurales.) Es característico observar fenómenos de asentamiento y/o desplomo. En algunos casos se puede observar falla por tensión del refuerzo longitudinal (fractura)

tabla 3.8 Clasificación del tipo de daño ⁷

D. Una vez, que se obtuvieron los valores de A y Bi, se calcula el valor del daño (Di), como se indica:

D_I	$= 10 B_1 / A$ $= 5$	Para $B_1 / A \leq 0.5$ Para $B_1 / A > 0.5$	Ec. 3.1 Ec. 3.2
D_{II}	$= 26 B_2 / A$ $= 13$	Para $B_2 / A \leq 0.5$ Para $B_2 / A > 0.5$	Ec. 3.3 Ec. 3.4
D_{III}	$= 60 B_3 / A$ $= 30$	Para $B_3 / A \leq 0.5$ Para $B_3 / A > 0.5$	Ec. 3.5 Ec. 3.6
D_{IV}	$= 100 B_4 / A$ $= 50$	Para $B_4 / A \leq 0.5$ Para $B_4 / A > 0.5$	Ec. 3.7 Ec. 3.8
D_V	$= 1000 B_5 / 7 A$ $= 50$	Para $B_5 / A \leq 0.35$ Para $B_5 / A \geq 0.5$	Ec. 3.9 Ec. 3.10

Cuando $B_5 / A > 0.5$, se considerará que la estructura falló.

⁷ SMIS ,Manual de Evaluación Postsísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones,1998

La clasificación del tipo de daño en estructuras a base de: columnas, marcos resistentes a momentos, y en muros de rigidez se debe basar en lo establecido en la tabla 3.8.

Cuando en un sistema a base de marcos resistentes a momentos, las vigas presentan daños mayores que las columnas, se tomará el nivel de daño registrado en la viga para las columnas situadas en ambos extremos de la misma.

3.3.2.D Evaluación de otros factores

Algunos diseños arquitectónicos de la estructura, producen una respuesta sísmica poco conveniente. La experiencia en terremotos pasados, a demostrado que la probabilidad que se presente daño en estas estructuras es mayor, por lo tanto, dentro de la evaluación se consideran la regularidad en planta (tabla 3.9 y fig. 2.7 a 2.9), las discontinuidades verticales típicas y defectos de estructuración (tabla 3.10 y fig. 2.12)

Clasificación	Descripción
Buena	La distribución de masas con respecto a dos ejes ortogonales es aproximadamente simétrica en planta, así como muros y otros elementos resistentes. No tiene alguna condición correspondiente a la clasificación de mala.
Intermedia	Cae entre la clasificación buena y mala.
Mala	En planta tiene entrantes y salientes cuya dimensión excede del 30% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera de la entrante o saliente. Aberturas en la losa mayores del 30 % del área del piso. La relación largo-ancho de la base excede de 3.

tabla 3.9 Criterios para evaluar la regularidad en planta.⁸

Clasificación	Descripción
Buena	$IE^* < 2.5$ y no tiene alguna condición correspondiente a la clasificación de mala.
Intermedia	Cae entre la clasificación buena y mala
Mala	$IE^* > 4$ Existencia de marcos y muros de rigidez que no son continuos hasta la cimentación. Presencia de columnas cortas Presencia de piso débil. Algún piso tiene un área delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que la del piso inmediato inferior, o menor que 70 % de ésta (se excluye de este criterio al último piso de la edificación)

tabla 3.10 Criterios para evaluar la regularidad vertical.

⁸ FEMA, ATC 21, 1988

* IE = Índice de esbeltez: Relación entre la altura de la edificación (H) y la dimensión menor de la base (B) fig. 2.14

3.3.3 Inspectores

Se requiere llevar a cabo, la evaluación con un equipo mínimo, de dos ingenieros civiles. Por lo menos uno de ellos, debe ser especialista en estructuras, con experiencia en el diseño estructural y comportamiento sísmico. El experto en estructuras debe estar familiarizado con el diseño de edificaciones similares a la evaluada.

En el caso de estructuras con problemas de cimentación, tales como fallas de taludes, asentamientos diferenciales u otros movimientos del suelo este equipo debe estar complementado por un Ingeniero especialista en Geotecnia.

3.3.4 Equipo mínimo requerido

- Casco
- tabla de apoyo y formas de inspección (Forma 2)
- Cinta métrica
- Plomada o nivel
- Martillo y cincel o desarmador
- Linterna
- Grietómetro (fig. 3.3)
- Cámara fotográfica, flash y rollo
- Binoculares
- Equipo especial para probar resistencia de materiales (sección 3.4.1.2)

3.3.5 Metodología

Para examinar la estructura dañada, en su interior y exterior, se recomienda seguir los siguientes pasos, al tiempo que se llena la Forma 2:

1. Examinar el exterior de la edificación
 - Llenar la forma para inspección correspondiente (Forma 2)
 - Examinar si existen discontinuidades en planta (tabla 3.9 y fig.2.7-2.9)
 - Examinar si existen discontinuidades verticales. (tabla 3.10 y fig. 2.14)
 - Examinar el daño en elementos no estructurales como muros, pretilas, balcones, anuncios. Es necesario definir si está latente el riesgo volcamiento de elementos de fachada que pudiesen dañar la vida humana o la circulación a los alrededores del inmueble.
 - Estimar la época en que se construyó la edificación, se debe tratar de averiguar si la estructura fue construida antes de 1957, en el período 1957 – 1985 ó después de 1985.

2. Examinar el sitio de la edificación por posibles peligros geotécnicos

- Ubicar el predio para conocer la zona geotécnica
- Observar el estado físico de estructuras superficiales como: pavimentos, banquetas, guarniciones, etc.
- Revisar que el uso del inmueble sea el mismo que el proyectado, con el propósito de identificar si en el pasado se han hecho modificaciones en las cargas originales de diseño que pudiesen afectar la estructura.
- Tratar de identificar el tipo de cimentación mediante documentos existentes (apartado 3.4.1)
- Averiguar si la estructura, ha sido recimentada, y su comportamiento en sismos anteriores.
- Ya con la información anterior, se procede a realizar la inspección general del sitio.
- Revisar si el sismo provocó asentamiento o emersión, en la estructura o sus colindancias. Es recomendable observar el edificio desde una acera opuesta a cada fachada si el inmueble presenta desplome en forma ortogonal, y en cada de las esquinas que delimitan la azotea. Se puede apoyar con una plomada en forma manual.
- Llenar los formatos, aplicando los criterios establecidos en el apartado 3.4.2.1 y 3.4.2.2

3. Examinar el sistema estructural desde el interior

- No se debe entrar en edificaciones obviamente inseguras.
- Si es posible examinar elementos expuestos del sistema de cimentación, para averiguar posibles daños entre interacción cimentación-estructura.
- Hacer la revisión en base a los criterios establecidos en el apartado 3.4.2.3. Generalmente la estructura se encuentra oculta por elementos divisorios, recubrimientos u otros elementos arquitectónicos, en estos casos se debe pedir a la administración del edificio, la autorización para que sean removidos y hacer una evaluación más confiable. Se pueden usar algunos equipos (3.4.1.2) para revisar que los materiales cumplan con un buen porcentaje de sus propiedades.
- Tratar de detectar evidencias de daños en columnas, losas, vigas y en muros. Como los mencionados en el apartado 2.5 y que se resumen en la tabla 2.2.
- Verificar que no exista ningún desplazamiento residual de entrepiso, la presencia de algún desplazamiento de este tipo indica daño estructural.

-
- Evaluar el grado de daño estructural (apartado 3.4.2.3) sin olvidar que, la evaluación se hará en base al entrepiso que presenta mayor daño.

4. Examinar la seguridad de elementos no estructurales.

- Hacer una revisión de elementos que puedan volcarse dentro de la estructura (apartado 2.5.6)
- En los muros de mampostería evaluar patrones de grietas que puedan indicar una reducción importante de su resistencia.
- Debe examinarse la falla en instalaciones (agua, gases, drenaje, etc.), así como de la soportería, que puede haber resultado dañada durante la interacción estructura-elementos de fijación.
- Revisión de instalaciones de elevadores, escaleras. En el primer caso examinar si son operables, y verificar el estado de la conexión de la escalera con la estructura.
- Verificar que las salidas de emergencia tengan un estado de servicio óptimo, así como las rutas de evacuación se encuentren libres de escombros.
- Examinar el estado de las salidas de emergencia y rutas de evacuación.
- Cabe mencionar que, si los daños principales se presentan en elementos no estructurales, se puede permitir el acceso a la edificación. Se debe verificar que las salidas de emergencia tengan un estado de servicio óptimo, así como las rutas de evacuación se encuentren libres de escombros. Se deberá restringir la entrada a las zonas evaluadas con algún tipo de daño.

5. Completar la forma de inspección.

- Se debe terminar de llenar la Forma 2 de inspección, y hacer la evaluación de cada punto.
- Se considera como resultado final de la evaluación de una estructura, el mayor de los resultados parciales de nivel de daño, en el entrepiso que presenta más concentración de deterioro para cada uno de los tipos de daño (asentamiento, desplomo o daño en elementos estructurales.)

Forma para Evaluación del Nivel de Daño Post-Sísmica
Identificación del edificio

Hoja 1

Inspector	Nombre _____			
	Afiliación _____			
Fecha de inspección	Año _____ Mes _____ Día _____ Hora _____			

Resultados de la evaluación de nivel y clasificación de daño:			
<input type="checkbox"/> Daño ligero	<input type="checkbox"/> Daño menor	<input type="checkbox"/> Daño medio	<input type="checkbox"/> Daño severo
<input type="checkbox"/> Colapso			
Evaluación de reparación, refuerzo o demolición			
(<input type="checkbox"/> Nivel de Intensidad Sísmica resultante _____)			
<input type="checkbox"/> Reparación	<input type="checkbox"/> Refuerzo	<input type="checkbox"/> Demolición	
Necesidad de una inspección detallada			
Necesaria (<input type="checkbox"/>)		No necesaria (<input type="checkbox"/>)	
En estructura (<input type="checkbox"/>)		En cimentación (<input type="checkbox"/>)	

		Necesario entrevistarse con los usuarios para informar sobre las medidas de Precaución			
		Si (<input type="checkbox"/>)	No (<input type="checkbox"/>)		
Descripción e información del edificio	Nombre del edificio		Año de construcción	Observaciones	
	Dirección y ubicación				
	Responsable del edificio		Dirección : _____ Nombre : _____ Teléfono: _____		
	Uso del edificio	General	<input type="checkbox"/> Oficinas <input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Departamentos <input type="checkbox"/> Tiendas <input type="checkbox"/> Fabricas <input type="checkbox"/> Bodegas <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>		
		Público	<input type="checkbox"/> Escuelas <input type="checkbox"/> Gimnasio <input type="checkbox"/> Jardín de niños <input type="checkbox"/> Centrocomunitario <input type="checkbox"/> Edificio de Gobierno <input type="checkbox"/> Hospital <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>		
	Tipo de construcción		<input type="checkbox"/> Compuesta acero-concreto <input type="checkbox"/> Concreto Reforzado <input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Concreto precolado		
	Sistema estructural		<input type="checkbox"/> Marcos resistentes a momento <input type="checkbox"/> Muros estructurales <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>		
	Tipo de cimentación		Zapatas <input type="checkbox"/> Corridas <input type="checkbox"/> Aisladas Pilotes <input type="checkbox"/> De punta con control <input type="checkbox"/> De punta sin control <input type="checkbox"/> De Fricción Material de fabricación <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Acero Cajón de cimentación <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trabes invertidas Pila de Cimentación <input type="checkbox"/> Con Campana <input type="checkbox"/> Sin campana		
	Regularidad del edificio		Regularidad en planta <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Intermedia <input type="checkbox"/> Mala Regularidad vertical <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Intermedia <input type="checkbox"/> Mala		
	Zonificación		<input type="checkbox"/> Zona I <input type="checkbox"/> Zona II <input type="checkbox"/> Zona III <input type="checkbox"/> Zona III _a <input type="checkbox"/> Zona III _b <input type="checkbox"/> Zona III _c <input type="checkbox"/> Zona III _d		
	Dimensiones del edificio	Número de	Superestructura : _____ Pisos, PH: _____ Pisos, Sótano _____ Pisos		
		Planta Baja	Un piso tiene aproximadamente: Longitud mayor _____ (m) , Longitud menor _____ (m)		
	Materiales de acabado exterior		<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Mortero <input type="checkbox"/> Azulejo <input type="checkbox"/> Piedra <input type="checkbox"/> Muros Precolados <input type="checkbox"/> Paneles Prefabricados <input type="checkbox"/> Bloques <input type="checkbox"/> Paneles de concreto <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Otros, Especificar (_____)		

Forma 2

Forma para Evaluación del Nivel de Daño Post-Sísmica

Identificación del edificio

Hoja 2

Existencia de Documentación del Edificio				
Planos de remodelaciones o modificaciones	()	Memorias de cálculo	()	Planos de Diseño
				()
Daños previos por sismo	Si ()	Año ()	No ()	No se sabe ()
Uso para el cual fue proyectado _____				

Evaluación considerando el asentamiento total del edificio (Asentamiento Máximo S (m))			
() Sin daños (S = 0)	() Daño menor (S ≤ 0.2 m)	() Daño medio (0.2 < S ≤ 0.30 m.)	() Daño grave (S > 0.30 m)

Evaluación considerando emersión total del edificio (Emersión Máxima E (m))			
() Sin daños (E = 0)	() Daño menor (E ≤ 0.2 m)	() Daño medio (0.2 < E ≤ 0.30 m.)	() Daño grave (E > 0.30 m)

Evaluación considerando el desplomo del edificio (% de inclinación)			
() Sin daño (% = 0)	() Daño menor (% ≤ a)	() Daño medio (a < % inclinación ≤ 1.5 a)	() Daño grave (> 1.5 a)

