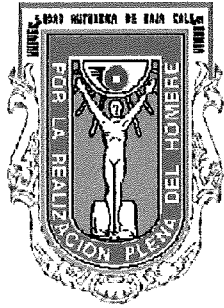


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD ENSENADA



DETERMINACIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL

TESIS

Que para obtener el
Título de Ingeniero Civil
presenta

DANIEL ALBERTO SALGADO MÉNDEZ

Directores

Dr. Fortunato Espinoza Barreras

Ing. Pablo Andrés Rousseau Figueroa

Ensenada Baja California, México. Febrero de 2001.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD ENSENADA**

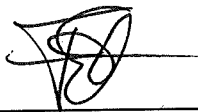
DETERMINACIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL

TESIS

Que para obtener el
Título de Ingeniero Civil
presenta

DANIEL ALBERTO SALGADO MÉNDEZ

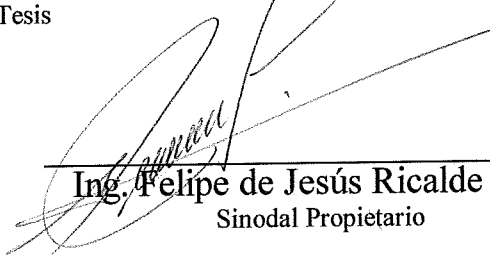
Aprobada por:



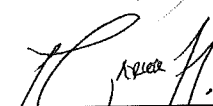
Dr. Fortunato Espinoza Barreras
Director de Tesis




Ing. Pablo Andrés Rousseau Figueroa
Director de Tesis



Ing. Felipe de Jesús Ricalde Lugo
Sinodal Propietario



Ing. Alberto Parra Meza
Sinodal Propietario



Ing. Héctor Ayón Ramírez
Sinodal Propietario

Ensenada Baja California, México. Febrero de 2001.

TESIS DE LICENCIATURA
DETERMINACIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto de investigación conjunta UABC-CICESE denominado "Determinación de la respuesta dinámica de edificios y estimación del efecto suelo-estructura utilizando vibración ambiental".

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a las siguientes instituciones y personas:

- A la Universidad Autónoma de Baja California (UABC campus Ensenada) y al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada por las facilidades técnicas y una beca proporcionadas para la realización del proyecto de tesis.
- Al Ing. Pablo Andrés Rousseau por la facilidad en compartir su espacio de trabajo en el desarrollo de mi tesis.
- Al Ing. Alberto Parra Meza por la disposición incondicional de su tiempo asesorándome durante el desarrollo de mi tesis.
- Al MC José Guadalupe Acosta Chang por su colaboración en las mediciones del edificio y la disposición de utilización de los instrumentos en cualquier momento del desarrollo de la tesis.
- A la MC Susana Álvarez Tinajero por su colaboración en las mediciones del edificio y la disposición de ayudarnos en la correcta colocación y calibración de los instrumentos.
- A todos mis profesores de la Facultad de Ingeniería que en su debido tiempo me dieron todos sus conocimientos en sus áreas de estudio para el desarrollo de mi profesión.
- A todos mis amigos de la UABC que me han dado su apoyo durante el desarrollo de mis estudios y que sin dudarlo están conmigo presentes en esta etapa tan importante de mi vida.
- A mi abuela Trinidad Sánchez Arellano por haber estado a mi lado en mi infancia y haberme dado su cariño como un hijo y sus valiosos consejos que hasta el día de hoy sigo y seguiré tomando en cuenta.
- A mis abuelos Tito y Dolores Ruiz por contar siempre con ellos.
- A todos mis familiares (tíos y primos) por el apoyo que siempre me han dado.

DEDICATORIA

A mis padres
José Luis Salgado Ruiz y María Olivia Mendez Arellano
quienes me dieron vida y hoy como siempre ven el fruto de su esfuerzo
al presentar este trabajo de tesis
en Ingeniería Civil

A mis hermanos

José Luis Salgado Méndez y Saul Octavio Salgado Méndez

Quienes como yo han forjado su camino como Ingenieros y
han sabido apreciar lo importante que es el estudio y
el aprender a valorar las cosas

A mi futura esposa

Janeth Aispuro Godoy

A quien felicito por terminar su carrera como LAE y por haber compartido conmigo su tiempo, apoyo y comprensión durante nuestros estudios de profesión como nadie en esta vida lo hubiera hecho por mi

A mi Director de tesis

Dr. Fortunato Espinoza Barreras

Quien me ha dedicado su valioso tiempo y ha
demostrado ser mas que un maestro en el tiempo de conocernos y
sin él hoy no estuviera aquí presente demostrándome lo importante que es
confiar en uno mismo.

Gracias

ÍNDICE

	Página
RECONOCIMIENTO	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Contenido de la tesis.....	2
1.2 Efectos dinámicos en las estructuras.....	3
1.3 Respuesta estructural.....	3
1.4 Señal de excitación.....	4
1.5 Objetivos de medición con vibración ambiental.....	6
1.6 Requisitos de la estructura.....	7
1.7 Requisitos de la medición.....	8
2. VIBRACIÓN AMBIENTAL	10
2.1 Medición de vibración ambiental en edificios.....	10
2.1.1 Edificio Mississippi.....	12
2.1.2 Hospital General de Mexicali.....	14
2.1.3 Edificio Jalapa.....	16
2.2 Modelos de edificios.....	17
3. EDIFICIO EN ESTUDIO	19
3.1 Descripción del edificio.....	19
3.2 Cimentación.....	21
3.3 Estratigrafía del suelo de cimentación.....	21
3.2 Memoria de cálculo.....	22
4 MODELO	25
4.1 Construcción del modelo.....	25

5 INSTRUMENTACIÓN.....	30
5.1 Instrumentos.....	30
5.1 Localización de sensores.....	32
5.1 Mediciones.....	33
6 CÁLCULO DEL PERIODO FUNDAMENTAL.....	35
6.1 Fórmulas empíricas.....	35
6.2 Fórmula de Rayleigh.....	37
6.3 Fórmula de Newmark.....	37
6.4 Mediciones con vibración ambiental.....	37
6.5 Modelo numérico.....	38
7 CONCLUSIÓN.....	39
REFERENCIAS.....	40
Apéndice 1 Modelo numérico (archivo de entrada al SAP90).....	42
Apéndice 2 Algunos artículos del Reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California.....	52
Apéndice 3 Memoria de cálculo (Franco, 1995).....	69
Apéndice 4 Fórmula de Rayleigh.....	71
Apéndice 5 Método de Newmark.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Representación esquemática del mecanismo acción-respuesta (Meli, 1994).....	3
2	Respuesta estructural y estados límite(Meli, 1994).....	4
3	Ruido de fondo presente en sismogramas y originado por diferentes causas: (a) viento, (b) mecánico, (c) cultural y (d), (e) y (f) microsismos (Payo, 1986).....	5
4	Vista en 3D del edificio Mississippi (Fong, 1999).....	13
5	Valores de la frecuencia del periodo fundamental del edificio Mississippi, medidos con vibración ambiental y calculados según el modelo ULTRA base rígida e interacción suelo estructura (Fong, 1999).....	14
6	Vista frontal y en planta del Hospital General de Mexicali (Avila, 1997).....	15
7	Corte transversal del edificio y planta tipo de los niveles de oficina (Muriá y Moreno, 1993).....	17
8	Foto del Edificio de la Escuela de Contabilidad y Administración.....	19
9	Esquema de los cuatro módulos del edificio de la Escuela de Contabilidad y Administración.....	20
10	Sección tridimensional del MÓDULO A En color azul se muestran los muros de corte y en color rojo traveses y columnas.....	20
11	Esquema de cimentación del MÓDULO A con sus niveles de desplante.	21
12	Estratigrafía del suelo de desplante del edificio GP-GM (gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos; gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo), GC (gravas arcillosas, mezcla de grava, arena y arcilla), CL (arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres, SC (arenas arcillosas, mezclas de arenas y arcilla).....	22
13	Espectro de Diseño de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California (1992) correspondiente a suelo tipo II y zona B.....	23
14	Sección tridimensional del MÓDULO A donde se observan los nodos	

	numerados.....	26
15	Sección tridimensional del MÓDULO A donde se muestran los elementos estructurales caracterizados con números (Apéndices 1 y 3). El número de vigas y columnas en color negro y de muros de cortante en color azul.....	27
16	Sección tridimensional del MÓDULO A donde se muestran los elementos numerados del modelo.....	27
17	Muros de corte de la estructura.....	28
18	Sección tridimensional del MÓDULO A con nodos en color azul y centros de masas (nodos maestros) en color rojo.....	29
19	Acelerómetro WR-1 (Kinematics, 1994).....	30
20	Registrador tipo SSR-1 (Kinematics, 1993).....	31
21	Colocación de sensores en azotea y firme, en tres direcciones.....	32
22	Muestra de un registro de aceleración (Cosío, 2001).....	33
23	Espectro longitudinal en la azotea.....	34
24	Espectro transversal en la azotea.....	34

LISTADO DE TABLAS

Tabla		Página
1	Comparación del coeficiente sísmico y el factor de ductilidad para el Módulo A.....	23
2	Valores de periodo fundamental en las direcciones longitudinal (x) y transversal (y) del MÓDULO A, junto con el valor más desfavorable por la incertidumbre en el cálculo. En la cuarta columna se tiene el coeficiente reducido al utilizarse el espectro de diseño sísmico y la última columna contiene el coeficiente aumentado debido al grupo de construcción.....	24
3	Periodo fundamental y frecuencia del modelo en las direcciones longitudinal y transversal.....	29
4	Rigideces en cada nivel y dirección (Franco, 1995).....	29
5	Características del Acelerómetro WR-1 (Kinematics, 1994).....	31
6	Características del registrador SSR-1 (Kinematics, 1993).....	32
7	Periodo fundamental en las direcciones longitudinal y transversal calculados con fórmulas empíricas tomadas de las normativas mundiales (Espinoza, 1999).....	36
8	Periodo fundamental calculado con fórmulas empíricas de diversos autores (Durán et al, 1987).....	36
9	Periodo fundamental calculado con la fórmula de Rayleigh (Reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California, 1992; Franco, 1995).....	37
10	Periodo fundamental calculado con el método de Newmark (Gómez, 1988).....	37
11	Periodo fundamental calculado por Cosío (2001).....	38
12	Periodo fundamental calculado con el modelo numérico.....	38
13	Comparación del periodo fundamental calculados con el modelo, la fórmula de Rayleigh y método de Newmark con el medido experimentalmente. Entre paréntesis se muestra el porcentaje de aproximación.....	39