Forma 2

Forma para Evaluación del Nivel de Daño Post-Sísmica
Evaluación del edificio

Hoja 3

Evaluación considerando el % de daño y pérdida en elementos estructurales																																																																															
<p>Cálculo de cuantía de daño</p> <p>(Se realiza para cada entepiso, en el caso de muros estructurales se debe realizar para cada dirección; se escribirán los resultados más críticos después de la evaluación de clasificación y nivel de daño)</p>	<p>1 Número de nivel inspeccionado donde se presenta la mayor concentración de daño ()</p> <p>En el caso de muros indicar la dirección Corta () Larga ()</p> <p>2 Número de total de columnas : $A_0 = ()$ Ó Longitud de Muro $A_0 = ()$ m</p> <p>3 Número de columnas inspeccionadas : $A = ()$ Ó Longitud de Muro Inspeccionado $A = ()$ m</p> <p>4 Porcentaje de columnas inspeccionadas $A / A_0 = \%$</p> <p>5 Número de Columnas en Cada Nivel de Daño, B_i (ó bien longitud de muro)</p> <table border="0"> <tr> <td>Marcos</td> <td>Daño Nivel V</td> <td>$B_5 =$</td> <td>Marcos</td> <td>Daño Nivel V</td> <td>$B_5 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño Nivel IV</td> <td>$B_4 =$</td> <td></td> <td>Daño Nivel</td> <td>$B_4 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño Nivel III</td> <td>$B_3 =$</td> <td></td> <td>Daño Nivel</td> <td>$B_3 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño Nivel II</td> <td>$B_2 =$</td> <td></td> <td>Daño Nivel II</td> <td>$B_2 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño Nivel I</td> <td>$B_1 =$</td> <td></td> <td>Daño Nivel I</td> <td>$B_1 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño Nivel 0</td> <td>$B_0 =$</td> <td></td> <td>Daño Nivel 0</td> <td>$B_0 =$</td> <td>m</td> </tr> </table> <p>6 Cálculo del índice de Daño D_i, correspondiente a cada nivel de daño</p> <table border="0"> <tr> <td>Nivel V</td> <td>$D_5 = 1000 B_5 / 7A$</td> <td>=</td> <td>Para $B_5/A > 0.35$, $D_5 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Nivel IV</td> <td>$D_4 = 100 B_4 / A$</td> <td>=</td> <td>Para $B_4/A > 0.50$, $D_4 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Nivel III</td> <td>$D_3 = 60 B_3 / A$</td> <td>=</td> <td>Para $B_3/A > 0.50$, $D_3 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Nivel II</td> <td>$D_2 = 26 B_2 / A$</td> <td>=</td> <td>Para $B_2/A > 0.50$, $D_2 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Nivel I</td> <td>$D_1 = 10 B_1 / A$</td> <td>=</td> <td>Para $B_1/A > 0.50$, $D_1 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$D = \Sigma(D_5 A D_1)$</td> <td>=</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>7 Clasificación del porcentaje de Daño y pérdida según el valor de D</p> <table border="0"> <tr> <td>() Sin daño ($D = 0$)</td> <td>() Daño ligero ($D \leq 5$)</td> <td>() Daño menor ($5 < D \leq 10$)</td> </tr> <tr> <td>() Daño medio ($10 < D \leq 50$)</td> <td>() Daño severo ($D > 50$)</td> <td>() Colapso ($D_5 = 50$)</td> </tr> </table>	Marcos	Daño Nivel V	$B_5 =$	Marcos	Daño Nivel V	$B_5 =$	m		Daño Nivel IV	$B_4 =$		Daño Nivel	$B_4 =$	m		Daño Nivel III	$B_3 =$		Daño Nivel	$B_3 =$	m		Daño Nivel II	$B_2 =$		Daño Nivel II	$B_2 =$	m		Daño Nivel I	$B_1 =$		Daño Nivel I	$B_1 =$	m		Daño Nivel 0	$B_0 =$		Daño Nivel 0	$B_0 =$	m	Nivel V	$D_5 = 1000 B_5 / 7A$	=	Para $B_5/A > 0.35$, $D_5 =$	m	Nivel IV	$D_4 = 100 B_4 / A$	=	Para $B_4/A > 0.50$, $D_4 =$	m	Nivel III	$D_3 = 60 B_3 / A$	=	Para $B_3/A > 0.50$, $D_3 =$	m	Nivel II	$D_2 = 26 B_2 / A$	=	Para $B_2/A > 0.50$, $D_2 =$	m	Nivel I	$D_1 = 10 B_1 / A$	=	Para $B_1/A > 0.50$, $D_1 =$	m		$D = \Sigma(D_5 A D_1)$	=			() Sin daño ($D = 0$)	() Daño ligero ($D \leq 5$)	() Daño menor ($5 < D \leq 10$)	() Daño medio ($10 < D \leq 50$)	() Daño severo ($D > 50$)	() Colapso ($D_5 = 50$)
	Marcos	Daño Nivel V	$B_5 =$	Marcos	Daño Nivel V	$B_5 =$	m																																																																								
		Daño Nivel IV	$B_4 =$		Daño Nivel	$B_4 =$	m																																																																								
		Daño Nivel III	$B_3 =$		Daño Nivel	$B_3 =$	m																																																																								
		Daño Nivel II	$B_2 =$		Daño Nivel II	$B_2 =$	m																																																																								
		Daño Nivel I	$B_1 =$		Daño Nivel I	$B_1 =$	m																																																																								
		Daño Nivel 0	$B_0 =$		Daño Nivel 0	$B_0 =$	m																																																																								
Nivel V	$D_5 = 1000 B_5 / 7A$	=	Para $B_5/A > 0.35$, $D_5 =$	m																																																																											
Nivel IV	$D_4 = 100 B_4 / A$	=	Para $B_4/A > 0.50$, $D_4 =$	m																																																																											
Nivel III	$D_3 = 60 B_3 / A$	=	Para $B_3/A > 0.50$, $D_3 =$	m																																																																											
Nivel II	$D_2 = 26 B_2 / A$	=	Para $B_2/A > 0.50$, $D_2 =$	m																																																																											
Nivel I	$D_1 = 10 B_1 / A$	=	Para $B_1/A > 0.50$, $D_1 =$	m																																																																											
	$D = \Sigma(D_5 A D_1)$	=																																																																													
() Sin daño ($D = 0$)	() Daño ligero ($D \leq 5$)	() Daño menor ($5 < D \leq 10$)																																																																													
() Daño medio ($10 < D \leq 50$)	() Daño severo ($D > 50$)	() Colapso ($D_5 = 50$)																																																																													

Forma 2

Forma para Evaluación del Nivel de Daño Post-Sísmica
Evaluación del edificio

Hoja 4

Daños en elementos o sistemas adyacentes	<input type="checkbox"/> Daños en vidrios de ventanas o fachada	<input type="checkbox"/> < 1 (%)	<input type="checkbox"/> 1- 10 (%)	<input type="checkbox"/> ≥ 10 (%)
	<input type="checkbox"/> Daños en acabado exterior <input type="checkbox"/> Mortero <input type="checkbox"/> Azulejos <input type="checkbox"/> Piedra <input type="checkbox"/> Otros	<input type="checkbox"/> Daño menor	<input type="checkbox"/> Agrietamiento y separación parcial	<input type="checkbox"/> Agrietamiento y separación y caída
	<input type="checkbox"/> Daños en acabado exterior <input type="checkbox"/> Concreto Prefabricado <input type="checkbox"/> Paneles de concreto ligero <input type="checkbox"/> Bloques	<input type="checkbox"/> Observación visual de grietas	<input type="checkbox"/> Grietas importantes se observa el otro lado del panel	<input type="checkbox"/> Movimiento relativo en la grieta, falla del panel
	<input type="checkbox"/> Pasillo y balcón	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable
	<input type="checkbox"/> Parapeto	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable
	<input type="checkbox"/> Publicidad en las azoteas	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable
	<input type="checkbox"/> Tinacos	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable
	<input type="checkbox"/> Cuarto de máquinas e instalaciones	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable
	<input type="checkbox"/> Sistema de aire acondicionado	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable
	<input type="checkbox"/> Torres de enfriamiento	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable
	<input type="checkbox"/> Penthouse	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable
	<input type="checkbox"/> Chimenea de azotea	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable
	<input type="checkbox"/> Otros ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Daños en estructura de cimentación	Existencia de daños en cimentación profunda (pilotes)	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
Otros problemas en cimentación		<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Incierto
Instalaciones Eléctricas	Suministro de agua	Ductos de gases	Servicio Sanitario	
<input type="checkbox"/> O.k. <input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> O.k. <input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> O.k. <input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> O.k. <input type="checkbox"/> No	

Notas Adicionales:



Forma 2

Ejemplo de aplicación de la norma

Capítulo IV. Ejemplo de aplicación de la Norma

Se llevó a cabo la evaluación a un edificio de la Ampliación del Reclusorio Oriente, es importante aclarar que aún no está en uso, sin embargo ya presenta algunas grietas. Como es un edificio de uso público y por seguridad del reclusorio, no nos facilitaron ningún tipo de plano. La construcción de este proyecto de ampliación del reclusorio comenzó en el 1999 pero, se dejó inconclusa por el cambio de administración, es por eso que la cimentación y la mayor parte de la obra civil se efectuaron en ese año y hasta mediados del año 2002 se retomó y se ultimaron los detalles de la obra.

En septiembre del año 2002 se sintieron varios eventos sísmicos en la Cd. De México, tomaremos los datos del sismo con mayor intensidad que fue el registrado el día 25 del mes y año ya mencionados.

4.1 Datos del sismo del 25 de septiembre del 2002

Hora del reporte: 14:15

El día de hoy a las 13:14 horas se registró un sismo de magnitud 5.3 en las costas de Guerrero, de acuerdo a información proporcionada por el Servicio Sismológico Nacional. El epicentro fue localizado en 17.84 grados Norte y 99.65 grados Oeste. Figura 4.1

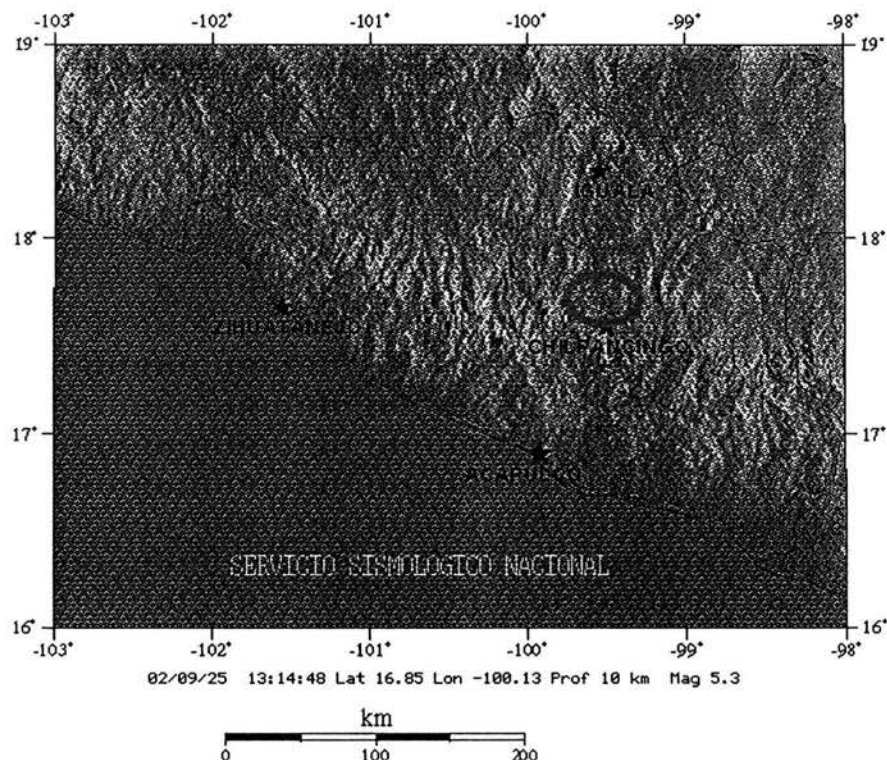


Figura 4.1 Localización del epicentro del sismo (señalado con un círculo)

Fuente: Servicio Sismológico Nacional (<http://www.ssn.unam.mx>) Abril 2004

4.2 Ubicación geotécnica del edificio evaluado

El edificio se localiza al oriente de la Ciudad de México, en la delegación Iztapalapa, y de acuerdo a la zonificación geotécnica (fig.4.2) se encuentra en la zona IIIb, que esta definida como franja de transición baja. Esta zona corresponde a la transición vecina a la zona del lago, aquí la costra superficial está formada esencialmente por depósitos aluviales de capacidad de carga no uniforme, los materiales compresibles se extienden únicamente a profundidades máximas de del orden de 20 m y existe interestratificación de arcilla y suelos limo-arenosos.

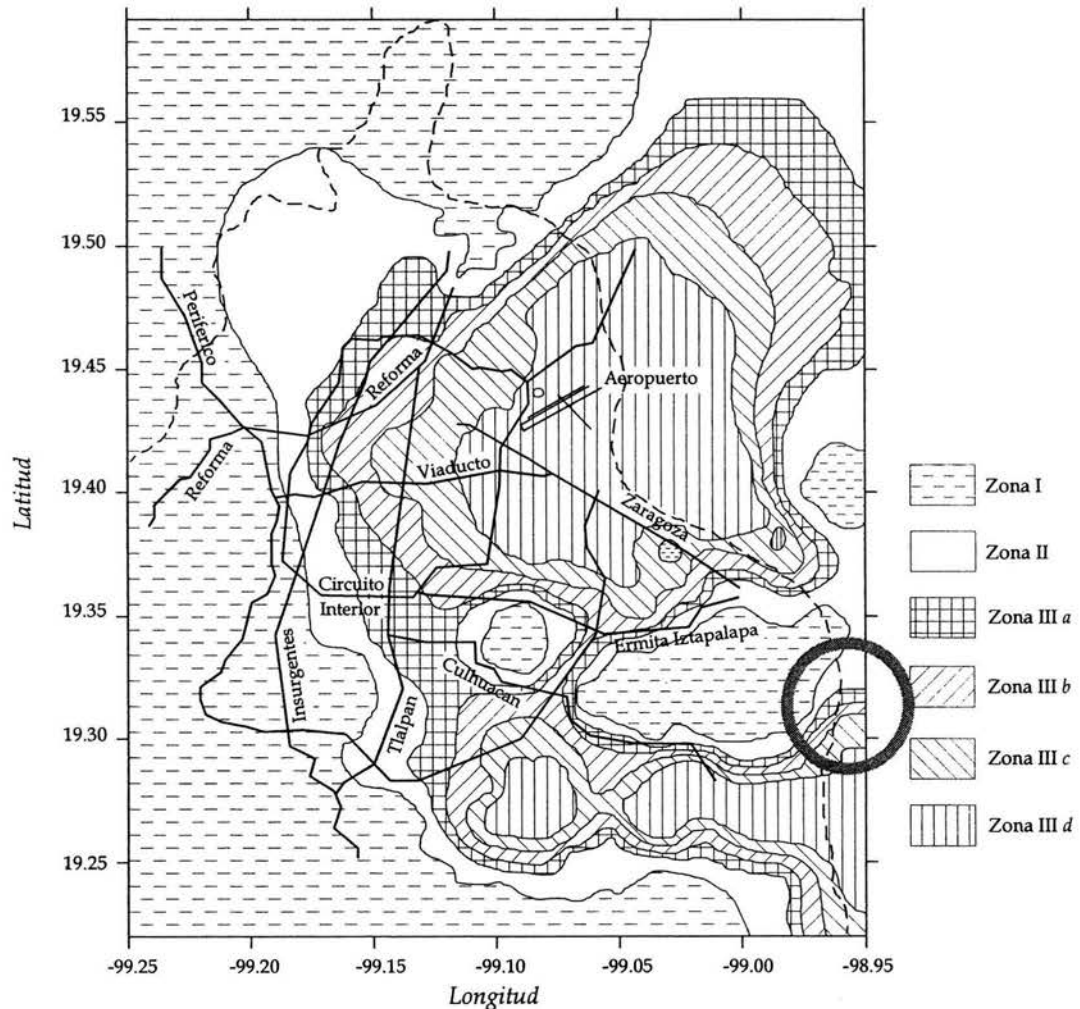


Figura 4.2 Localización geotécnica del edificio

4.3 Evaluación inmediata del nivel de riesgo y peligro

Para realizar el estudio es necesario hacerlo conforme a los formatos presentados en el Capítulo III (Forma 1).

4.3.1 Formas No. 1 llenas

Forma para inspección Post-Sísmica
Identificación del edificio

Hoja 1

Inspector	Nombre	Karla Gámez C.		
	Afiliación	U.N.A.M.		
Fecha de inspección	2002	Diciembre	8	15:00
	Año	Mes	Día	Hora

Resultado de la evaluación	Nivel de riesgo y peligro	Seguro	Precaución	Peligro	Observaciones y medidas recomendadas
	Edificio	()	(X)	()	() Prohibido el acceso
	Caída de objetos	(X)	()	()	() Precaución al entrar
	Volcamiento de objetos	(X)	()	()	(X) Acceso Posible
Posibilidad de usarlo como albergue (Edificios Públicos)					
() Posible () Imposible					

Descripción e información del edificio		Necesario entrevistarse con los usuarios para informar sobre las medidas de Precaución				Observaciones
		Si ()		No (X)		
Nombre del edificio		Edificio Tipo para Reclusorios				
Dirección y ubicación		Ampliación de Reclusorio en Cd. De México				
Responsable del edificio		Dirección: Dirección de Reclusorios				
Uso del edificio		Nombre: _____ Teléfono: _____				
General		<input type="checkbox"/> Oficinas <input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Departamentos <input type="checkbox"/> Tiendas <input type="checkbox"/> Fabricas <input type="checkbox"/> Bodegas <input type="checkbox"/> Otros ()				
Público		<input type="checkbox"/> Escuelas <input type="checkbox"/> Gimnasio <input type="checkbox"/> Jardín de niños <input type="checkbox"/> Centrocomunitario <input type="checkbox"/> Edificio de Gobierno <input type="checkbox"/> Hospital <input checked="" type="checkbox"/> Otros (Centro de Readaptación Social)				
Tipo de construcción		<input checked="" type="checkbox"/> Compuesta acero-concreto <input type="checkbox"/> Concreto Reforzado <input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Concreto precolado				
Sistema estructural		<input checked="" type="checkbox"/> Marcos resistentes a momento <input type="checkbox"/> Muros estructurales <input type="checkbox"/> Otros ()				
Regularidad del edificio		Regularidad en planta <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Intermedia <input checked="" type="checkbox"/> Mala Regularidad vertical <input checked="" type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Intermedia <input type="checkbox"/> Mala				
Dimensiones del edificio		Superestructura : <u>2</u> Pisos, PH: <u> </u> Pisos, Sótano <u> </u> Pisos Planta Baja : <u>1</u> Piso, Aproximadamente <u>24.70</u> (m) x <u>7.00</u> (m)				
Zonificación		<input type="checkbox"/> Zona I <input type="checkbox"/> Zona II <input type="checkbox"/> Zona III <input type="checkbox"/> Zona III _a <input type="checkbox"/> Zona III _b <input checked="" type="checkbox"/> Zona III _c <input type="checkbox"/> Zona III _d				
Materiales de acabado exterior		<input type="checkbox"/> Concreto <input checked="" type="checkbox"/> Mortero <input type="checkbox"/> Azulejo <input type="checkbox"/> Piedra <input type="checkbox"/> Muros Precolados <input type="checkbox"/> Paneles Prefabricados <input type="checkbox"/> Bloques <input type="checkbox"/> Paneles de concreto <input type="checkbox"/> Ligeros <input type="checkbox"/> Otros, Especificar ()				
		<input checked="" type="checkbox"/> No existen edificios aledaños <input checked="" type="checkbox"/> Falla en muros exteriores a 45°				

Forma 1

Tesis: Evaluación Post-sísmica de Estructuras de Concreto no mayores a 30 mtrs. de altura

Forma para inspección y Evaluación Inmediata Post-Sísmica

Hoja 2

Inspección exterior (se realiza en todos los edificios)	Aspectos de Inspección e investigación	Método de inspección e investigación, objeto modelo	Nivel A de daño	Nivel B de daño	Nivel C de daño
	Desplomo del edificio	Desplomo debido a asentamientos diferenciales	() Menor	(X) Medio	() Grave
	Asentamiento del edificio	Asentamiento o emersión total por falla del subsuelo	(X) Menor	() Medio	() Grave
	Falla en columnas exteriores de edificios a base de marcos resistentes a momento (Porcentaje de columnas Investigadas 16 =100 %)	$\frac{2}{16}$ (Número de columnas con nivel de daño y pérdida IV) / (Número de columnas exteriores investigadas)	() < 10 (%)	(X) 10 - 20 (%)	() ≥ 20 (%)
		$\frac{1}{16}$ (Número de columnas con nivel de daño y pérdida V) / (Número de columnas exteriores investigadas)	() < 1 (%)	(X) 1- 10 (%)	() ≥ 10 (%)
	A simple vista se puede catalogar con nivel C		*****	*****	()
	Falla en muros exteriores de edificios a base de muros estructurales (Porcentaje de Muros Investigados = %)	_____ (Longitud total de muros con nivel de daño y pérdida IV) / (Longitud total de muros exteriores investigados)	() < 10 (%)	() 10 - 20 (%)	() ≥ 20 (%)
		_____ (Longitud total de muros con nivel de daño y pérdida V) / (Longitud total de muros exteriores investigados)	() < 1 (%)	() 1- 10 (%)	() ≥ 10 (%)
	A simple vista se puede catalogar con nivel C		*****	*****	()
	Conclusión, resumen	Existencia de elementos estructurales con nivel de daño superior a III : (X) Sí () No	Total de casos con nivel A (2)	Total de casos con nivel B (2)	Total de casos con nivel C ()
Desprendimiento y caída de objetos	() Daños en vidrios de ventanas o fachada	() < 1 (%)	() 1- 10 (%)	() ≥ 10 (%)	
	() Daños en acabado exterior (X) Mortero	() Daño menor	(X) Agrietamiento y separación parcial	() Agrietamiento y separación y caída	
	() Azulejos () Piedra () Otros	(X) Observación visual de grietas	() Grietas importantes se observa el otro lado del panel	() Movimiento relativo en la grieta, falla del panel	
	(X) Daños en acabado exterior	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable	
	() Concreto Prefabricado	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable	
	() Paneles de concreto ligero	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable	
	() Bloques	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable	
	() Pasillo y balcón	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable	
	() Parapeto	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable	
	() Publicidad en las azoteas	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable	
() Tinacos	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable		
() Cuarto de máquinas e instalaciones	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable		
() Sistema de aire acondicionado	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable		
() Torres de enfriamiento	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable		
() Penthouse	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable		
() Chimenea de azotea	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable		
() Otros ()	() Sin desplomo	() Desplomo leve	() Desplomo notable		
Conclusión, resumen		Total de casos con nivel A ()	Total de casos con nivel B (1)	Total de casos con nivel C ()	

Forma 1

Tesis: Evaluación Post-sísmica de Estructuras de Concreto no mayores a 30 mtrs. de altura

Inspección Interior (Inspección que es necesaria hacerse en Edificios Públicos)	Aspectos de Inspección e investigación	Método de inspección e investigación, objeto modelo	Nivel A de daño	Nivel B de daño	Nivel C de daño	
	Falla en columnas interiores de edificios a base de marcos resistentes a momento (Porcentaje de columnas Investigadas 16 =100 %)	3 16	(Número de columnas con nivel de daño y pérdida IV) (Número de columnas interiores investigadas)	() < 10 (%)	(X) 10 - 20 (%)	() ≥ 20 (%)
		0 16	(Número de columnas con nivel de daño y pérdida V) (Número de columnas interiores investigadas)	() < 1 (%)	() 1- 10 (%)	() ≥ 10 (%)
		A simple vista se puede catalogar con nivel C		*****	*****	()
	Falla en muros interiores de edificios a base de muros estructurales (Porcentaje de Muros Investigados = %)	—	(Longitud total de muros con nivel de daño y pérdida IV) (Longitud total de muros interiores investigados)	() < 10 (%)	() 10 - 20 (%)	() ≥ 20 (%)
		—	(Longitud total de muros con nivel de daño y pérdida V) (Longitud total de muros interiores investigados)	() < 1 (%)	() 1- 10 (%)	() ≥ 10 (%)
		A simple vista se puede catalogar con nivel C		*****	*****	()
	Conclusión, resumen	Existencia de elementos estructurales con nivel de daño superior a III : (X) Sí () No		Total de casos con nivel A ()	Total de casos con nivel B (1)	Total de casos con nivel C ()
	Peligro y riesgo de volcamiento y caída de objetos	()	Acabado en techos	(X) Completamente sano	() Incierto	() Existe peligro de caída de objetos
		()	Equipo de iluminación en techos	(X) Completamente sano	() Incierto	() Existe peligro de caída de objetos
		()	Plafón y domos en techos	(X) Completamente sano	() Incierto	() Existe peligro de caída de objetos
		()	Instalaciones de aire acond. en muros y techos	() Completamente sano	() Incierto	() Existe peligro de caída de objetos
		()	Muros divisorios	() Completamente sano	(X) Incierto	() Existe peligro de caída de objetos
		()	Escaleras interiores	(X) Completamente sano	() Incierto	() Existe peligro de caída de objetos
	()	Otros ()	()	()	()	
Conclusión, resumen			Total de casos con nivel A (4)	Total de casos con nivel B (1)	Total de casos con nivel C ()	
Edificios colindantes (Inspección de edificios, iniciando con edificios públicos)	Riesgo debido a colisión con edificios colindantes		(X) Sin riesgo	() Incierto	() Riesgoso	
	Estructuras ajenas al edificio en estudio		(X) Sin riesgo	() Incierto	() Riesgoso	
Instalaciones	Eléctricas (X) O.k. () No	Suministro de agua (X) O.k. () No	Ductos de gases (X) O.k. () No	Servicio Sanitario (X) O.k. () No		

Forma 1

Tesis: Evaluación Post-sísmica de Estructuras de Concreto no mayores a 30 mtrs. de altura

4.3.2 Memoria fotográfica

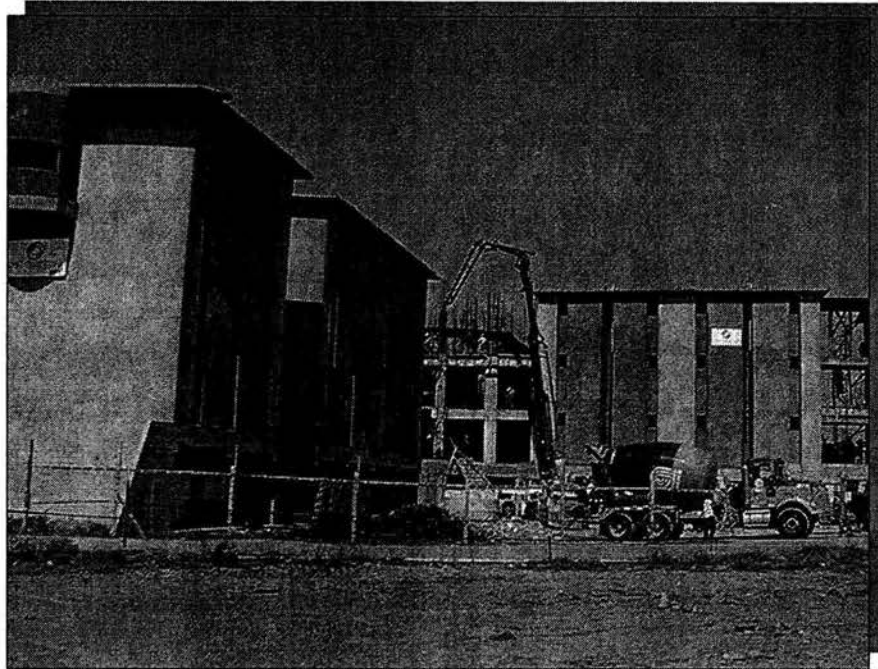


Figura 4.3 Vista lateral del edificio



Figura 4.4 Columnas dañadas (marcadas en círculo)