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La historia nos relata grandes y catastróficos sismos (San Francisco, Kobe, Armenia, Turquía, Taiwán y México) que ha sufrido la humanidad en todo el mundo, observando siempre lo vulnerables que somos ante el arma más destructiva de todas, la cual es nuestra madre naturaleza que en los momentos menos esperados nos demuestra parte de su potencial destructivo, haciendo notar la vulnerabilidad de los edificios y estructuras no importando el tamaño o las propiedades físicas de los materiales constructivos, ésta es sin duda una gran amenaza para nuestra sociedad, donde siempre las obras de ingeniería civil se le han confiado a personas capaces de diseñar edificios o estructuras que tengan una respuesta dinámica adecuada y que resistan las acciones que sobre ellas ejerce un sismo. La calidad con la cual debe condicionarse los edificios o estructuras esta condicionada por reglamentos de construcción, el cual se ha estado modificando debido a los avances tecnológicos y de las experiencias de crisis sísmicas anteriores, esto nos ha llevado a los países del tercer mundo a girar nuestra mirada hacia estos países industrializados los cuales han ido modificando sus normas para obtener una disminución de la vulnerabilidad debido a las investigaciones de las características dinámicas de las estructuras y de los suelos en que estas están asentadas, modificando las técnicas constructivas, materiales y propiedades de los mismos edificando mas apropiadamente por zona o región.

La falta de conocimiento de las características dinámicas de las estructuras, los suelos y la ineficacia de disposiciones y factores de seguridad que se aplicaban en la materia de edificaciones en nuestro país fue puesta de manifiesto por el terremoto de 1985 (Reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California, 1992). Por lo tanto, es imprescindible conocer el comportamiento de los edificios, edificados en nuestra región antes y después de ser sometidos a acciones dinámicas. Por tal razón en Febrero de 2000 se inició el proyecto de investigación conjunta UABC-CICESE denominado "Determinación de la respuesta dinámica de edificios y estimación del efecto suelo-estructura utilizando vibración ambiental" del cual este trabajo es parte.

El objetivo de la tesis consiste en calcular el periodo fundamental de un edificio utilizando un modelo numérico. La respuesta del modelo se obtiene con un programa de elementos finitos.

1.1 CONTENIDO DE LA TESIS

Este primer capítulo introductorio se mencionan aspectos generales de la estructura y su respuesta y se habla de la *vibración ambiental* (señal de excitación), además se plantean los objetivos de la medición de la respuesta dinámica de edificios usando vibración ambiental. Se consideran tanto los requisitos de la medición como de la estructura.

En el capítulo 2 se habla de la vibración ambiental y se plantean los objetivos que persigue, haciendo referencia a estudios realizados en dos edificios de la ciudad de México, Edificio Jalapa y Edificio Mississippi y uno de Baja California, Hospital General de Mexicali.

El capítulo 3 se dedica a la descripción del edificio en estudio (Escuela de Contabilidad y Administración, UABC campus Ensenada), de su cimentación y estatigrafía del suelo de desplante. También se comparan algunos datos de la memoria de cálculo (Franco, 1995) con el Reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California (1992).

El capítulo 4 aborda la construcción del modelo numérico, las dimensiones, las propiedades de los materiales obtenidos de la memoria de cálculo, los elementos estructurales mostrándose al final el periodo fundamental relacionado con la rigidez de la estructura.

El capítulo 5 se dedica a las características de los instrumentos utilizados en la medición y se menciona la colocación de los sensores lo mismo que el procesado de los datos obtenidos.

El capítulo 6 trata del cálculo del periodo fundamental con fórmulas empíricas de diferentes partes del mundo, la fórmula de Rayleigh, método de Newmark, mediciones con vibración ambiental y el modelo numérico.

El capítulo 7 se dedica a las conclusiones en el estudio del cálculo del periodo fundamental del Edificio de la Escuela de Contabilidad y Administración, UABC (campus Ensenada) y a mencionar las líneas futuras de trabajo.

1.2 EFECTOS DINÁMICOS EN LAS ESTRUCTURAS

Las cargas que implican movimiento, como son viento, sismos, gente caminando, vehículos, y máquinas vibratorias, poseen el potencial para producir efectos dinámicos en las estructuras, sumados estos factores constituyen la fuente de excitación conocida como vibración ambiental (Capítulo 2). El análisis de sus efectos requiere considerar las propiedades dinámicas esenciales de la estructura. Estas propiedades se determinan por el tamaño, peso, rigidez relativa, período fundamental, tipo de apoyo y grado de elasticidad de los materiales de la estructura y mediante las diversas influencias de amortiguamiento que se pueden presentar. (Ambrose y Vergun, 1986).

1.3 RESPUESTA ESTRUCTURAL

La respuesta de la estructura está representada por el conjunto de parámetros físicos que describen su comportamiento ante las acciones que le son aplicadas (Figura 1), esta definición y los conceptos expresados en los párrafos siguientes son tomados de Meli (1994).

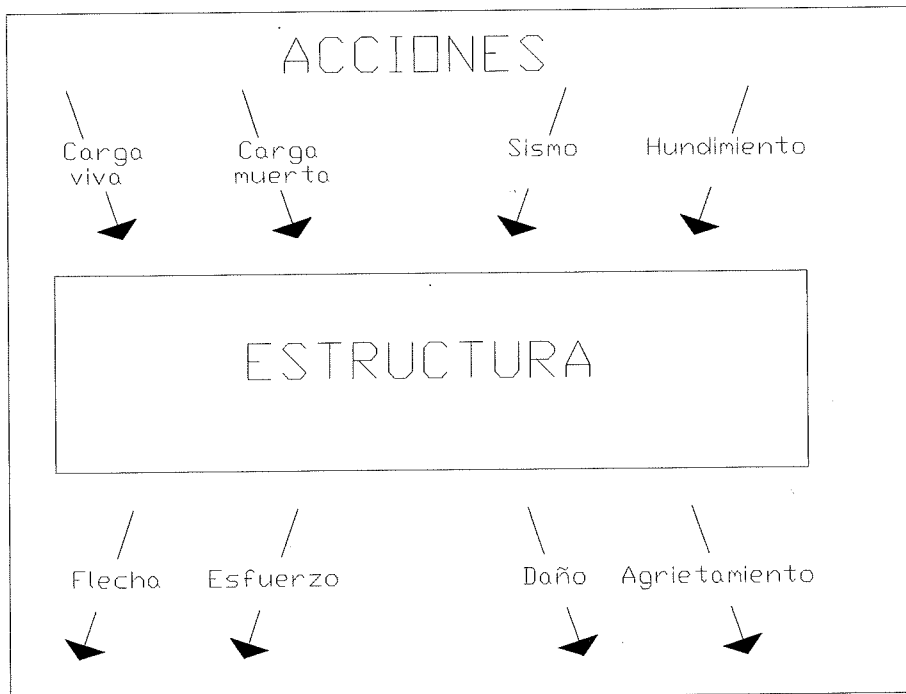


Figura 1.- Representación esquemática del mecanismo acción-respuesta (Meli, 1994).

Se llama estado límite de una estructura a cualquier etapa de su comportamiento a partir de la cual su respuesta se considera inaceptable. El relacionado con la seguridad se denomina estado límite de falla y corresponde a situaciones en las que la estructura sufre una falla total o parcial, o simplemente presenta daños que afectan su capacidad para resistir nuevas acciones.

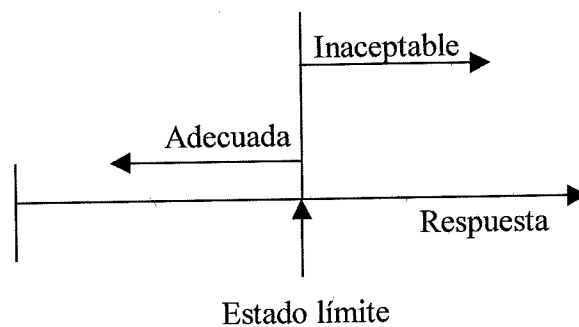


Figura 2.- Respuesta estructural y estados límite (Meli, 1994).

1.4 SEÑAL DE EXCITACIÓN

Los sismogramas presentan perturbaciones causadas por lo que se llama *ruido de fondo* (Figura 3). Este ruido suele ser de tipo muy diverso y depende en gran parte de la situación de la estación y del tipo de sismómetros usados. Las perturbaciones más frecuentes se deben a causas atmosféricas, electromecánicas y culturales.

Tradicionalmente el ruido ha sido considerado como algo negativo, molesto y que hay que cancelar o evitar. En la actualidad, lo que hasta hace pocas décadas era un estorbo en los estudios de propagación y atenuación de ondas sísmicas se ha convertido en una herramienta excelente para caracterizar los efectos locales y las propiedades dinámicas del lugar de registro y de las estructuras. Así pues, para los estudiosos de la vibración ambiental, el ruido es *la señal* y las ondas que lo integran se suelen llamar en inglés, "*microtremors*"; en castellano no hay uniformidad en el nombre aplicado y se usan con el mismo significado las palabras *microtemblores*, *microvibraciones*, *vibración ambiental* y *ruido cultural*. Fundamentalmente son vibraciones de muy pequeña amplitud y periodos menores a 10 s (Espinoza, 1999).

Las técnicas de vibración ambiental consisten en medir las vibraciones en las estructuras producidas por sollicitaciones del terreno de carácter ambiental, como lo son el viento y el tránsito de vehículos por lo que es un método simple y rápido en la obtención de datos (Fong, 1999).