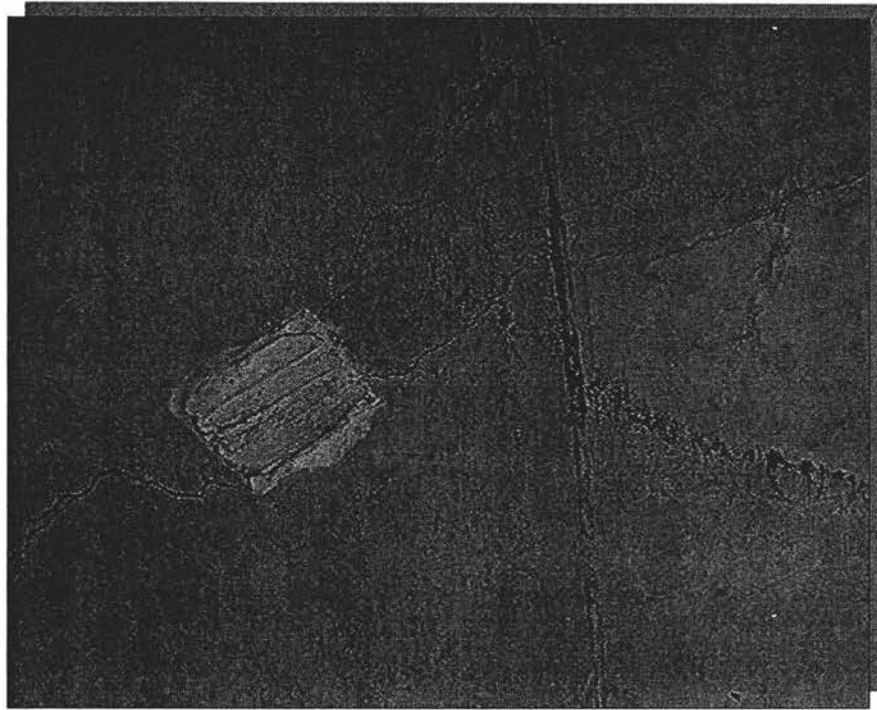


Figura 4.5 Grietas (acercamiento) en columnas dañadas

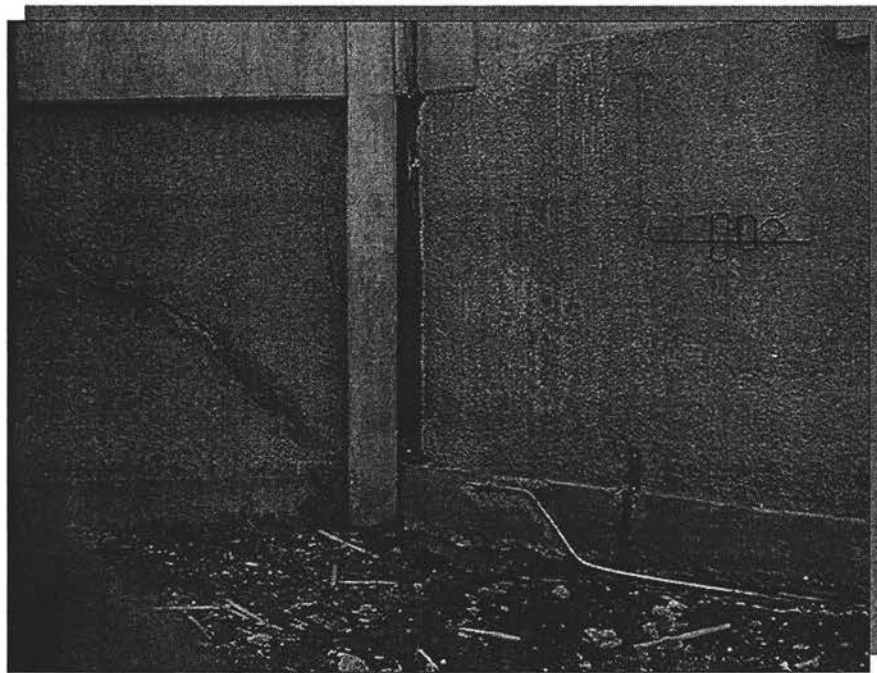


Figura 4.6 Daños en muros exteriores (grieta por tensión diagonal o cortante)

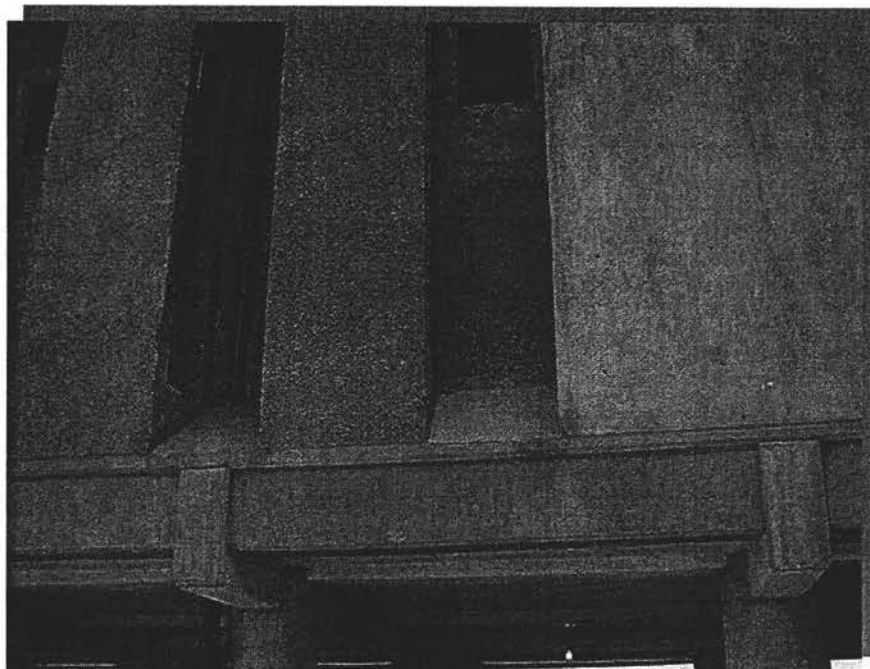
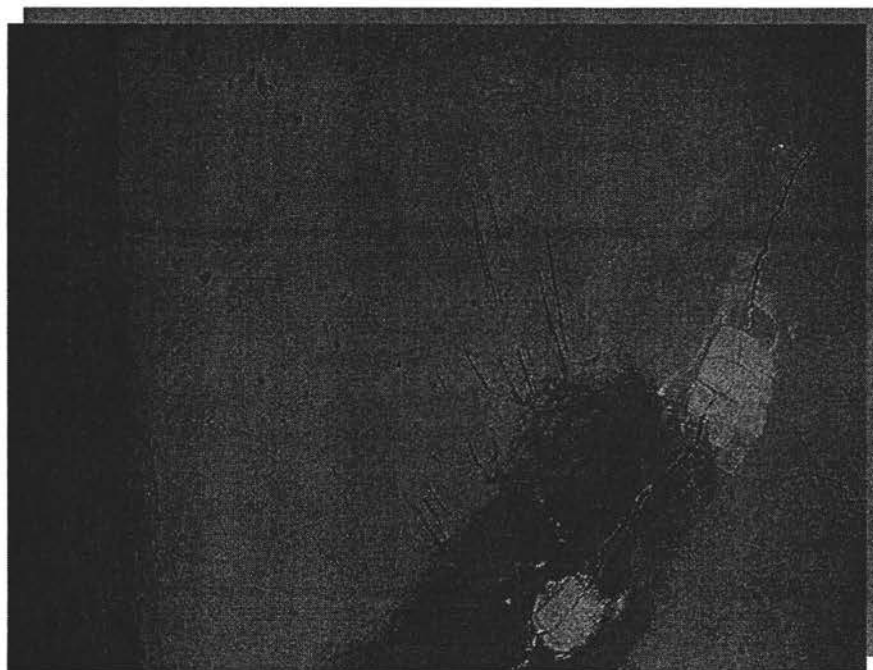


Figura 4.7 Grietas en muros exteriores



**Figura 4.8 Grietas en muros interiores
(se observa en mampostería)**

4.3.3 Análisis de resultados

-Descripción e interior del edificio

Se trata de una estructura de 2 niveles y planta baja, con irregularidad en planta (presenta alas muy largas) sin juntas sísmicas entre cuerpo principal y cuerpos adyacentes.

Por tratarse de un edificio de uso público se requiere aplicar la inspección interior.

Edificios colindantes inexistentes

-Inspección exterior

Presenta nivel de desplomo menor, en la unión de ala norte con el cuerpo central.

Presenta dos casos con nivel B de daño (grietas en 20% de columnas investigadas), lo que indica que no existe reducción en la capacidad sismorresistente del edificio (ver inciso 3.2.6) y se puede permitir el libre acceso al edificio. Es necesario efectuar una evaluación de cuantía de daño y pérdida de la capacidad de carga de los elementos estructurales, para presentar un proyecto de rehabilitación o refuerzo.

-Inspección Interior

No hay peligro de desprendimiento y caída de objetos. Existen grietas en recubrimiento de muros exteriores y muros divisorios, por ser un acabado de mortero, nos indica daños en los mismos.

Los muros dañados (figura 4.6) se encuentran confinados en marcos estructurales, y se conocen como "muros diafragma"¹ Aunque es considerado un elemento no estructural al ligarse al marco principal (como en este caso) modifica la rigidez lateral del mismo. Lo que da como resultado un agrietamiento diagonal, al presentarse un esfuerzo cortante, producto de la incompatibilidad de la capacidad de deformación marco-muro. Esto no afecta la capacidad sismo-resistente de la estructura, sin embargo debe ser rehabilitada para no provocar un efecto de inseguridad en los usuarios del edificio.

4.4 Evaluación del nivel de daño y su clasificación

Para realizar el estudio es necesario hacerlo conforme a los formatos presentados en el Capítulo III (Forma 2).

4.4.1 Formas No.2 llenas

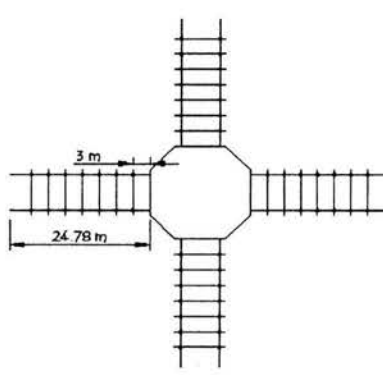
¹ Sánchez Z., Técnicas de reparación y esfuerzo de estructuras de mampostería dañadas por sismo, Tesis de licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, 2002 , pp.101-102

Forma para Evaluación del Nivel de Daño Post-Sísmica
Identificación del edificio

Hoja 1

Inspector	Nombre <u>Karla Gámez C.</u>			
	Afilación <u>U.N.A.M.</u>			
Fecha de inspección	<u>2002</u>	<u>12</u>	<u>10</u>	<u>10:00</u>
	Año	Mes	Día	Hora

Resultados de la evaluación de nivel y clasificación de daño:		
<input type="checkbox"/> Daño ligero menor	<input type="checkbox"/> Daño menor	<input checked="" type="checkbox"/> Daño medio
		<input type="checkbox"/> Daño severo
<input type="checkbox"/> Colapso		
Evaluación de reparación, refuerzo o demolición		
(Nivel de Intensidad Sísmica resultante <u>5</u>)		
<input checked="" type="checkbox"/> Reparación	<input checked="" type="checkbox"/> Refuerzo	<input type="checkbox"/> Demolición
Necesidad de una inspección detallada		
Necesaria <input checked="" type="checkbox"/>		No necesaria <input type="checkbox"/>
En estructura <input type="checkbox"/>		En cimentación <input checked="" type="checkbox"/>

		Necesario entrevistarse con los usuarios para informar sobre las medidas de Precaución				
		Si <input checked="" type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>		
Descripción e información del edificio	Nombre del edificio		Edificio Tipo para Reclusorios	Año de construcción	1999	
	Dirección y ubicación		Ampliación de Reclusorio en Cd. De México			
	Responsable de edificio		Dirección: <u>Dirección de Reclusorios</u>		Teléfono:	
	Uso del edificio	General	<input type="checkbox"/> Oficinas <input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Departamentos <input type="checkbox"/> Tiendas <input type="checkbox"/> Fabricas <input type="checkbox"/> Bodegas <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>			
		Público	<input type="checkbox"/> Escuelas <input type="checkbox"/> Gimnasio <input type="checkbox"/> Jardín de niños <input type="checkbox"/> Centrocomunitario <input type="checkbox"/> Edificio de Gobierno <input type="checkbox"/> Hospital <input checked="" type="checkbox"/> Otros (Centro de Readaptación Social)			
	Tipo de construcción		<input checked="" type="checkbox"/> Compuesta acero-concreto <input type="checkbox"/> Concreto Reforzado <input type="checkbox"/> Mampostería <input type="checkbox"/> Concreto precolado			
	Sistema estructural		<input checked="" type="checkbox"/> Marcos resistentes a momento <input type="checkbox"/> Muros estructurales <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>			
	Tipo de cimentación		Zapatas <input type="checkbox"/> Corridas <input type="checkbox"/> Aisladas Pilotes <input type="checkbox"/> De punta con control <input type="checkbox"/> De punta sin control <input type="checkbox"/> De Fricción Material de fabricación <input type="checkbox"/> Madera <input checked="" type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Acero Cajón de cimentación <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Trabes invertidas Pila de Cimentación <input type="checkbox"/> Con Campana <input type="checkbox"/> Sin campana			
	Regularidad del edificio		Regularidad en planta <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Intermedia <input checked="" type="checkbox"/> Mala Regularidad vertical <input checked="" type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Intermedia <input type="checkbox"/> Mala			
	Zonificación		<input type="checkbox"/> Zona I <input type="checkbox"/> Zona II <input type="checkbox"/> Zona III <input type="checkbox"/> Zona III _a <input checked="" type="checkbox"/> Zona III _b <input type="checkbox"/> Zona III _c <input type="checkbox"/> Zona III _d			
	Dimensiones del edificio	Número de	Superestructura : <u>2</u> Pisos, PH: <u> </u> Pisos, Sótano <u> </u> Pisos			
		Planta Baja	Un piso tiene aproximadamente: Longitud mayor <u>24.70</u> (m) Longitud menor <u>7.00</u> (m)			
	Materiales de acabado exterior		<input type="checkbox"/> Concreto <input checked="" type="checkbox"/> Mortero <input type="checkbox"/> Azulejo <input type="checkbox"/> Piedra <input type="checkbox"/> Muros Precolados <input type="checkbox"/> Paneles Prefabricados <input type="checkbox"/> Bloques <input type="checkbox"/> Paneles de concreto <input type="checkbox"/> Ligeros <input type="checkbox"/> Otros, Especificar ()			
						Observaciones <input checked="" type="checkbox"/> Irregularidad en planta <input checked="" type="checkbox"/> Juntas constructivas entre alas y cuerpo principal nulas 

Forma 2

Forma para Evaluación del Nivel de Daño Post-Sísmica
Identificación del edificio

Hoja 2

Existencia de Documentación del Edificio							
Planos de remodelaciones o modificaciones	()	Memorias de cálculo	()	Planos de Diseño	()	Bitacora de obra	(X)
Daños previos por sismo	Si ()	Año ()	No (X)	No se sabe ()	Uso para el cual fue proyectado	Centro de Readaptación social	

Evaluación considerando el asentamiento total del edificio (Asentamiento Máximo S (m))							
()	Sin daños (S = 0)	(X)	Daño menor (S ≤ 0.2 m)	()	Daño medio (0.2 < S ≤ 0.30 m.)	()	Daño grave (S > 0.30 m)

Evaluación considerando emersión total del edificio (Emersión Máxima E (m))							
(X)	Sin daños (E = 0)	()	Daño menor (E ≤ 0.2 m)	()	Daño medio (0.2 < E ≤ 0.30 m.)	()	Daño grave (E > 0.30 m)

Evaluación considerando el desplomo del edificio (% de inclinación)							
()	Sin daño (% = 0)	(X)	Daño menor (% ≤ a)	()	Daño medio (a < % inclinación ≤ 1.5 a)	()	Daño grave (> 1.5 a)