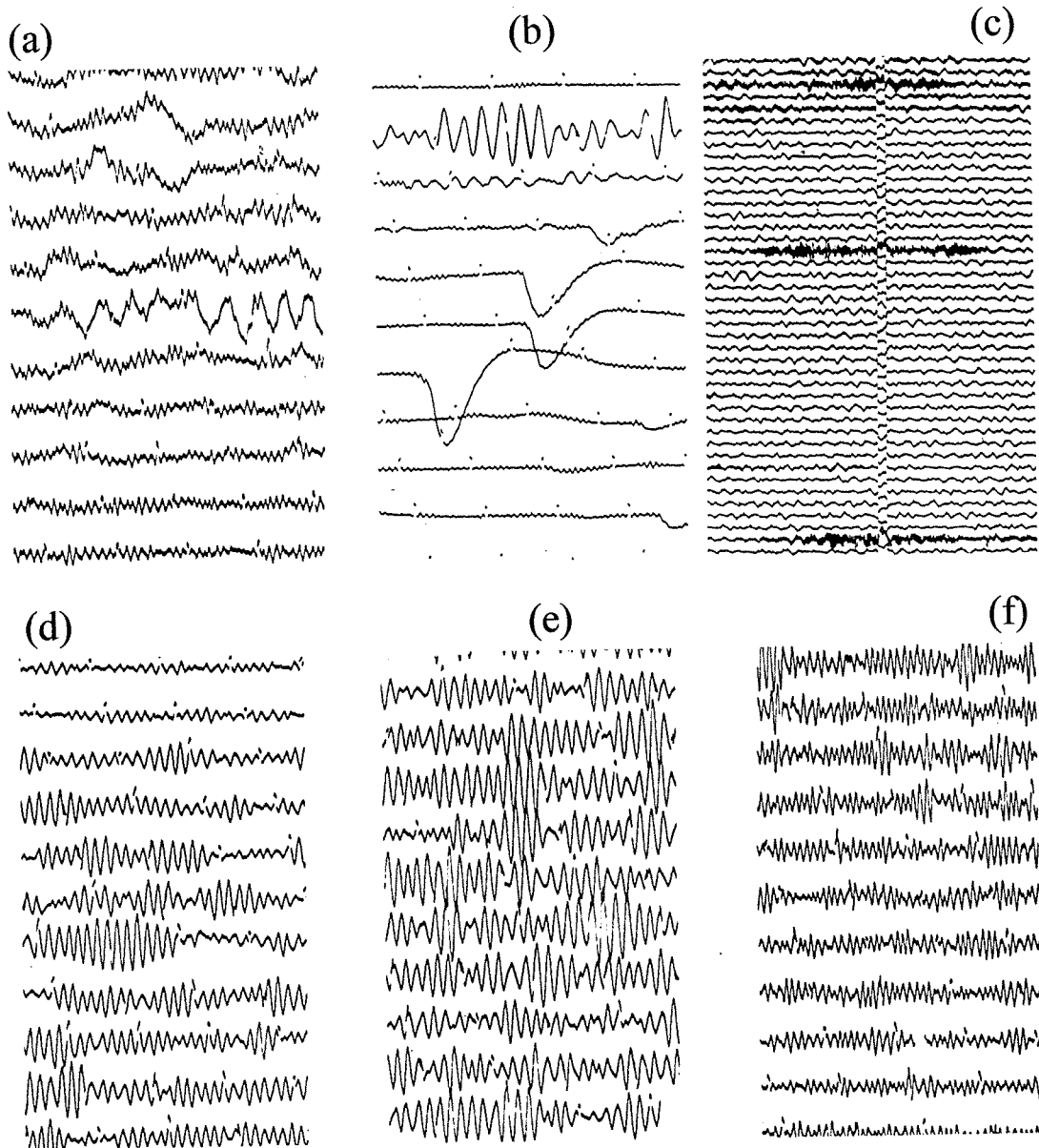


Figura 3.- Ruido de fondo presente en sismogramas y originado por diferentes causas: (a) viento, (b) mecánico, (c) cultural y (d), (e) y (f) microsismos (Payo, 1986).

1.5 OBJETIVOS DE MEDICIÓN CON VIBRACIÓN AMBIENTAL

Los objetivos que se persiguen al medir con vibración ambiental una edificación pueden dividirse en inmediatos, y aquellos que se alcanzan a mayor plazo y como consecuencia de los primeros.

El objetivo más cercano es obtener registros confiables del movimiento del terreno y de la construcción durante el proceso constructivo y su terminación. La meta final es ampliar considerablemente el conocimiento del comportamiento sísmico de las estructuras, con el fin de mejorar la forma en que se presentan (o modelan) durante el proceso de cálculo, y eventualmente contribuir a la modificación de los reglamentos de construcción.

La búsqueda de tales objetivos usualmente produce beneficios adicionales, principalmente cuando el edificio reciente daños de cierta consideración como resultado de la acción de un temblor. Estos beneficios se hacen más evidentes si se plantea en extremo opuesto: que ni el edificio ni en el terreno cercano existan aparatos que registren los defectos sísmicos. En tal situación, tal como sucedió en el Distrito Federal en 1957 y en 1985, la única información que se tiene es la totalidad de daños que presenta la estructura. Estas son las condiciones en que usualmente se ve obligado a trabajar quien se propone reparar una estructura dañada, muchas veces sin tener datos de los parámetros dinámicos fundamentales de la edificación, como son sus períodos naturales y los amortiguamientos asociados (Telmex, 1988).

Así, es claro que una proporción considerable de los proyectos de refuerzo de estructuras dañadas por sismo, sean poco más que intentos de restituir y mejorar la resistencia del edificio (en particular la de los miembros que experimentan los daños aparentes más espectaculares), y, en general, producir una estructura más robusta que cumpla con exigencias reglamentarias más severas. La falta de datos ni permite ni justifica mayor detalle, y es bien poco lo que, en general, pueda avanzar el conocimiento en cuanto a comportamiento dinámico de estructuras, más allá de las implicaciones más obvias de los daños observados.

En cambio, si una estructura tiene ya determinados sus registros cuando sufra daños, en los registros obtenidos se tendrá la evidencia de las aceleraciones a que esta sujeta la estructura. Es claro que con esta información la reparación o refuerzo de la estructura podrá desde un

principio dirigirse mejor, pues se tienen simultáneamente datos completos sobre las frecuencias del terreno y de efecto como los daños del edificio con sus nuevas frecuencias, lo cual, por otra parte, no debe interpretarse como que es trivial el esfuerzo requerido para aplicar los datos que se obtengan de las mediciones.

Es importante interpretar los registros que se obtienen en las mediciones encontrando los períodos de los principales modos naturales de oscilación del edificio. Con objeto de evaluar los parámetros dinámicos básicos se realizan mediciones antes de iniciar el proceso de refuerzo de una estructura dañada, y después de completar los trabajos. Esto permite:

- a) Evaluar la bondad del refuerzo en términos del cambio de los períodos naturales, y relacionar estos valores con lo que prescribe el Reglamento de construcción.
- b) Contar con los datos de los períodos antes de algún temblor importante, para compararlos con los que se midieran después, y de la diferencia deducir el posible deterioro, no necesariamente siempre visible, de la estructura.

1.6 REQUISITOS DE LA ESTRUCTURA

Para que sea ventajoso hacer mediciones con vibración ambiental que registren durante la edificación de la estructura, ésta debe satisfacer los siguientes requisitos mínimos:

- a) Que sea típica de las de una cierta clase, para que los beneficios derivados no se limiten a una sola estructura de diseño muy especial.
- b) Que se disponga de información detallada sobre las características del edificio, incluyendo planos, memoria de cálculo completa (que incluya cargas, criterios de diseño, estimaciones analíticas de los períodos de los modos principales de vibración y todos los demás elementos pertinentes), informes de los demás estudios realizados (por ejemplo de mecánica de suelos), etc. Si estos datos no están completos, no será fácil establecer un modelo analítico adecuado, y la utilidad de los registros disminuye drásticamente.
- c) Que haya seguridad para los instrumentos, o sea, que no se toquen sino por las personas que los operan, ni que se encuentre personal laborando en obra.

- d) La clase de suelo en que se encuentra y su cimentación sean las de mayor interés, y que sea de geometría y estructura lo más regular posible.
- e) Que sea posible tender cables de interconexión entre los diferentes sitios que ocupan los aparatos.

Algunos requisitos como la seguridad y la facilidad de acceso pudieran parecer triviales, sin embargo, si no se cumplen las mediciones no se pueden realizar adecuadamente.

1.7 REQUISITOS DE LA MEDICION

Los instrumentos que se utilizan para registrar los efectos dinámicos en una estructura deben también cumplir con ciertos requisitos, tanto en cantidad como calidad, para que los datos sean verdaderamente útiles al examinar la respuesta dinámica en términos de los modos de oscilación que contribuyen significativamente a la respuesta global del edificio. Algunos de los requisitos más importantes se tratan en los siguientes párrafos.

Para un edificio típico de menos de 3 pisos y características comunes en la ciudad de Ensenada (planta rectangular, cimentación a base de zapatas, trabes de liga, etc.), es necesario definir un mínimo de tres modos en flexión en cada dirección principal de acuerdo al Reglamento de la Ley de Edificaciones de Baja California (1992), en los cuales se observan movimientos de torsión y de traslación. Para esto se requiere el registro del movimiento a lo largo de la estructura en el centro y sus extremos. Este número total de sensores aumentará si se desea tener lecturas directas de ciertas variables, o si se pretende estudiar factores adicionales de importancia.

Una de las hipótesis simplificadoras de los procedimientos usuales de cálculo es que las losas de un edificio son infinitamente rígidas, y en tal virtud distribuyen las cargas sísmicas entre los marcos planos que las conectan de manera prácticamente perfecta.

Cabe destacar que para estudiar la evolución del movimiento y de las deformaciones en la estructura durante el tiempo que dura la medición, debe tenerse una buena sincronía entre los datos generados en diversos puntos de la estructura, de tal manera que todos los acelerogramas obtenidos sean directamente comparables. Esto requiere registro centralizado con marcas precisas de tiempo, o que dichas marcas sean comunes a todos los registradores, por lo que se deberán enviar a todos los aparatos distribuidos en el edificio. Las ventajas relativas de cada uno de estos dos sistemas (registro centralizado, y aparatos dispersos pero con marcas de tiempo comunes) deberán examinarse cuidadosamente en cada aplicación.

Los errores que pueden cometerse al digitalizar registros analógicos hacen que se pierda la precisión de las marcas de tiempo, excepto cuando se usan máquinas de digitalización totalmente automáticas y procedimiento verdaderamente refinados como los que se usa en California el U.S. Geological Survey. Por esta razón, también por la rapidez y la economía con que pueden manejarse los datos, es conveniente que el sistema de medición sea de registro digital (Telmex, 1988).