Forma 2

Forma para Evaluación del Nivel de Daño Post-Sísmica
Evaluación del edificio

Hoja 3

Evaluación considerando el % de daño y pérdida en elementos estructurales																																																																																					
<p>Cálculo de cuantía de daño</p> <p>(Se realiza para cada entepiso, en el caso de muros estructurales se debe realizar para cada dirección; se escribirán los resultados más críticos después de la evaluación de clasificación y nivel de daño)</p>	<p>1 Número de nivel inspeccionado donde se presenta la mayor concentración de daño (Planta baja)</p> <p>En el caso de muros indicar la dirección Corta () Larga ()</p> <p>2 Número de total de columnas : $A_0 = (16)$ Ó Longitud de Muro $A_0 = ()$ m</p> <p>3 Número de columnas inspeccionadas : $A = (16)$ Ó Longitud de Muro Inspeccionado $A = ()$ m</p> <p>4 Porcentaje de columnas inspeccionadas $A / A_0 = 100 \%$</p> <p>5 Número de Columnas en Cada Nivel de Daño, Bi (ó bien longitud de muro)</p> <table border="0"> <tr> <td>Marcos</td> <td>Daño Nivel V</td> <td>$B_5 =$</td> <td>0</td> <td>Marcos</td> <td>Daño Nivel $B_5 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño Nivel IV</td> <td>$B_4 =$</td> <td>2</td> <td></td> <td>Daño Nivel $B_4 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño Nivel III</td> <td>$B_3 =$</td> <td>1</td> <td></td> <td>Daño Nivel $B_3 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño Nivel II</td> <td>$B_2 =$</td> <td>0</td> <td></td> <td>Daño Nivel II $B_2 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño Nivel I</td> <td>$B_1 =$</td> <td>0</td> <td></td> <td>Daño Nivel I $B_1 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño Nivel 0</td> <td>$B_0 =$</td> <td>13</td> <td></td> <td>Daño Nivel 0 $B_0 =$</td> <td>m</td> </tr> </table> <p>6 Cálculo del Índice de Daño D_i, correspondiente a cada nivel de daño</p> <table border="0"> <tr> <td>Nivel V</td> <td>$D_5 = 1000 B_5 / 7A$</td> <td>=</td> <td>0</td> <td>Para $B_5/A > 0.35$, $D_5 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Nivel IV</td> <td>$D_4 = 100 B_4 / A$</td> <td>=</td> <td>13</td> <td>Para $B_4/A > 0.50$, $D_4 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Nivel III</td> <td>$D_3 = 60 B_3 / A$</td> <td>=</td> <td>0.42</td> <td>Para $B_3/A > 0.50$, $D_3 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Nivel II</td> <td>$D_2 = 26 B_2 / A$</td> <td>=</td> <td>0</td> <td>Para $B_2/A > 0.50$, $D_2 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Nivel I</td> <td>$D_1 = 10 B_1 / A$</td> <td>=</td> <td>0</td> <td>Para $B_1/A > 0.50$, $D_1 =$</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$D = \Sigma (D_5 A D_1)$</td> <td>=</td> <td>13.42</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>7 Clasificación del porcentaje de Daño y pérdida según el valor de D</p> <table border="0"> <tr> <td>() Sin daño ($D = 0$)</td> <td>() Daño ligero ($D \leq 5$)</td> <td>() Daño menor ($5 < D \leq 10$)</td> </tr> <tr> <td>(X) Daño medio ($10 < D \leq 50$)</td> <td>() Daño severo ($D > 50$)</td> <td>() Colapso ($D_5 = 50$)</td> </tr> </table>	Marcos	Daño Nivel V	$B_5 =$	0	Marcos	Daño Nivel $B_5 =$	m		Daño Nivel IV	$B_4 =$	2		Daño Nivel $B_4 =$	m		Daño Nivel III	$B_3 =$	1		Daño Nivel $B_3 =$	m		Daño Nivel II	$B_2 =$	0		Daño Nivel II $B_2 =$	m		Daño Nivel I	$B_1 =$	0		Daño Nivel I $B_1 =$	m		Daño Nivel 0	$B_0 =$	13		Daño Nivel 0 $B_0 =$	m	Nivel V	$D_5 = 1000 B_5 / 7A$	=	0	Para $B_5/A > 0.35$, $D_5 =$	m	Nivel IV	$D_4 = 100 B_4 / A$	=	13	Para $B_4/A > 0.50$, $D_4 =$	m	Nivel III	$D_3 = 60 B_3 / A$	=	0.42	Para $B_3/A > 0.50$, $D_3 =$	m	Nivel II	$D_2 = 26 B_2 / A$	=	0	Para $B_2/A > 0.50$, $D_2 =$	m	Nivel I	$D_1 = 10 B_1 / A$	=	0	Para $B_1/A > 0.50$, $D_1 =$	m		$D = \Sigma (D_5 A D_1)$	=	13.42			() Sin daño ($D = 0$)	() Daño ligero ($D \leq 5$)	() Daño menor ($5 < D \leq 10$)	(X) Daño medio ($10 < D \leq 50$)	() Daño severo ($D > 50$)	() Colapso ($D_5 = 50$)
	Marcos	Daño Nivel V	$B_5 =$	0	Marcos	Daño Nivel $B_5 =$	m																																																																														
		Daño Nivel IV	$B_4 =$	2		Daño Nivel $B_4 =$	m																																																																														
		Daño Nivel III	$B_3 =$	1		Daño Nivel $B_3 =$	m																																																																														
		Daño Nivel II	$B_2 =$	0		Daño Nivel II $B_2 =$	m																																																																														
		Daño Nivel I	$B_1 =$	0		Daño Nivel I $B_1 =$	m																																																																														
		Daño Nivel 0	$B_0 =$	13		Daño Nivel 0 $B_0 =$	m																																																																														
Nivel V	$D_5 = 1000 B_5 / 7A$	=	0	Para $B_5/A > 0.35$, $D_5 =$	m																																																																																
Nivel IV	$D_4 = 100 B_4 / A$	=	13	Para $B_4/A > 0.50$, $D_4 =$	m																																																																																
Nivel III	$D_3 = 60 B_3 / A$	=	0.42	Para $B_3/A > 0.50$, $D_3 =$	m																																																																																
Nivel II	$D_2 = 26 B_2 / A$	=	0	Para $B_2/A > 0.50$, $D_2 =$	m																																																																																
Nivel I	$D_1 = 10 B_1 / A$	=	0	Para $B_1/A > 0.50$, $D_1 =$	m																																																																																
	$D = \Sigma (D_5 A D_1)$	=	13.42																																																																																		
() Sin daño ($D = 0$)	() Daño ligero ($D \leq 5$)	() Daño menor ($5 < D \leq 10$)																																																																																			
(X) Daño medio ($10 < D \leq 50$)	() Daño severo ($D > 50$)	() Colapso ($D_5 = 50$)																																																																																			

Forma 2

Tesis: Evaluación Post-sísmica de Estructuras de Concreto no mayores a 30 mtrs. de altura

Forma para Evaluación del Nivel de Daño Post-Sísmica
Evaluación del edificio

Hoja 4

Daños en elementos o sistemas adyacentes	<input type="checkbox"/> Daños en vidrios de ventanas o fachada	<input type="checkbox"/> < 1 (%)	<input type="checkbox"/> 1- 10 (%)	<input type="checkbox"/> ≥ 10 (%)			
	<input type="checkbox"/> Daños en acabado exterior <input checked="" type="checkbox"/> Mortero	<input type="checkbox"/> Daño menor	<input checked="" type="checkbox"/> Agrietamiento y separación parcial	<input type="checkbox"/> Agrietamiento y separación y caída			
	<input type="checkbox"/> Azulejos <input type="checkbox"/> Piedra <input type="checkbox"/> Otros						
	<input type="checkbox"/> Daños en acabado exterior	<input type="checkbox"/> Observación visual de grietas	<input type="checkbox"/> Grietas importantes se observa el otro lado del panel	<input type="checkbox"/> Movimiento relativo en la grieta, falla del panel			
	<input type="checkbox"/> Concreto Prefabricado						
	<input type="checkbox"/> Paneles de concreto ligero						
	<input type="checkbox"/> Bloques						
	<input type="checkbox"/> Pasillo y balcón	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable			
	<input type="checkbox"/> Parapeto	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable			
	<input type="checkbox"/> Publicidad en las azoteas	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable			
	<input type="checkbox"/> Tinacos	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable			
	<input type="checkbox"/> Cuarto de máquinas e instalaciones	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable			
	<input type="checkbox"/> Sistema de aire acondicionado	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable			
	<input type="checkbox"/> Torres de enfriamiento	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable			
<input type="checkbox"/> Penthouse	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable				
<input type="checkbox"/> Chimenea de azotea	<input type="checkbox"/> Sin desplomo	<input type="checkbox"/> Desplomo leve	<input type="checkbox"/> Desplomo notable				
<input type="checkbox"/> Otros ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Daños en estructura de cimentación	Existencia de daños en cimentación profunda (pilotes)	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Incierto			
	Otros problemas en cimentación	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Incierto			
Instalaciones Eléctricas		Suministro de agua		Ductos de gases		Servicio Sanitario	
<input checked="" type="checkbox"/> O.k. <input type="checkbox"/> No		<input checked="" type="checkbox"/> O.k. <input type="checkbox"/> No		<input type="checkbox"/> O.k. <input type="checkbox"/> No		<input checked="" type="checkbox"/> O.k. <input type="checkbox"/> No	

Notas Adicionales:

⊕ Grietas a 45° en muros de primero y segundo nivel, en el área de baños, no son muros estructurales, por lo tanto, no afectan la capacidad sismo resistente de la estructura. Sin embargo **requieren de refuerzo y rehabilitación.**

Forma 2

4.4.2 Memoria fotográfica

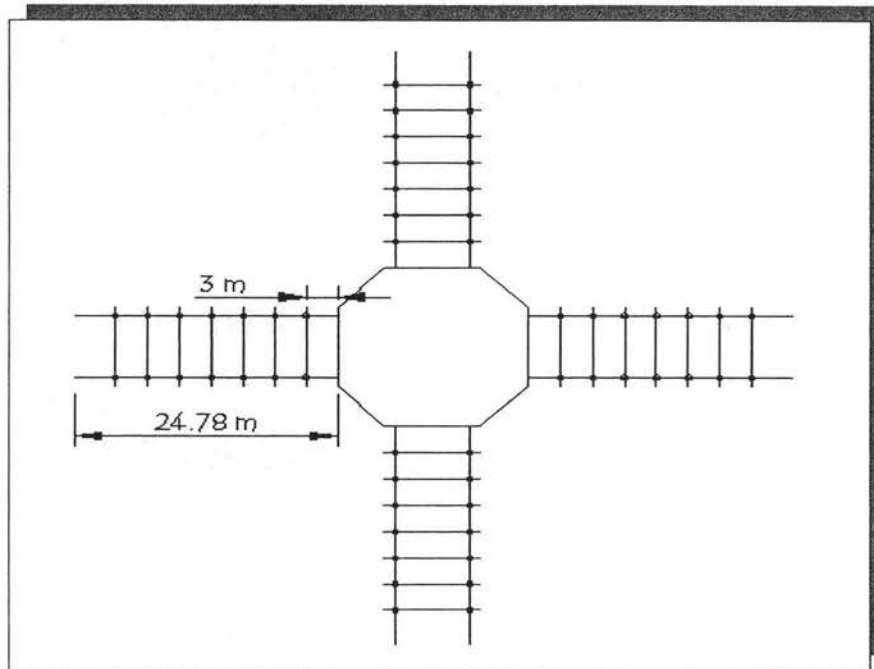


figura 4.9 Planta de conjunto



figura 4.10 Junta inexistente entre ala y cuerpo principal



**figura 4.11 Junta mínima entre ala y cuerpo principal
(fotografía entre losas de ambos edificios)**



figura 4.12 Columna dañada (marcada en círculo)



figura 4.13 Columnas dañadas
(acercamiento)



figura 4.14 Columnas dañadas

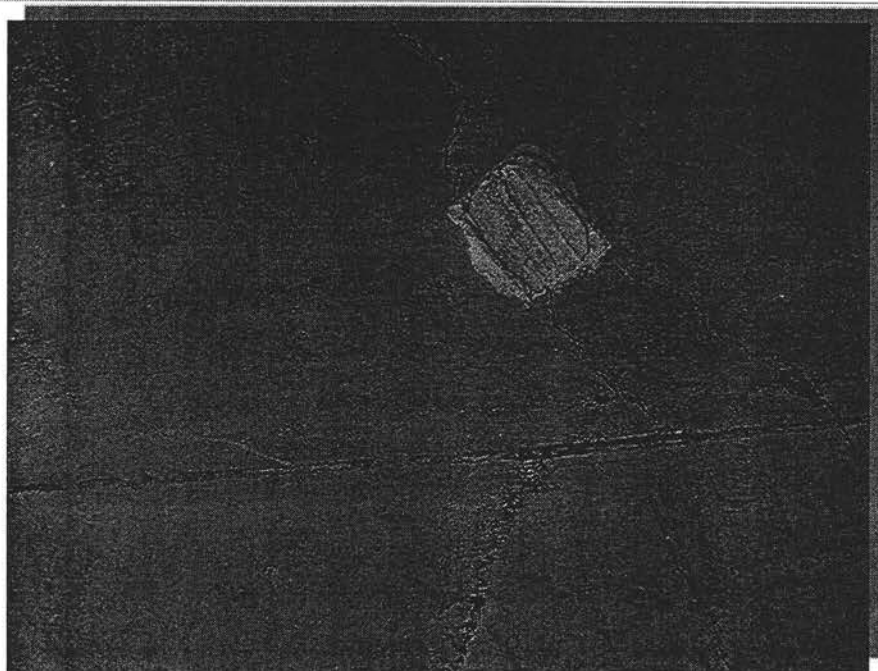


figura 4.15 Grieta en columna
(acercamiento)



figura 4.16 Grieta en muro interior

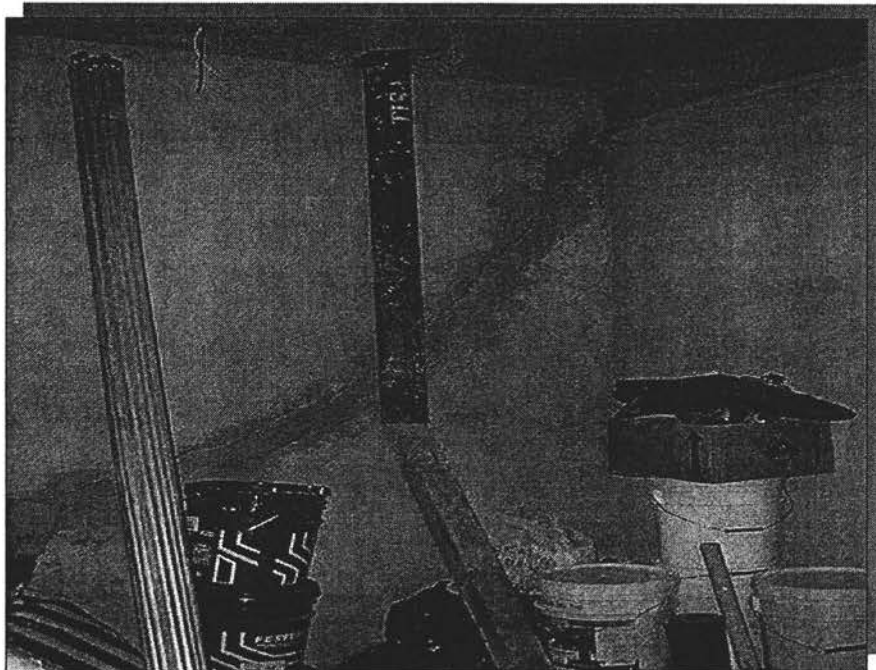


figura 4.17 Grieta en muro interior
(falla por cortante)

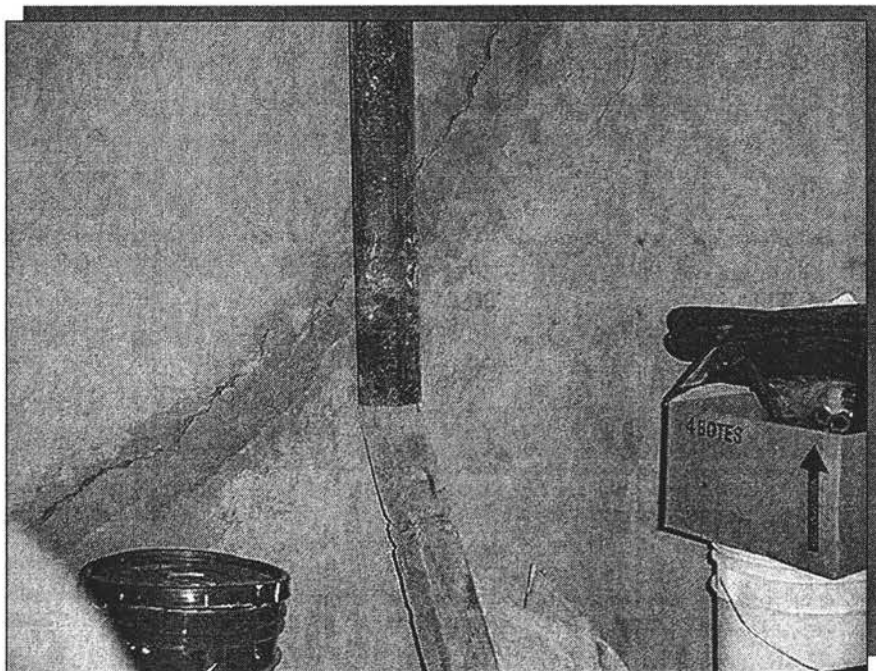
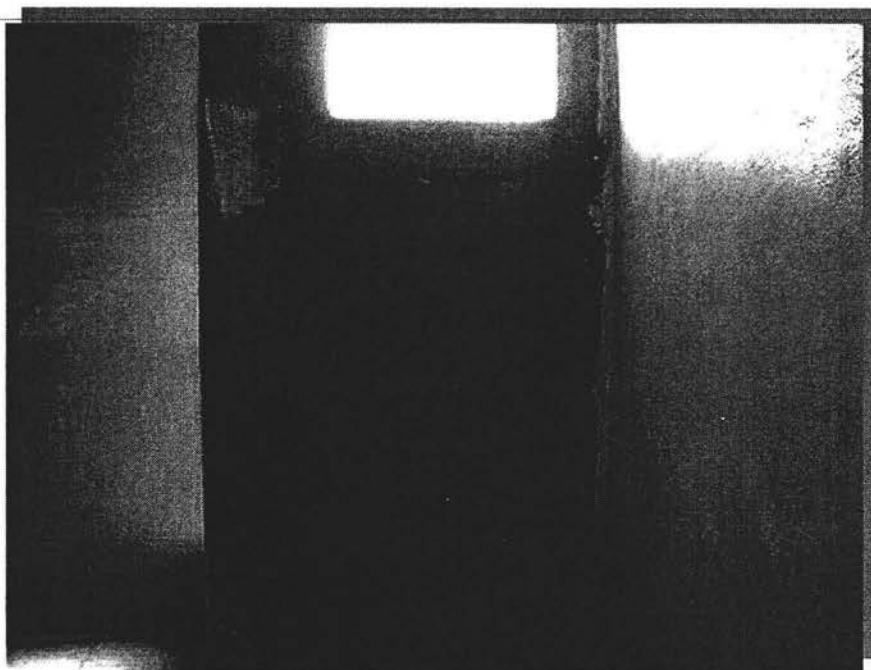


figura 4.18 Grieta en muro interior (acercamiento)



**figura 4.19 Grieta en muro en primer piso
(muro sin dalas de cerramiento para transmitir cargas a la cimentación)**

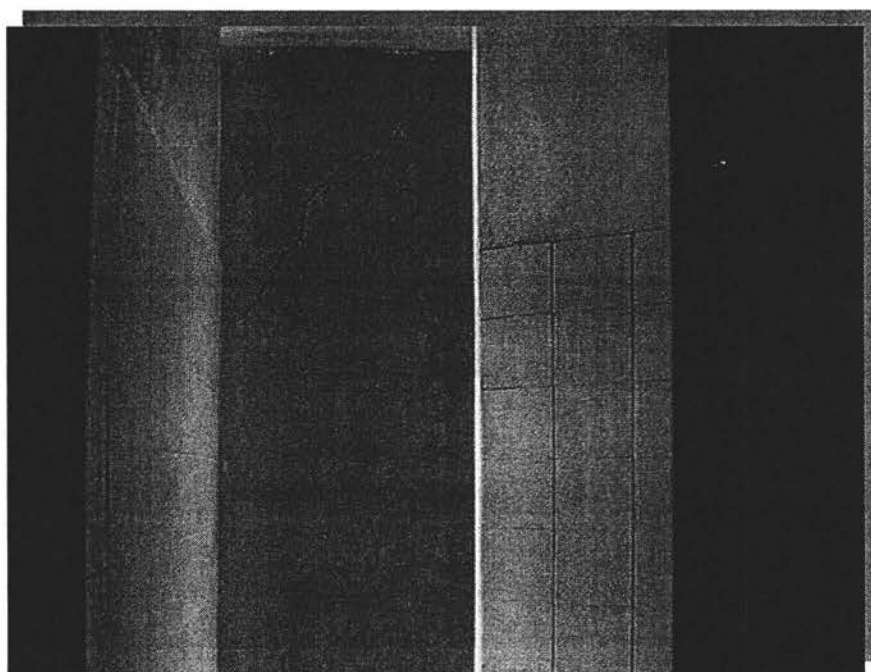


figura 4.20 Grieta en muro en primer piso

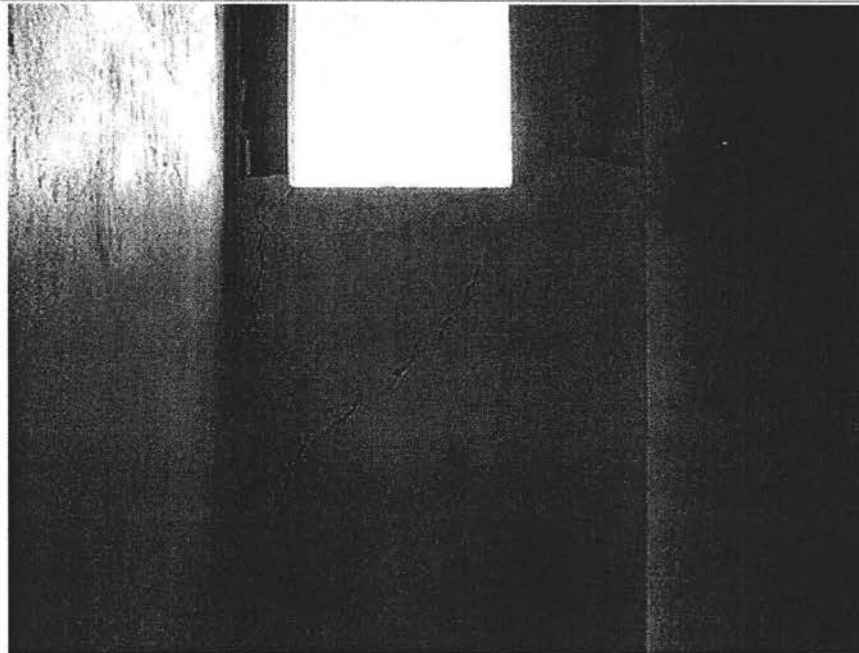


figura 4.21 Grieta en muro de segundo piso

4.4.3 Análisis de resultados

- Descripción e información del edificio

-No se tiene acceso a información del diseño original por lo tanto, la información obtenida en la evaluación inmediata es la que usaremos.

-Se encuentra en la Zona IIIb, que se define como de transición baja, el residente a cargo de la conclusión de los trabajos de construcción nos informó que la cimentación es a base de traveses invertidas de concreto.

-El uso es el mismo para el que fue proyectado.

-Regularidad en planta

Analizando la regularidad en planta según la relación ancho –largo del edificio (Capítulo III, tabla 3.9):

Largo = 24.70 m.

Ancho = 7.00 m.

$$\frac{\text{Largo}}{\text{Ancho}} = \frac{24.70}{7.00} = 3.54 > 3.00$$

Por lo tanto, cae dentro del rango de regularidad mala (Cap. III, tabla 3.9)

-Regularidad vertical buena

-Fecha de inicio de la construcción: 1998, lo que nos indica que está diseñado con los parámetros actuales de diseño sísmico²

-Asentamiento del edificio

Se observa un asentamiento total del edificio igual a 0.05 m. (dato proporcionado por residente de obra) por lo tanto el asentamiento se considera menor.

Sin embargo, en una de las alas del edificio presenta desplomo menor.

Es necesario un estudio geotécnico para conocer la capacidad de carga del suelo. Y con ello, tener los elementos necesarios para proponer una recimentación, si fuera necesario.

El cálculo del desplomo lo obtuvimos aplicando las siguientes ecuaciones (Cap. III, sección 3.4.2.2):

$$a = 100 / (100 + 3H)$$

Donde:

H = 9 mts. (altura del edificio)

$$a = 100 / (100 + 3 \cdot 9) = 0.79$$

Calculando el % de inclinación:

$$\% \text{ de inclinación} = \frac{\Delta H}{H} \times 100$$

Sustituyendo:

$$\% \text{ de inclinación} = \frac{0.06 \text{ m}}{9.00 \text{ m}} \times 100 = 0.66$$

² A partir de los sismos de septiembre de 1985, se modificó la normatividad estructural existente, se incrementaron coeficientes sísmicos para las zonas de transición y de lago. Se asignaron nuevos factores de comportamiento sísmico en función de los materiales y el proceso constructivo de las diferentes edificaciones.

Comparando resultados (según tabla 3.6, Cap.III):

$$0.66 \leq 0.79$$

Por lo tanto, la clasificación del **daño es menor**.

-Inspección Interior

-El sistema constructivo, en la planta baja del edificio es a base de marcos estructurales, los siguientes dos pisos están soportados por muros de concreto.

-El primer nivel presenta daños en elementos estructurales (columnas) . Se encontraron 2 columnas con presencia de grietas de 0.5 a 1 mm (fotos 10 y 11) lo que las identifica como un nivel de daño medio (Cap. III, tabla 2.3).

-Cálculo de cuantía de daño y pérdida en elementos estructurales

En la hoja No. 3 de la evaluación del nivel de daño (Cálculo de cuantía de daño) se analizó **la planta baja**, ya que es la que presenta mayor daño en elementos estructurales (columnas).

Al vaciar los datos en la forma, y aplicando las fórmulas que ahí expuestas, el cálculo del daño es de 13.42, que entra en la clasificación de **daño medio**.

-Daño en elementos o sistemas adyacentes

No existen daños en ventanas, pues aún no están colocadas.

Se presentan daños en acabado exterior en muros de mampostería que ya se analizó la causa de los daños (evaluación inmediata, inspección interior)

No hay daños en instalaciones eléctricas, suministro de agua y servicio sanitario.

Notas

En la Evaluación inmediata encontramos algunos muros interiores, sin el confinamiento adecuado, y recomendamos revisar los muros que presentaran esta condición.

Al revisar toda el edificio (en sus tres niveles) encontramos, que los muros del área de baños, no tienen ningún tipo de dala de cerramiento para la cancelería, lo que provoca que existan grietas de cortante, debido a la falta de un elemento (dala de cerramiento) que transmita la carga a la estructura.

4.5 Resultado de la evaluación

En el capítulo III sección 3.4.5 se menciona que se tomará como evaluación total del edificio, la clasificación del piso que presenta mayor daño. Para este caso el nivel con más daño es la planta baja, y su evaluación es de **daño medio**.

Aplicando este resultado en la tabla que se encuentra al final del diagrama de flujo y metodología del procedimiento de evaluación del nivel de daño (Cap. III, 3.1), la cual se reproduce a continuación:

Intensidad Sísmica	Nivel de daño				
	Daño ligero (I)	Daño menor (II)	Daño medio (III)	Daño grave (IV)	Falla total (V)
Menor que IV	O	Δ	X	X	X
V	O	O	Δ	X	X
Mayor que VI	O	O	O	Δ	X

O = Rehabilitación³ Δ = Rehabilitación y/o refuerzo⁴ X = Refuerzo o demolición

Tabla 4.1 Nivel de daño en base a la intensidad sísmica

Y tomando en cuenta que la intensidad sísmica fue V, el nivel de daño queda representado en la tabla de la siguiente manera:

Intensidad Sísmica	Nivel de daño				
	Daño ligero (I)	Daño menor (II)	Daño medio (III)	Daño grave (IV)	Falla total (V)
Menor que IV	O	Δ	X	X	X
V	O	O	Δ	X	X
Mayor que VI	O	O	O	Δ	X

Tabla 4.2 Nivel de daño en el edificio evaluado

Por lo tanto, podemos concluir que el edificio evaluado requiere de **rehabilitación y refuerzo**.