CAPÍTULO 2

VIBRACIÓN AMBIENTAL

En años recientes se ha extendido la medición con vibración ambiental como fuente de excitación del terreno, lo que ha permitido grandes avances en el conocimiento del movimiento que experimenta el terreno y de las grandes diferencias que tiene este movimiento por condiciones locales de topografía y propiedades del suelo. Algunos frutos se han tenido de la medición de los edificios, en parte porque el esfuerzo dedicado a este aspecto ha sido más reciente que al que se ha puesto en la medición del movimiento del terreno, y en parte porque la mayoría de los registros obtenidos son de movimientos de poca amplitud. Otros factores importantes son que en muchos casos no se contaba con información suficiente detallada de las propiedades del edificio, como para elaborar modelos refinados de su respuesta, y que la medición era muy limitada para que pudiera describir en forma completa la respuesta estructural. La medición con vibración ambiental como fuente de excitación en edificios y la interpretación de los registros de la respuesta después de sismos severos constituyen, probablemente, una de las líneas más productivas para mejorar los métodos de diseño sismorresistentes de edificios.

2.1 MEDICIÓN DE VIBRACIÓN AMBIENTAL EN EDIFICIOS

Una forma de empleo a corto plazo de los acelerogramas obtenidos en estructuras, consiste en comparar las aceleraciones máximas que se experimentan en el edificio antes y después de un temblor, con aquellos que se supusieron al diseñarlo, con frecuencia implícitas en las disposiciones sobre el diseño sísmico de los reglamentos de construcción. Un siguiente nivel de aprovechamiento podría ser, por ejemplo, el cálculo de deformaciones entre los puntos donde se situaron los aparatos en la estructura, lo cual requiere un procesamiento de datos ya algo más elaborado (TELMEX, 1988). Para llegar a la utilización completa de la información obtenida, se requieren procesos de análisis más complejos, como puede deducirse de la siguiente lista de “objetivos” (de la medición de vibración ambiental como fuente de excitación en edificios).

- Verificar qué tan apropiado es el modelo dinámico de diseño (ya sea de masas concentradas o de elemento finito) en el intervalo elástico.
- Correlacionar los daños con el comportamiento de la estructura.

- Determinar los parámetros del movimiento del suelo que se correlacionan bien con los daños asociados a la respuesta del edificio.
- Hacer recomendaciones para mejorar los reglamentos sísmicos.

Esta lista indica que la utilización realmente efectiva y completa de los datos de temblores en edificios no es simple ni rápida. Esto debe tomarse como una recomendación para hacer medición con vibración ambiental como fuente de excitación en edificios en lugares donde existe riesgo sísmico ya que es muy caro instrumentar los edificios.

Debe reconocerse que en México ya cuenta con la tecnología y se han hecho mediciones de vibración ambiental como fuente de excitación en edificios (Fong, 1999; Avila, 1997; Muriá y González, 1996; Muriá, 1993; Mendoza et al, 1991).

En un trabajo sobre la determinación de las características dinámicas de las estructuras, Espinoza (1999) presenta los principales objetivos del análisis de la respuesta dinámica de edificios usando vibración ambiental:

- *Control de calidad de una obra.* Medición en edificios recién construidos para contrastar los datos obtenidos con los valores teóricos utilizados en el diseño. Así se puede determinar si han habido modificaciones importantes entre el diseño y la construcción. Además los resultados obtenidos permiten tener un punto de comparación para mediciones futuras.
- *Control de daños causados por un sismo.* Medición en edificios después de un evento sísmico. Con esto se pretende determinar si ha habido daños estructurales importantes que sea necesario reparar.
- *Verificación de reparaciones o modificaciones.* Medición en edificios que hayan sido reparados o reforzados después de haber sufrido daños estructurales, con el objeto de verificar si se han restituido las características estructurales originales.
- *Control de una estructura durante su vida útil.* Medición periódica para determinar si ha habido algún deterioro estructural importante debido a eventos sísmicos menores, envejecimiento de los materiales, asentamientos del subsuelo, reparaciones, adaptaciones incorrectas o modificaciones estructurales realizadas por los propietarios.
- *Preinstrumentación de un edificio.* Antes de instrumentar un edificio para registrar los movimientos provocados por los sismos, es recomendable determinar mediante pruebas de vibración ambiental las características dinámicas de la estructura ya que éstas constituirán la referencia para monitorear dichas características, y además podrán servir de base para la ubicación de los instrumentos.

- *Calibración de modelos.* Utilizar las características estructurales identificadas de las mediciones para obtener modelos analíticos mas apegados a la realidad.

Además de las aplicaciones mencionadas anteriormente, este método permite disponer de grandes cantidades de datos para su procesamiento estadístico. Con todo, son desventajas del método las pequeñas amplitudes de la señal y la complejidad de los mecanismos de entrada del ruido en la estructura que se produce de forma combinada movimientos del terreno y del viento y con la actividad desarrollada en el interior del edificio (Espinoza, 1999).

En las siguientes secciones se describen someramente algunos estudios realizados en México incluyendo Baja California.

2.1.1 EDIFICIO MISSISSIPPI

El proyecto consistió en el reforzamiento estructural del edificio Mississippi ubicado en el valle de México, identificando las frecuencias características y formas modales del *primer modo* de deformación del edificio tanto en la dirección longitudinal como transversal con utilización de vibración ambiental, observando incrementos de la rigidez en la dirección transversal y longitudinal del edificio por el incremento en las secciones de las columnas de dos supermarcos extremos (Fong, 1999). El objeto en estudio es un edificio de la Comisión Federal de Electricidad de concreto reforzado de 15 niveles cuyo cajón de cimentación descansa sobre pilotes de fricción en un suelo calificado como de transición (Figura 4).

Es observado en el proceso de reforzamiento por etapas desde los niveles inferiores hasta los superiores como se van incrementando las rigideces de los mismos y la ventaja en tiempo, dinero y beneficios al observar el cambio de las características dinámicas de la estructura mediante la aplicación de vibración ambiental. Debe enfatizarse que la aplicación de este método queda limitada al comportamiento lineal de las estructuras para desplazamientos de pequeña magnitud (Fong, 1999).

La rigidez del edificio con respecto a su condición inicial aumenta después del reforzamiento un 35% en la dirección longitudinal y un 28% en la dirección transversal. En la Figura 5 se muestra la variación del periodo en ambas direcciones durante algunas etapas del reforzamiento.

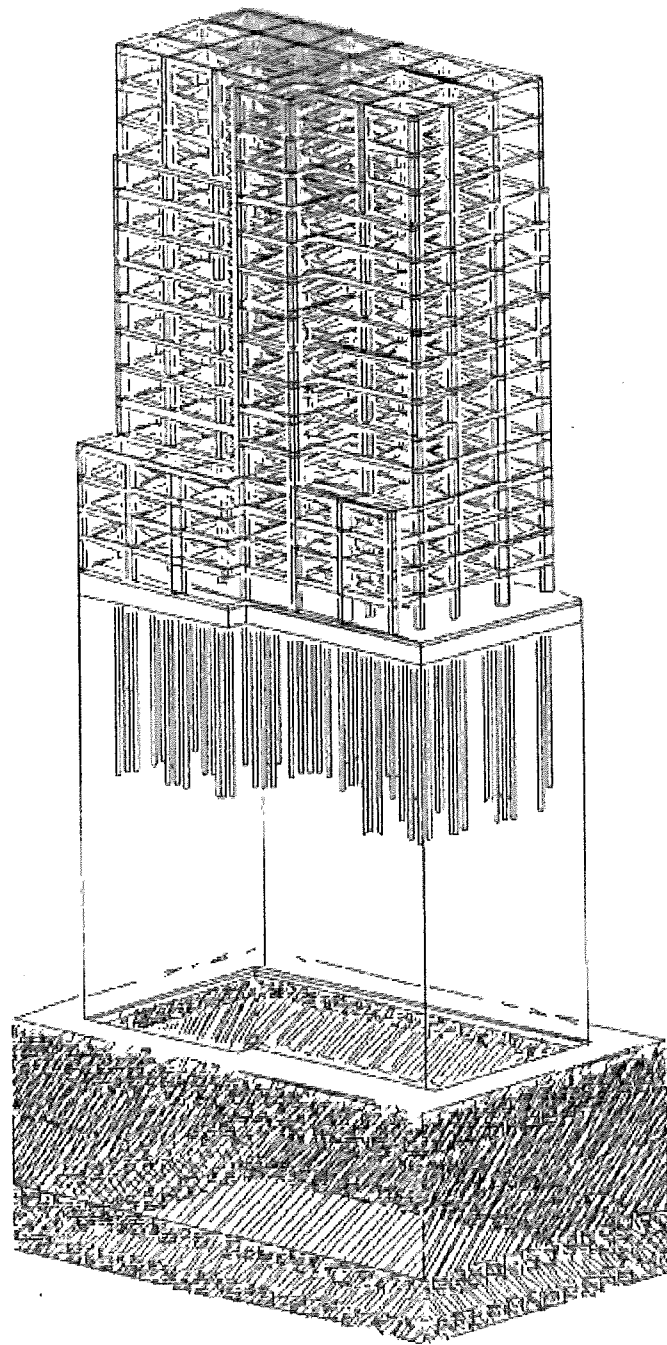


Figura 4.- Vista en 3D del edificio Mississippi (Fong, 1999).

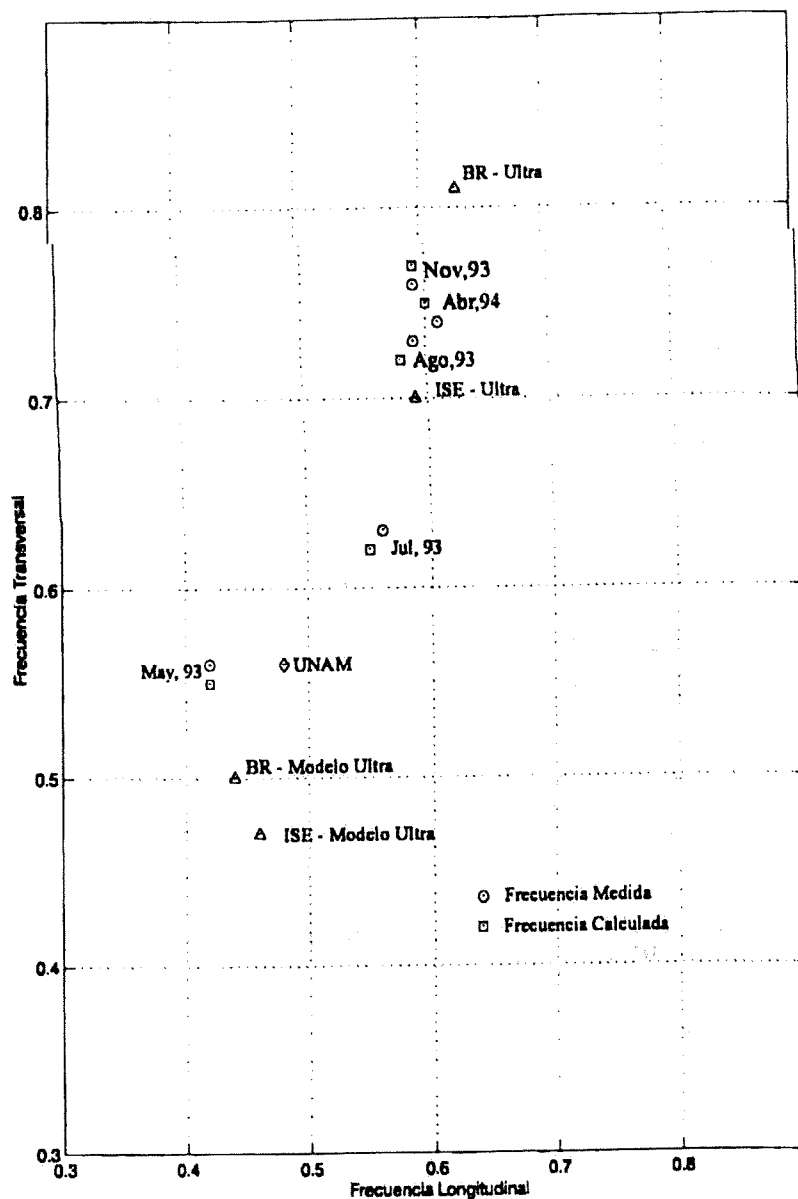


Figura 5.- Valores de la frecuencia del periodo fundamental del edificio Mississippi, medidos con vibración ambiental y calculados según el modelo ULTRA base rígida e interacción suelo estructura (Fong, 1999).

2.1.2 HOSPITAL GENERAL DE MEXICALI

El Hospital General de Mexicali es una torre de concreto reforzado de ocho niveles circundada por una estructura de concreto reforzada de un nivel (Figura 6). Fue dañado a raíz de

sismos el 23 y 24 de noviembre de 1987, fue reparado y continuó sufriendo una serie de eventos sísmicos.

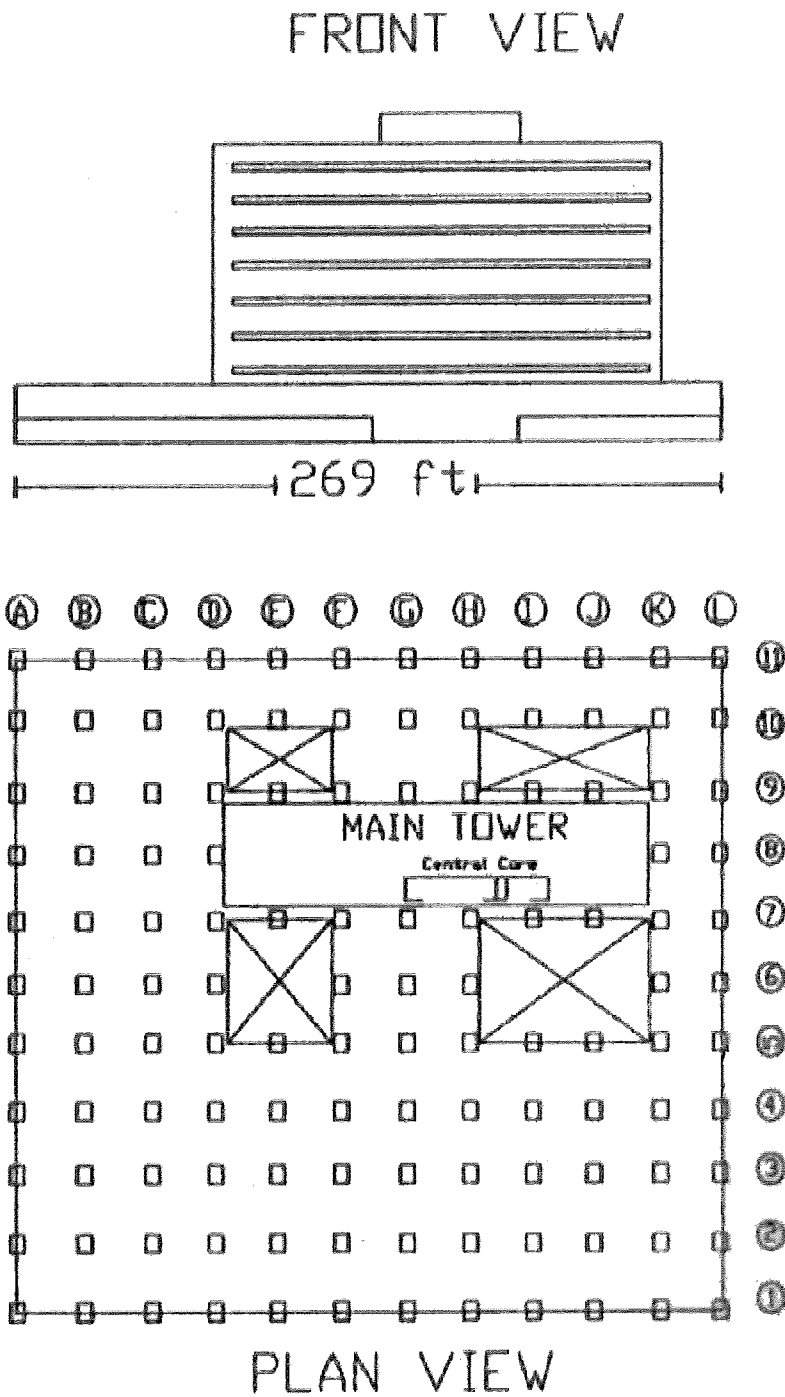


Figura 6.- Vista frontal y en planta del Hospital General de Mexicali (Avila, 1997).

Se utilizó vibración ambiental para identificar cambios en las propiedades estructurales debido a los sismos subsecuentes y verificar los efectos de las medidas de reforzamiento en la respuesta estructural. Se hizo un análisis espectral para determinar la frecuencia característica torsional y en las direcciones longitudinal y transversal. También se calculó la respuesta estructural utilizando un programa de elementos finitos, el SAP90 (Mendoza et al, 1991; Avila, 1997).

En diversas mediciones se observó que la estructura adyacente al edificio y los elementos de relleno (paredes) contribuían en el aumento de la rigidez de la estructura. Con esto se deduce que las paredes traen un beneficio en la respuesta estructural ante un sismo, pero si estas son débiles puede alterarse drásticamente la respuesta estructural atrayendo fuerzas a las partes de la estructura que no se han diseñado para resistirlas (Avila, 1997).

El uso del modelo matemático del edificio conjuntamente con los datos observados del mismo demostraron ser una herramienta adecuada en la identificación de las características de esta estructura.

2.1.3 EDIFICIO JALAPA

Es un edificio de concreto reforzado compuesto de una estructura principal de 14 niveles con un apéndice y otra anexa de tres niveles (Figura 7). Está desplantado en suelo blando en la Ciudad de México.

La frecuencia dominante del suelo donde está desplantado el edificio es 0.50 Hz y las frecuencias de los primeros modos naturales de vibrar en las componentes transversal, longitudinal y rotacional fueron 0.44, 0.73 y 0.83 Hz, respectivamente. (Muriá y Moreno, 1993). Esto indica que la frecuencia fundamental transversal del edificio y el suelo están prácticamente en resonancia.

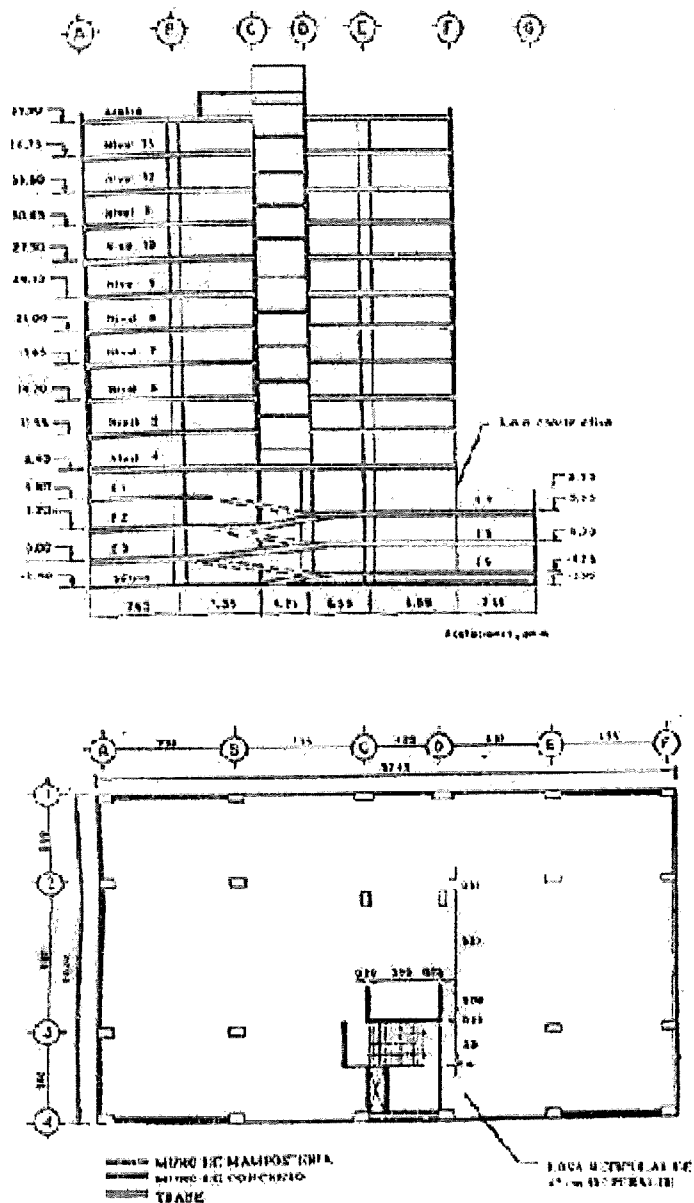


Figura 7.- Corte transversal del edificio y planta tipo de los niveles de oficina (Muría y Moreno, 1993).