³ Rehabilitación. Consiste en restablecer las condiciones estructurales, totales y/o parciales, de un sistema estructural, que fueron degradadas por la ocurrencia de un sismo.

⁴ Refuerzo. Consiste en proporcionar a un sistema estructural, condiciones o características estructurales, totales y/o parciales, **superiores** a aquéllas que tenía hasta antes que fueran degradadas por la ocurrencia de un sismo.

4.6 Recomendaciones y observaciones

Se puede permitir el acceso al edificio, con restricción en las áreas dañadas (muros y columnas), y la evaluación global es de precaución.

Se recomienda aplicar métodos de refuerzo y rehabilitación inmediatos, en columnas de primer nivel. Al aplicar esta evaluación, ya se habían sacado corazones de concreto, para comprobar que la resistencia del mismo fuera la adecuada. Faltaría comprobar que el área de acero sea la correcta. Ya con estos datos se puede elegir un método de refuerzo. Teniendo en cuenta que el proceso de reparación debe garantizar, que las características estructurales de resistencia, capacidad de deformación y rigidez sean iguales o superiores, de las que se tenía antes del sismo.

En el caso de los muros dañados, tenemos dos casos:

-Cuando el ancho de la grieta permite ver la mampostería, y ésta también está agrietada. Lo recomendable es rellenar con rajuelas⁵ o bien,

-El ancho de la grieta es menor a 5 mm, lo recomendable es la inyección de resinas o morteros epóxicos. Para la preparación y empleo de las mismas deben seguirse las instrucciones especificadas por los fabricantes.⁶

Es importante señalar que la separación entre alas y cuerpo central inexistente, está causando problemas de irregularidad en planta, y mal comportamiento sísmico. Por lo tanto, se debe considerar la construcción de juntas sísmicas de por lo menos 50 mm ⁷ y así, además de cumplir con la normatividad se evitarán más daños en futuros eventos sísmicos.

En el edificio evaluado, las condiciones de la cimentación son inciertas, y se recomienda hacer un estudio más profundo de la resistencia del terreno y las cargas que está transmitiendo la superestructura sobre él. Haciendo énfasis en la rehabilitación y refuerzo (de ser necesario) de la cimentación para una respuesta adecuada ante la ocurrencia de eventos sísmicos en el futuro.



⁵ Sánchez Z., Técnicas de reparación y esfuerzo de estructuras de mampostería dañadas por sismo, Tesis de licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, 2002 , pp.128 y 129

⁶ Sánchez Z., Técnicas de reparación y esfuerzo de estructuras de mampostería dañadas por sismo, Tesis de licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, 2002 , pp.125 y 126

⁷ Parámetro establecido en la Propuesta de Normas Técnicas Complementarias por sismo 2001, en su Sección 6.1. Separación de Edificaciones

Conclusiones

Conclusiones

Acerca de la evaluación inmediata

- a) El formato en su primera parte, contiene la información general del edificio a evaluar como son: nombre, uso del edificio, composición de la estructura, sistema estructural, zona en que está ubicado, etc. Estos datos, aunque pudieran parecer secundarios, conocerlos nos será de gran ayuda en la toma de decisiones, por ejemplo, si el edificio evaluado es del tipo A no deberá omitirse por ninguna razón la inspección interior (Formato 1), aún cuando en el exterior se obtenga un nivel de "seguro".
- b) La evaluación inmediata del nivel de seguridad se realiza considerando tres categorías principalmente: con respecto al edificio global, con respecto a la caída de objetos y con respecto al volteo de objetos. Esto es de gran ayuda, ya que al evaluar, clasificar y proponer medidas de emergencia para cada caso pudieran presentarse incongruencias como la siguiente: Si en forma global el edificio es calificado como "seguro", pero existe un riesgo alto de volteo de objetos alrededor de los accesos, será necesario prohibir la entrada al edificio. Esto nos lleva a concluir que, debe considerarse el nivel de riesgo y peligro de cada categoría para definir las medidas de seguridad finales.
- c) Como los daños en las estructuras secundarias (sección 2.5.6) están consideradas en la evaluación inmediata del nivel de riesgo y peligro, es necesario definir la zona de influencia por peligro de caída de estos objetos, dentro del formato 1, en un croquis comentario.
- d) Al evaluar el daño en los elementos estructurales de los sistemas a base de marcos resistentes a momento, de acuerdo con la inspección exterior, debe ponerse énfasis en las columnas de la dirección que presente mayor concentración de daño (X o Y) del nivel más dañado. En el caso de estructuras a base de muros, se investigarán los muros en las dos direcciones (X o Y), y se considerará el nivel crítico de ambas direcciones. Cuando la estructura se puede calificar con el nivel de daño "peligro" a simple vista (columnas severamente dañadas, falla parcial o total, sistemas de piso o losa con hundimientos o inclinaciones notables) se podrá omitir el cálculo de la cuantía de daño por medio del formato de investigación, concluyendo nivel C o de "peligro" en toda la estructura.
- e) En el sitio, los inspectores deberán comunicar a la administración y usuarios de los edificios el resultado de la evaluación (peligro, precaución o seguro). También deberán proponer medidas de respuesta inmediata, colocar en lugares visibles avisos como: "prohibido el acceso", "precaución al entrar". En los casos de alto riesgo ante la caída o volteo de objetos, es conveniente poner anuncios similares para los edificios públicos o edificios con gran afluencia de personas.
- f) Si el daño estructural del edificio, es solo en zonas aisladas de la estructura, podrá permitirse el libre acceso a las zonas no dañadas, y prohibir el acceso en las áreas en reparación. En estos casos el inspector debe informar a la administración del edificio de estas zonas, en el espacio dedicado a notas dentro del formato (forma 1) de Inspección e investigación.
- g) Si se ha reforzado de emergencia adecuadamente el edificio dañado, o la parte reportada con daño, se podrá cambiar el resultado de la evaluación inmediata, mediante una segunda evaluación. Así como también, existe la posibilidad de re-evaluación en caso de réplicas del evento principal.

h) Aunque es sumamente difícil conocer el tipo de daño, en todos los elementos estructurales del edificio por evaluar, es importante tratar de llegar al mayor número de estos, porque de otra forma es muy probable caer en diagnósticos poco confiables. Es por tal motivo que, se ha establecido que el porcentaje de inspección "i %" (definido por el número de columnas calificadas entre el número total columnas del entrepiso en cuestión y en el caso de muros estructurales la longitud de muros evaluados entre la longitud total de muros en el piso) sea del 50% por lo menos.

Acerca de la evaluación y clasificación de daño

- a) La clasificación del nivel de daño en una edificación, será el mayor nivel de daño que se haya presentado en cualquiera de las evaluaciones (asentamiento total, desplomo total y porcentaje de daños en elementos estructurales).
- b) La evaluación debe realizarse en las dos semanas siguientes al evento sísmico, y el tiempo estimado para el trabajo de inspección, con dos investigadores, es entre dos horas y un día entero. Este lapso varía para cada edificio, y estará en función de los daños, la disponibilidad de información adicional entre otras cosas.
- c) Es necesario recaudar información del estado anterior del edificio, por medio de encuestas a los usuarios, apoyarse en los planos de diseño y verificar las condiciones del subsuelo. Esta información resulta muy útil para tener una visión más amplia de los daños causados por el sismo.
- d) En caso de distinguir a simple vista un nivel de daño severo (como el colapso de un piso, desplomo bastante notable de la estructura) se debe anotar en las observaciones y los cálculos podrán resumirse.
- e) En la evaluación y clasificación de nivel de daño en elementos estructurales como marcos resistentes y muros de carga, se tomará la evaluación del entrepiso que presente mayor daño.
- f) En los casos en que no se cumpla este porcentaje habrá que retirar algunos de los acabados, con el fin evaluar las condiciones de un mayor número de elementos. Este tipo de acción no es necesaria, cuando el acabado es a base de mortero, ya que el daño que este recubrimiento presenta no "maquilla" las condiciones del elemento.
- g) Para las estructuras a base de marcos resistentes a momento, cuando el claro libre es pequeño la probabilidad de daño en las columnas es alta, y es aconsejable retirar los plafones o el recubrimiento del techo para facilitar la inspección.
- h) Es importante resaltar, que en los casos donde se pueda evaluar las condiciones de las trabes y su nivel de daño sea superior al de las columnas que llegan al extremo de dicha viga, las columnas que la sustentan tomarán el nivel de daño de la viga, y este valor se considerará para la determinación del porcentaje de daño en el nivel o entrepiso. Citando un ejemplo, si las trabes presentan un nivel de III y el nivel de daño en los extremos de las columnas fue menor a III, se puede modificar el nivel de daño de las columnas por el nivel de daño de las trabes.
- i) Como se presenta una gran dificultad, para determinar el asentamiento total de la estructura, debido a la ausencia de un punto de referencia del estado de asentamiento del inmueble anterior al sismo,

el método empleado se elegirá considerando la magnitud del fenómeno y el tipo de suelo. Está evaluación se realizará considerando el valor máximo de asentamiento observado. Sin embargo, un estudio completo de la cimentación es costoso y además implica tiempo. Por lo tanto, si se observa una inclinación considerable en la estructura, aunque el resto del edificio presente condiciones de seguridad, es posible que la cimentación presente daños. Es necesario hacer un comentario especial al respecto dentro de la evaluación y recomendar que se haga una investigación minuciosa llevada a cabo por especialistas de esa área.

- j) En los casos que el nivel de daño se pueda evaluar a simple vista y de una forma contundente (en sistemas a base de marcos resistentes a momento o muros estructurales), se tomará como válido este criterio dentro de la evaluación, de la siguiente forma: se agruparan para iguales niveles de daño el número de columnas o longitud de muros estructurales resultantes. El porcentaje de daño (D_i) y el porcentaje de daño del nivel ($\sum D_i$).
- k) En las estructuras a base de marcos resistentes a momentos, se calcula el número de columnas que fueron clasificadas con el mismo nivel y clasificación de daño; en las estructuras a base de muros estructurales, se considera el valor total B_i de la longitud total de muros estructurales que hayan sido clasificados con el mismo nivel y clasificación de daño. Las siguientes relaciones se calculan para cada nivel de daño:

Para estructuras a base de marcos resistentes a momento

$$\frac{\text{Número de columnas con el mismo nivel de daño } (B_i)}{\text{Número total de columnas investigadas } (A)} = D_i$$

Para estructuras a base de muros estructurales

$$\frac{\text{Long. de muros estructurales con el mismo nivel y clasificación de daño } (B_i)}{\text{Long. total de muros investigados } (A)} = D_i$$

Esto se sustituye en las expresiones indicadas en la tabla formato de inspección, calculando de esta manera el índice D_i .

Para las estructuras a base de muros, se determina la sumatoria del porcentaje de daño ($\sum D_i$) para ambas direcciones del edificio X, Y y el mayor de estos valores se considerará como el porcentaje de daño apropiado para el entrepiso.

- l) La presente evaluación también puede ser aplicable a estructuras construidas con elementos prefabricados, donde el objeto de nuestra atención serán las uniones de dichos elementos, aplicando los mismos criterios empleados para determinar el nivel de daño en columnas y muros estructurales, de sistemas a base de marcos resistentes a momento y a base de muros estructurales, respectivamente.



Glosario

Glosario de Términos

Aftershock (Réplicas)

Es un temblor que sigue después del movimiento más grande y que se origina en o cerca de la zona de ruptura del primer terremoto. Generalmente los terremotos grandes son seguidos por réplicas, las cuales decrecen con el tiempo.

Amplitud

Es la máxima altura de la cresta en un acelerograma.

Amenaza

Factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en un cierto periodo de tiempo.

Ángulo Central

Es un ángulo cuyo vértice está en el centro de la tierra. Uno de sus rayos pasa a través del hipocentro (también del epicentro) y el otro pasa por la estación sísmica.

Array (arreglos)

Es un sistema ordenado de sismómetros o geofonos, cuyos datos los recibe un receptor central.

Cinturón o Franja sísmica

Es una zona prolongada donde hay actividad sísmica. Por ejemplo el cinturón del Pacífico, el Mediterráneo, las Rocky Mountain en Estados Unidos.

Centro de expansión

Es una extensa región donde dos placas están siendo apartadas una de la otra. Nueva corteza se forma conforme la roca fundida se levanta hacia arriba en la abertura dejada por las placas que se apartan. Ejemplos de esto incluyen la región atlántica y al este de África.

Consolidado

Fuertemente condensado o apretado. Compuesto de partículas que no son fáciles de separar.

No consolidado

Es cuando no hay un orden establecido, no tienen una acción conjunta y sus partículas se separan fácilmente.

Constante sísmica

En los códigos de construcción se debe tomar en cuenta el comportamiento de amenaza sísmica. Estos valores de aceleración (en unidades de gravedad) que una construcción debe soportar se llama constante sísmica.

Corteza

La capa exterior delgada de la superficie de la Tierra, cuyo espesor promedio es de 10 kilómetros bajo los océanos y de 50 kilómetros bajo la corteza continental. Ésta es la única capa de la Tierra que los humanos realmente hayan visto.

Deriva Continental

Teoría expuesta por Alfred Wegener en la que se decía que los continentes de la Tierra eran originalmente una masa de tierra que se fue separando y emigrando para formar los continentes.

Deslizamiento

Es un movimiento abrupto de tierra y rocas en una pendiente en respuesta a la fuerza de gravedad. Los deslizamientos pueden ser ocasionados por un terremoto u otro fenómeno natural. Los deslizamientos bajo el mar pueden causar Tsunamis.

Discontinuidad de Mohorovicic (el Moho)

Es la superficie de frontera o la pronunciada discontinuidad de la velocidad sísmica, que separa la corteza terrestre del manto superior. Esta discontinuidad fue descubierta por el sismólogo Andrija Mohorovicic, de origen Croata.

Disposición

Es la disposición de un grupo de sismógrafos o geofonos desde los cuales se obtienen datos de una explosión y son grabados simultáneamente.

Enjambre de terremotos

Una serie de temblores menores, que no han sido identificados como temblores importantes y que ocurren en determinado momento y lugar.

Epicentro

Es el punto exacto en la superficie que se localiza sobre el hipocentro de un sismo.

Escala modificada de Mercalli

La escala de Mercalli, fue modificada para adaptarse a las condiciones de Norte América. Es una escala compuesta por 12 niveles de intensidad que van desde los movimientos imperceptibles hasta los fuertes y destructores, y que son designados con números romanos. Esta escala no tiene una base matemática sino que se clasifica mediante la observación de efectos.

Escala de Richter

Es el sistema utilizado para medir las potencias de un terremoto. Fue propuesto por Charles Richter en 1935 como manera de clasificar los terremotos. Está compuesta por una colección de fórmulas matemáticas.