2.2 MODELOS DE EDIFICIOS

Debido a las incertidumbres que se tiene del comportamiento dinámico real de los sistemas estructurales y de los modelos matemáticos que lo idealizan, se han llevado a cabo una serie de investigaciones durante los últimos años con base en análisis de identificación de

sistemas utilizando registros sísmicos captados de varias estructuras instrumentadas (Pérez, 1995).

El estudio de la respuesta dinámica en los edificios es un problema directo, es decir, se desarrollan modelos matemáticos con base en programas de análisis estructural y se emplean registros experimentales de aceleración para utilizarlos como excitación en la base del modelo. Después de hacer el análisis estructural, se comparan las respuestas del modelo con las experimentales, y si la correlación es buena se considera el modelo adecuado, de lo contrario éste se modificará a partir de consideraciones de análisis congruentes con la estructura, sin forzarlo ni ajustar ningún valor, hasta lograr una correlación adecuada. Este proceso en ciertas ocasiones conduce a diferencias significativas en algunos parámetros, de ahí la importancia de abordar otras alternativas para identificar las características estructurales del sistema.

Aún se tienen grandes incertidumbres en la estimación de los parámetros estructurales con base en las formulaciones propuestas por los códigos de construcción para estructuras sismorresistentes. Los efectos con mayor incertidumbre son los relacionados con la interacción suelo-estructura, la torsión, la degradación de rigidez y resistencia y la contribución de los elementos no estructurales, como se ha evidenciado en el comportamiento estructural durante los últimos eventos sísmicos ocurridos en diferentes partes del mundo (Pérez, 1995), por lo tanto es difícil definir modelos estructurales exclusivamente con un planteamiento teórico debido a todas las incertidumbres existentes, tanto de la estimación de los parámetros como del comportamiento real de los sistemas estructurales. Para contrarrestar lo anterior se utilizan diversas técnicas de identificación de sistemas para obtener los parámetros estructurales y evaluar el comportamiento de las estructuras.

El análisis paramétrico en el análisis estructural surgió de la necesidad de interpretar registros sísmicos de edificios. Este tipo de análisis utiliza un problema inverso al convencionalmente utilizado en el análisis estructural, es decir los modelos matemáticos se alimentan con respuestas experimentales registradas en los sistemas estructurales, con el fin de calcular los parámetros que rigen dicho comportamiento.

La aplicación de estas técnicas de identificación se ha incrementado mucho durante los últimos años en el área de la ingeniería estructural para tener una descripción mas adecuada de las estructuras y de sus propiedades dinámicas, y así poder estimar las respuestas reales de los edificios sujetos ante diferentes tipos de excitación (Pérez, 1995).

CAPÍTULO 3

EDIFICIO EN ESTUDIO

El estudio se realizó en uno de los edificios de la Escuela de Contabilidad y Administración de la Universidad Autónoma de Baja California (campus Ensenada), construido en 1995 (Figura 8).

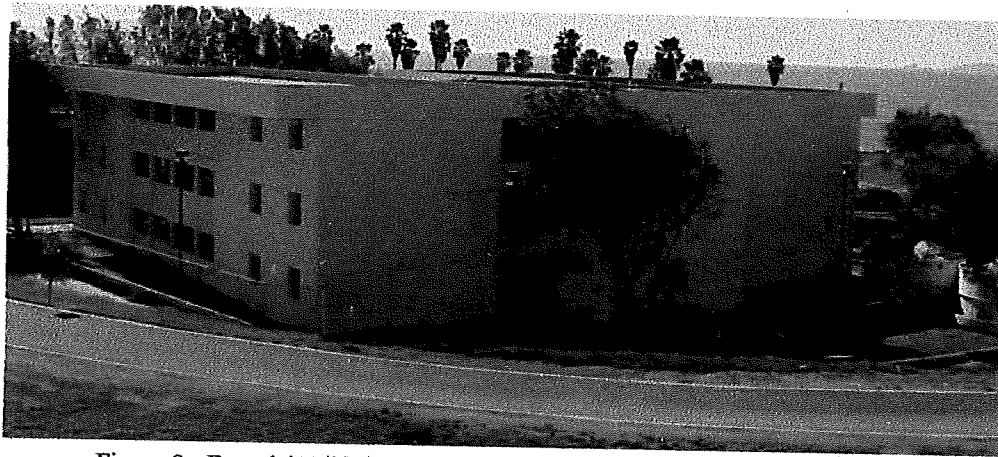


Figura 8.- Foto del Edificio de la Escuela de Contabilidad y Administración.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio es de concreto armado y consta de cuatro módulos, dos de aulas, uno de servicios sanitarios y escaleras y otro de terrazas (Figura 9). El estudio se centra en uno de ellos, al que se le llama módulo A y que tiene las siguientes características: es una estructura porticada con losas de concreto y muros de cortante, de tres niveles y 18 aulas, 6 por cada nivel.

Las dimensiones horizontales del módulo A son 32.40 m en la dirección longitudinal y 8.00 m en la transversal (10.20 m incluyendo el pasillo en voladizo). Su altura es de 9.55 m siendo 3.21 m de cada uno de los dos primeros niveles y 3.13 m del tercero (Figura 10). Tiene sistema de piso de losa de concreto armado, con columnas y vigas del mismo material. Sus plantas son regulares, cuenta con muros divisorios de concreto armado y muros ligeros; en sus colindancias hay muros de concreto armado con detalle de muro exterior de block de 15X20X40

cm, refuerzo horizontal en block dala @ 7 hiladas con 2 Vs#3 + #2 @ 20 cm. Su estructura (excepto losas) se muestra esquemáticamente en la figura 10.

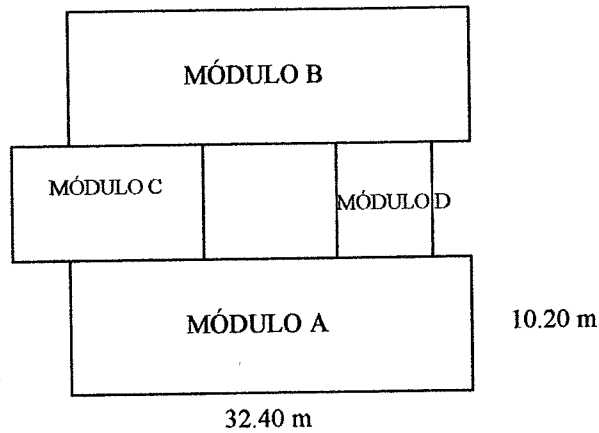


Figura 9.- Esquema de los cuatro módulos del edificio de la Escuela de Contabilidad y Administración.

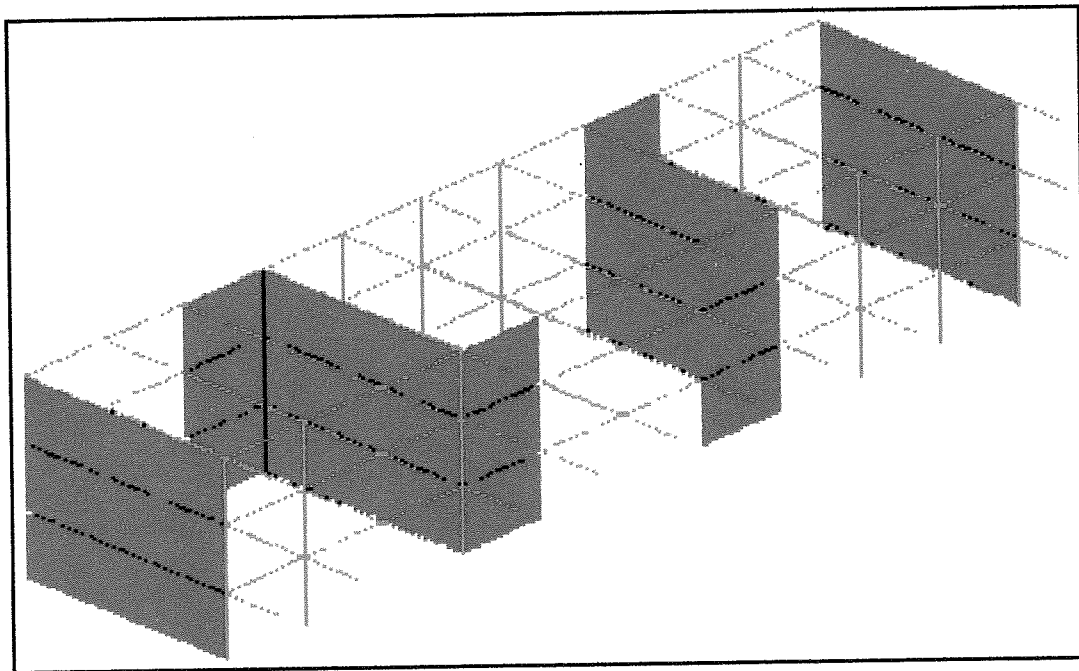


Figura 10.- Sección tridimensional del MÓDULO A. En color azul se muestran los muros de corte y en color rojo trabes y columnas.

3.2 CIMENTACIÓN

La cimentación esta formada por zapatas aisladas desplantadas sobre estratos (Sección 3.3) tipo "SC" (Arenas arcillosas, mezclas de arenas y arcilla) o "GC" (Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y limo) que tienen una capacidad de carga de 15 ton/m, lo cual significa que las zapatas podrán tener diferentes niveles de desplante quedando cimentado el módulo A sobre estratos "SC" a una profundidad de 2.40 m y 3.50 m con un recubrimiento mínimo de 7 cm, con muro de concreto, contratrabes y trabes de liga en la cimentación (Figura 11).