Estación sismográfica

Es un sitio en donde uno o más sismógrafos son monitoreados.

Falla

Punto débil en la corteza terrestre y manto superior donde el material rocoso presenta rupturas y deslizamientos. Las fallas son causadas por terremotos y éstos, a su vez ocurren en fallas preexistentes.

Fase

Es el comienzo de un desplazamiento u oscilación en un sismograma indicando la llegada de un tipo diferente de onda.

Foco

El punto dentro de la Tierra en donde se origina el primer movimiento de un terremoto y sus ondas elásticas.

Foreshock (Movimiento precursor)

Un temblor pequeño que normalmente precede a un terremoto más grande desde segundos hasta semanas antes y que se origina en o cerca de la zona de ruptura del terremoto más grande.

Gran Terremoto

Se le llama así, al terremoto cuya magnitud es de 8 o más grados en la escala de Richter.

Hipocentro

El sitio calculado donde se localiza el foco de un sismo dentro de la tierra.

Hora de llegada

Es el momento en que una señal sísmica llega al detector.

Intensidad

Es la medida de los efectos de un terremoto en un lugar determinado, en la población humana, estructuras y (o) la propia tierra. La intensidad en un punto no solo depende de la magnitud del terremoto, sino también de la distancia del terremoto al punto y la geología local de ese punto.

Intervalo de recurrencia

Es el tiempo aproximado entre los terremotos de una área específica y activamente sísmica.

Latitud

Es la localización de un punto al norte o al sur del Ecuador. La latitud se muestra en un mapa o globo como líneas con dirección Este-Oeste y paralelas al Ecuador.

Línea de enlace sísmico (Isosistas)

Es una línea que conecta puntos de la corteza terrestre en donde la intensidad de los terremotos es la misma. Generalmente es una curva cerrada alrededor del epicentro.

Licuefacción

Es el proceso por el cual un sólido (tierra) asume las características de un líquido como resultado de un aumento en la presión de los poros produciendo y una reducción en la tensión. En otras palabras, la tierra sólida se convierte en una especie de jalea.

Límite de placa

Es el lugar donde dos o más placas se encuentran en la corteza terrestre.

Llegada o arribo

La aparición de la energía sísmica en una estación sísmica.

Longitud

Es la localización de un punto al este o al oeste según el meridiano de Greenwich. La longitud es mostrada en un mapa como líneas con dirección Norte-Sur.

Magnitud

Es la medida de potencia de un terremoto o extracción de energía liberada por este, y determinada por la observación sismográfica. Este es un valor logarítmico determinado por la escala de Richter (1935). Un incremento de una unidad de magnitud (por ejemplo desde 4.6 a 5.6) representa un incremento de 10 en la amplitud de onda en un sismograma, o aproximadamente un incremento de 30 en la energía acumulada. En otras palabras, un terremoto de magnitud 6.7 alcanza 900 veces (30 veces 30) la energía de un terremoto de 4.7, o toma 900 terremotos de magnitud 4.7 para igualar la energía que alcanza uno de 6.7. Esta escala no tiene inicio ni limite. Sin embargo, la mecánica de rocas parece evitar temblores menores de un grado o tan grandes como de 9.5. Un sismo de magnitud -1 libera cerca de 900 veces menos energía que un sismo de magnitud 1. Con excepción de circunstancias especiales, los sismos con magnitud menor que 2.5 no son sentidos por los humanos.

Manto

Es la capa de roca que se encuentra entre la corteza y el núcleo exterior de la tierra. Tiene aproximadamente 2900 kilómetros de espesor y es la capa más grande de la tierra

Maremotos

Este es un término que los sismólogos odian. Estas ondas el pueblo las llama maremotos, pero deben ser llamadas Tsunami. Las verdaderas ondas de marea son generalmente las olas que las personas ven en el mar.

Microterremoto

Es un terremoto con magnitudes de 2 grados o menos en la escala de Richter.

Microsísmico

Es un movimiento continuo de la Tierra y que no esta relacionado con un sismo y de corta duración con un período de 1 a 9 segundos; es producido por una gran variedad de agentes naturales y artificiales.

Modo de escape

Es una onda sísmica superficial, la cual es imperfectamente atrapada causando que su energía se escape a través de las capas que son fronteras a la superficie causando atenuación o una especie de pérdida de energía sísmica.

Movimiento estático

Es una onda que oscila libremente o en forma permanente sobre la superficie del agua a causa de cambios atmosféricos, marejadas o temblores. Es similar al agua salpicando de una bañera.

Nivel de daño

Parámetro empleado para definir el nivel de daño físico de una estructura o de sus elementos constitutivos. En la guía para la evaluación inmediata del nivel de daño se distinguen tres niveles denominados A, B y C, para nivel de daño menor, intermedio y grande, respectivamente. En la guía de evaluación del tipo, nivel y distribución de daño se consideran, cinco niveles y en modo creciente son: daño ligero, daño menor, daño medio, daño grave y problema de estabilidad y falla.

Nivel de daño y pérdida

Representa la condición y grado de deterioro de un elemento estructural. La clasificación de grado de deterioro se divide en cinco niveles, y va del grado I de menor deterioro, y V para el grado de mayor gravedad o falla.

Nivel de riesgo

Parámetro utilizado para definir el nivel de peligro a la vida humana por la falla de un sistema estructural, los elementos estructurales o de los elementos no – estructurales (como la caída de objetos que se desprenden y caen, el desplome y volteo de objetos, etc.) Para este fin se asigna una calificación que depende de los resultados descritos en la evaluación inmediata (o de emergencia.) El nivel de riesgo, puede calificarse en tres niveles: peligro, precaución y seguro.

No sísmico (Asísmico)

Que no tiene ninguna relación con movimientos sísmicos. También se le llama así al lugar o zona que no presenta antecedentes de movimientos telúricos

Núcleo

Las capa más profunda de la Tierra. El núcleo interno es sólido y tiene un radio de aproximadamente 1300 kilómetros. El núcleo exterior es fluido y es de aproximadamente 2300 kilómetros de espesor. Las ondas S no pueden viajar a través del núcleo exterior. El radio de la Tierra es cerca de 6371 kilómetros.

Ondas de cuerpo

Se le llama así a la onda que se propaga a través del interior de la tierra. Por ejemplo: las ondas P y S.

Onda expansiva o elástica

Es una onda que se propaga por una deformación importante y se hace elástica o sea, que se extiende. Esto se debe a un cambio en el contorno que desaparece cuando las fuerzas son removidas. Una onda sísmica es una especie de onda elástica.

Onda Love

La mayoría de ondas superficiales que tienen un movimiento horizontal y que son transversales o de corte a la dirección de propagación. A.E.H. Love fue un matemático inglés que descubrió estas ondas.

Ondas P

Es la onda primaria, longitudinal, que no gira sobre sí misma, que empuja, presiona, se dilata. Es una onda que jala y empuja. La onda P son rápidas y llegan a las estaciones antes que las ondas S, u ondas secundarias. Estas ondas traen energía a través de la Tierra en forma longitudinal, moviendo partículas en una misma dirección, y sentidos por los humanos como un "bang" o un "thump" (zumbido)

Ondas S

Son ondas secundarias, rotacionales, tangenciales, distorsionales o de corte. Viajan en forma transversal a la dirección de movimiento. Estas ondas llevan la energía a través de la tierra con un patrón complejo de ondas transversales; van viajando mas despacio que las ondas P, normalmente en un terremoto tienen mayor amplitud que las ondas P. No viajan por fluidos, aire, agua o rocas fundidas, por lo tanto no pueden viajar por el núcleo exterior, que es líquido.

Ondas Rayleigh

Es un tipo de onda superficial que se mueve en forma retrógrada y elíptica similares a las causadas por una piedra que cae en una poza de agua. Son ondas con velocidad muy baja, pero una de las mas sísmico destructivas. Son ondas muy destructivas y se sienten como un movimiento ondulado o rodante. Son llamadas así en memoria de Lord Rayleigh, un físico inglés que predijo su existencia.

Ondas superficiales

Son las ondas que se mueven sobre la superficie de la Tierra (por ejemplo, la ondas Love y Raleigh).

Onda sísmica marina

Son ondas llamadas Tsunami que se producen por terremotos submarinos.

Período

Es el tiempo que transcurre entre dos crestas sucesivas de ondas sísmicas.

Placa

Es una enorme sesión que forma la corteza terrestre. Las placas están en continuo movimiento.

Placas tectónicas

Es la teoría que dice que la capa terrestre y el manto superior (litosfera) se dividen en segmentos o placas un poco rígidas, pero que se mueven constantemente.

Primera llegada

La primera señal registrada que se atribuye a una onda sísmica que viaja desde la fuente sísmica.

Reflejar

Retroceder o devolverse desde una superficie.

Refracción

Cambio de dirección o salto entre capas.

Refuerzo

Proceso con el cual las características estructurales originales de un edificio, o de sus elementos constitutivos, que fueron dañados por el efecto destructivo de un sismo se mejoran respecto a la condición original que tenían antes de la ocurrencia de dicho evento.

Rehabilitación

Proceso que incluye la reparación y/o refuerzo, por medio del cual una estructura dañada por sismo recupera sus características de funcionalidad y puede volver a ser usada.

Reparación

Proceso mediante el cual se restituyen las características estructurales originales de un edificio, o de sus elementos constitutivos, que han sufrido daño durante un evento sísmico.

Riesgo, o daño

Destrucción o pérdida esperada obtenida de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en un cierto período de tiempo

Señal-ruido-porcentaje

Es la comparación entre la amplitud de la señal sísmica y la amplitud del ruido causado por el desorden del instrumento sísmico o otras causas que no tienen que ver con un sismo.

Sísmico

Todo lo que tenga que ver con terremoto.

Sismicidad

Es la actividad de un terremoto o la actividad sísmica.

Sismograma

Grabación escrita de un terremoto que se hace en un sismógrafo.

Sismógrafo

Es un instrumento que graba los movimientos de la tierra en especial durante los terremotos.

Sismometría

Es la parte instrumental de la sismología.

Subducción

Es el proceso por medio del cual una capa de la litosfera colisiona con otra y es forzada a descender debajo de la otra hacia el manto terrestre.

Superficie terrestre

Es el valor dado a la profundidad debajo la superficie de una media esferoidal. La media esferoidal es una especie de aproximación uniforme a la verdadera forma de la tierra. La profundidad no está hecha con un ajuste exacto entre el esferoide y la profundidad real de la tierra. Por ejemplo la profundidad mínima que se ha dado es de cero kilómetros, pero debajo del monte Everest (8848 mts) puede llegar a los -6 kilómetros de profundidad y todavía quedan dos kilómetros debajo del suelo. En otro caso, una profundidad de 10 kilómetros será 1 kilómetro mas arriba de la depresión debajo del piso oceánico (depresión de Challenger) la cual tiene 11033 metros y que se encuentra en las Fosa de las Marianas en el Océano Pacífico.

Terremoto

Es el movimiento de la tierra, ocasionado por el movimiento súbito de las rocas que se encuentran bajo la superficie de la Tierra.

Terremoto grande

Es un terremoto que llega a tener una magnitud de 7 a 7.99 en la escala de Richter.

Telesismo

Es un terremoto muy distante (más de 20 grados) desde la estación donde se toma la lectura.

Tiempo de travesía

Es el tiempo que se requiere para que una onda viaje desde la fuente sísmica hasta un punto de observación.

Tsunami

Una o varias ondas de gran magnitud causadas por terremoto que interrumpen la tranquilidad en el océano. Los Tsunami son totalmente distintos a las olas marinas comunes pues son olas gigantescas sumamente destructivas.

U.T.C.

Tiempo universal coordinado. Es la escala del tiempo basado en el segundo atómico corregido en forma continua para guardar una aproximación casi exacta con la rotación terrestre. Es el sistema más común de la medida del tiempo. También se denomina GMT.

Zona Focal

Ver Zona de Ruptura

Zona de baja velocidad

Cualquier material o capa terrestre con velocidad de las ondas sísmicas menor que el material (capa) de arriba y de abajo.

Zona de subducción

Es una zona extensa con una placa que desciende con relación a la otra por ejemplo el descenso de la placa de Nazca bajo de la Placa de Sudamérica, a lo largo de fosa Perú-Chile, o el descenso de la placa de Cocos bajo la placa Caribe.

Zona de ruptura

Es el área en la tierra donde ocurren las fallas durante el terremoto. Para temblores muy pequeños esta zona podría tener agujeros pero en caso de un gran terremoto la zona de ruptura se podría extender varios cientos de kilómetros a lo largo y algunos kilómetros a lo ancho.

Zona sísmica

Es una región donde se sabe que ocurren los terremotos o sismos.



Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

1. Applied Technology Council (1998), "**ATC-21 Rapid Visual screening of buildings for potencial seismic hazards : a handbook**", Rodwood City, California.
2. Bazán E., Meli R. (1998), "**Diseño Sísmico de Edificios**", 1ª Edición, Editorial Limusa S.A. de C.V., México D.F.
3. Centro Nacional de Prevención de Desastres (Marzo de 1996), "**Cuaderno de Investigación No. 27 : Norma para la evaluación del nivel de daño por sismo en estructuras y guía técnica de rehabilitación (estructuras de concreto reforzado)**"; México, D.F.
4. Iglesias J., Robles F., De la Cera J., González O. (1992), "**Reparación de Estructuras de concreto y mampostería**", 1ª Impresión, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Departamento de Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana
5. Organización Panamericana de la Salud (1995), "**Guías para la mitigación de riesgos naturales en las instalaciones de salud de los países de América Latina**", Washington D.C.
6. Sánchez Zurita J., (2002), "**Técnicas de reparación y esfuerzo de estructuras de mampostería dañadas por sismo**", Tesis de licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, San Juan de Aragón, Estado de México.
7. Sauter F. (1989), "**Fundamentos de Ingeniería sísmica, v.1. Introducción a la sismología**", 1ª. Edición, Editorial Tecnológica de Costa Rica .
8. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (2001), "**Propuesta de Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo**", en www.smie.org.mx/articulos
9. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica A.C. (Septiembre de 1995), "**Revista Ingeniería Sísmica, Publicación Especial**", México, D.F.
10. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (1998), "**Manual de Evaluación Post-sísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones**", Edición única, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica AC, México, DF.
11. Tamez E., Santoyo E., Mooser F., Gutierrez C. E. (1987), "**Manual de Diseño Geotécnico**", Vol.I, Comisión de Vialidad y Transporte Urbano, Secretaría General de Obras, D.D.F.
12. www.ssn.unam.mx, (Marzo de 2004) página web del Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.