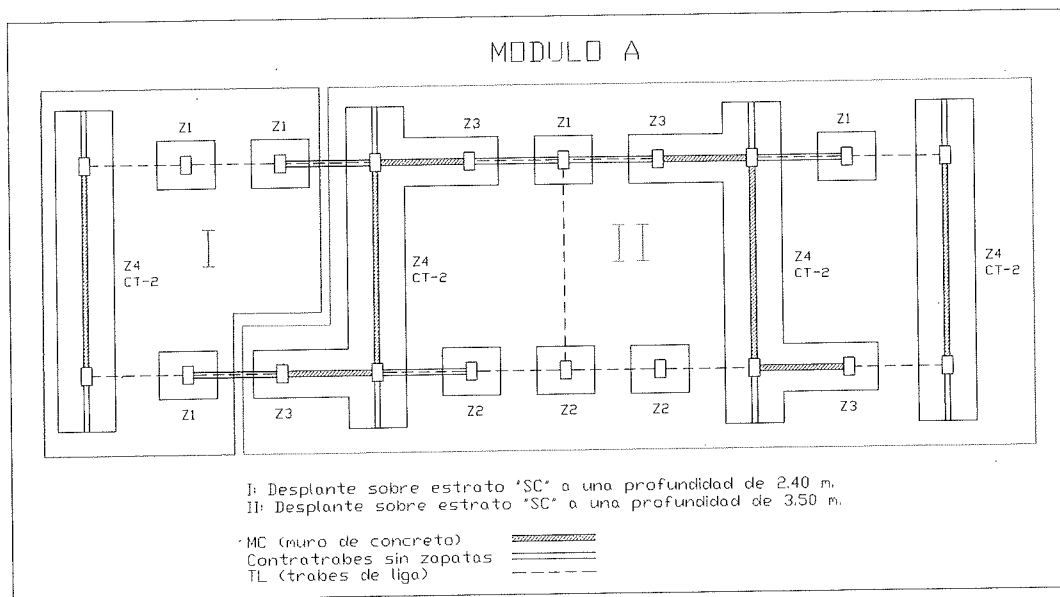


Figura 11.- Esquema de la cimentación del MÓDULO A. con sus niveles de desplante.

3.3 ESTRATIGRAFÍA DEL SUELO DE CIMENTACIÓN

Básicamente el módulo A esta desplantado en un tipo de estrato (Figura 12) que es el "SC"(Arenas arcillosas, mezclas de arenas y arcilla) con una capacidad de carga de 15 ton/m², y un recubrimiento mínimo promedio de 7 cm (Franco, 1995) .

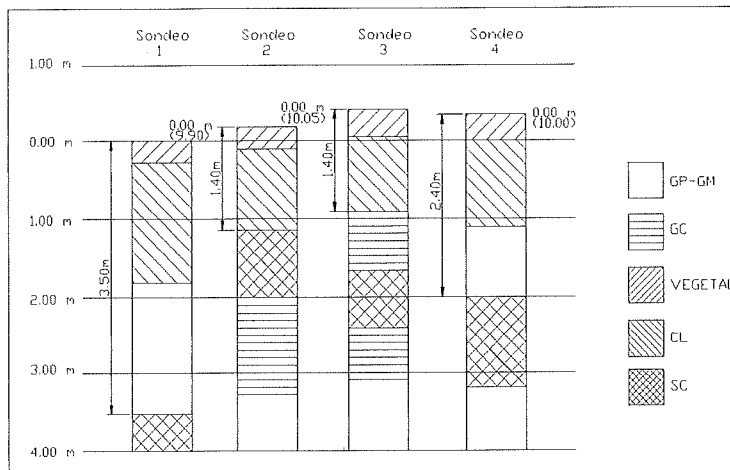


Figura 12.- Estratigrafía del suelo de desplante del edificio GP-GM (gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos; gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo), GC (gravas arcillosas, mezcla de grava, arena y arcilla), CL (arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres, SC (arenas arcillosas, mezclas de arenas y arcilla).

3.4 MEMORIA DE CÁLCULO

Se considera que el sistema de piso de la estructura tiene capacidad para comportarse como diafragma rígido, por lo cual se tomó en cuenta el efecto de torsión sísmica en la distribución de los elementos resistentes de la estructura (Franco, 1995).

Franco (1995) obtiene las fuerzas cortantes mediante un análisis sísmico por el método estático, utilizando para este cálculo los espectros de diseño que marcan las “Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones (CAPFCE, 1988)”.

La zona sísmica, el tipo de estructura, el tipo de suelo y el factor de ductilidad asociados a la estructura, sirven para determinar el coeficiente sísmico. Los valores correspondientes se obtienen con el reglamento del CAPFCE (Franco, 1995) y se comparan (Tabla 1) con el Reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California (1992).

	CAPFCE	BC
Grupo constructivo	A	A
Zona Sísmica	C	C
Tipo de Estructura	I y II	I y II
Tipo de Suelo	II	II
Coefficiente Sísmico	$C_s = 0.48$	$C_s = 0.30$
Coefficiente Sísmico aumentado por grupo de construcción	$C_s = 1.5 \times 0.48 = 0.72$	$C_s = 1.5 \times 0.30 = 0.45$
Factor de Ductilidad	3	2
Coefficiente Sísmico reducido por ductilidad	$0.72/3 = 0.24$	$0.45/2 = 0.28$

Tabla 1.- Comparación del coeficiente sísmico y el factor de ductilidad para el MÓDULO A.

El cálculo del periodo fundamental de la estructura permite reducir el coeficiente sísmico de acuerdo con el espectro de diseño (Figura 13). En el caso del edificio que nos ocupa, el periodo fundamental se calculó con la Fórmula de Rayleigh obteniéndose los periodos de la Tabla 2 (Franco, 1995), periodos que se aumentan (33%) al tomarse el valor más desfavorable según el reglamento de BC (apéndice 2) y permiten estimar el coeficiente sísmico que posteriormente se aumenta por el grupo constructivo siendo este valor en promedio menor que el de la Tabla 1.

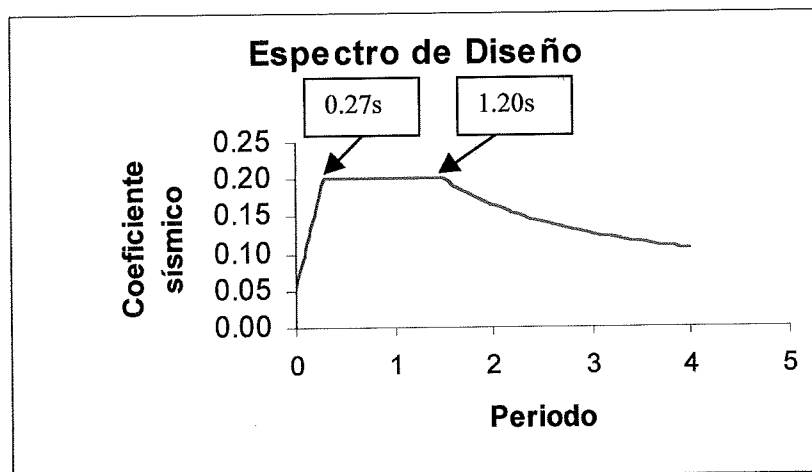


Figura 13.- Espectro de Diseño de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California (1992) correspondiente a suelo tipo II y zona B.

Determinación del Periodo Fundamental

Dirección	P	1.33 P	Cs	1.5 Cs
longitudinal	0.14 s	0.19 s	0.31	0.47
transversal	0.09 s	0.12 s	0.24	0.35

Tabla 2.- Valores de periodo fundamental en las direcciones longitudinal (x) y transversal (y) del MÓDULO A, junto con el valor más desfavorable por la incertidumbre en el cálculo. En la cuarta columna se tiene el coeficiente reducido al utilizarse el espectro de diseño sísmico y la última columna contiene el coeficiente aumentado debido al grupo de construcción.

Para la estimación de las fuerzas sísmicas de diseño se calcula un factor de reducción por ductilidad en función del periodo fundamental según el artículo XCI.1 del Reglamento de BC (Apéndice 2). Franco (1995) utiliza un factor de reducción diferente

$$\text{Factor de reducción} = \frac{a}{Q'} \quad (\text{Reglamento de BC, 1992})$$

$$\text{Factor de reducción} = \frac{a/Q'}{c/Q} \quad (\text{Franco, 1995})$$

CAPÍTULO 4

MODELO

Debemos reconocer la importancia de la utilización de programas de elementos finitos para el cálculo de la respuesta de estructuras. Un error en el procedimiento, dimensionamiento, especificación, unidades o cualquier otro factor no adecuado al construir el modelo nos conduce a resultados alejados de la realidad. Para poder cubrir este objetivo es conveniente contar con la memoria de cálculo y planos estructurales donde se establecen cada una de las características de la estructura necesarias para la determinación del modelo.

4.1 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

El Apéndice 1 contiene el listado del archivo de datos que se utilizó como entrada al programa de elementos finitos el cual utiliza el Método de Análisis Dinámico de Superposición Modal (Wilson, 1995).

El primer planteamiento es indicar el nombre del archivo siguiendo el número de modos que se desean obtener. En este estudio sólo interesa el modo fundamental en cada dirección aunque se establecen en el modelo los seis primeros modos de vibración de la estructura, y de acuerdo con el Reglamento de la Ley de Edificación del Estado de Baja California (1992), artículo LXXXIX.2 (Apéndice 2) deben ser calculados los tres primeros modos de translación en cada dirección del análisis. Una manera de poder identificar el número de modos observables de una estructura es simplemente el relacionar el número de modos con el de niveles, que para este caso será de tres modos por ser tres niveles (Gómez, 1988).

Se establecen los grados de libertad con el número 0 o de restricción con el número 1, en los nodos de la estructura en los tres ejes (x , y , z) y en sus giros sobre esos ejes (rx , ry , rz). En la base se consideran restringidos los nodos en todas las direcciones trabajando la estructura como un péndulo invertido. La misma consideración se aplica al resto de nodos. En la Figura 14 se observa la totalidad de los nodos de la estructura.

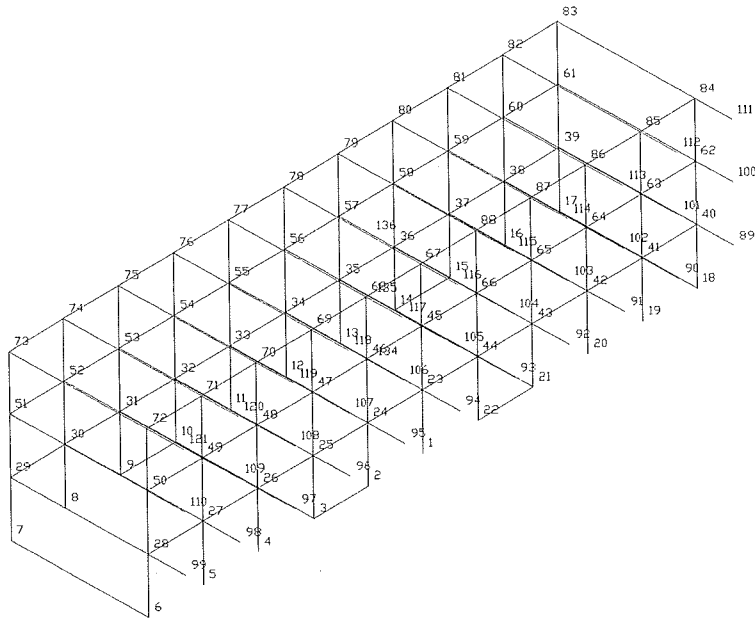


Figura 14.- Sección tridimensional del MÓDULO A donde se observan los nodos numerados.

Las propiedades de los materiales como su módulo de elasticidad, momento de inercia y dimensiones se introducen al programa con las unidades correspondientes en el Sistema Métrico Decimal o Sistema Internacional. La estructura se diseñó con dos diferentes tipos de sección de viga en la azotea y dos en entrepisos mientras que se utilizó un solo tipo de columna (Figura 15). En la Figura 16 se presentan numerados todos los elementos que integran el modelo.

Cuando se analiza el muro de cortante se usa el módulo de elasticidad del concreto mas una fracción debido al acero obteniendo un módulo de elasticidad mayor, lo cual significa una mayor rigidez estructural de los muros de corte ($E_c + 0.4E_c$) (Singer y Pytel, 1982; Franco, 1995), por lo que el módulo de elasticidad del muro de corte es igual a $E_c + 0.4E_c = 238752 + (0.4)238752 = 334253$ siendo las unidades kg/cm^2 . En la Figura 17 se muestran los muros de cortante del modelo.

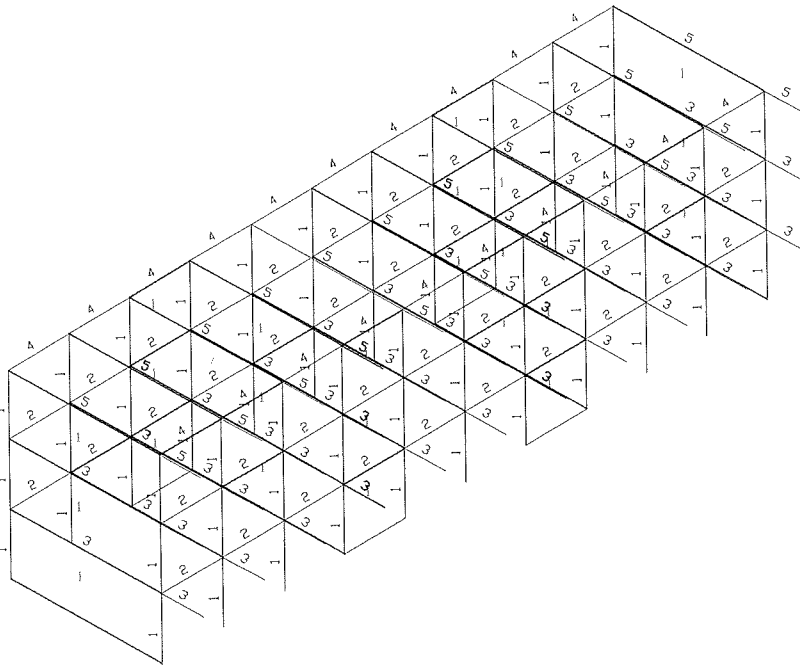


Figura 15.- Sección tridimensional del MÓDULO A donde se muestran los elementos estructurales caracterizados con números (Apéndices 1 y 3). El número de vigas y columnas en color negro y de muros de cortante en color azul.

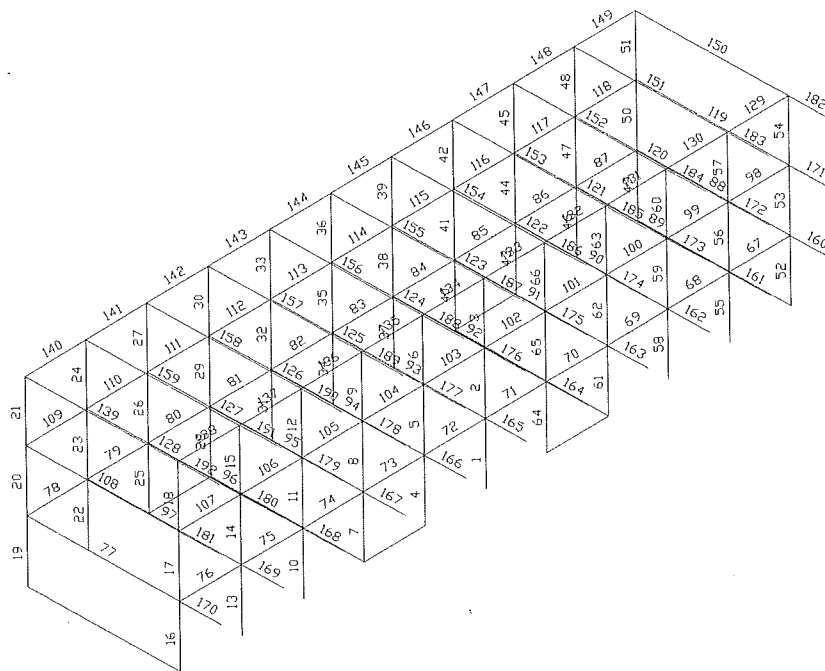


Figura 16.- Sección tridimensional del MÓDULO A donde se muestran los elementos numerados del modelo.

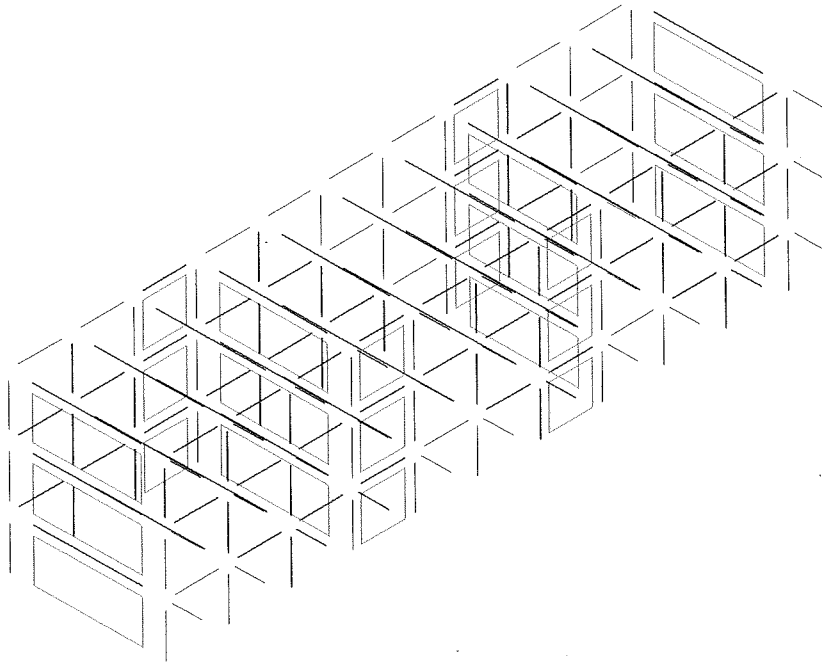


Figura 17.- Muros de corte de la estructura.

Para el análisis dinámico, la masa de la estructura se ubicó en tres nodos maestros (Figura 18) al centro de gravedad de las losas en cada nivel. Se establecieron conjuntamente las dimensiones de los muros de corte y las características de los voladizos de entrepiso y azotea modelándose los muros de cortante como placas (SHELL).

Al ejecutar el programa de cálculo se observó el comportamiento dinámico de la estructura ante un evento sísmico obteniéndose de entre todos los resultados proporcionados por el programa de cálculo, el periodo fundamental de la estructura en ambas direcciones, longitudinal y transversal (Tabla 3).

Con esto se puede decir que la rigidez del sistema de pórticos con muros de cortante es mayor en la dirección transversal lo cual se corrobora con el cálculo de la rigidez (Tabla 4).

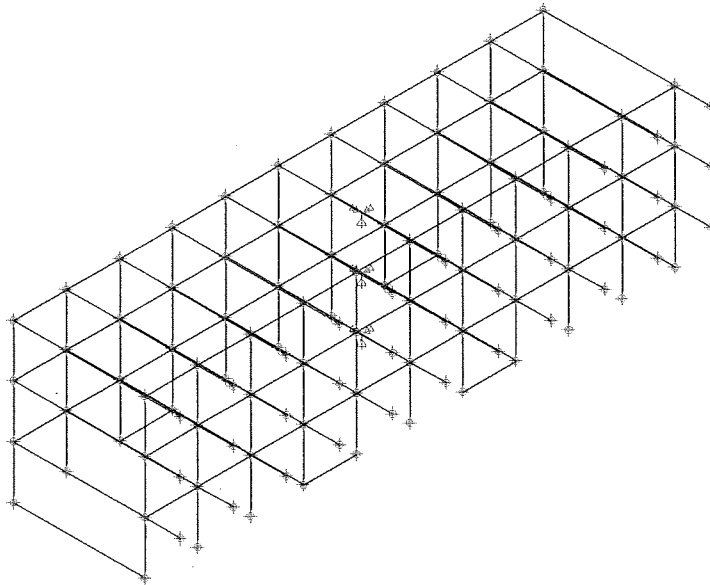


Figura 18.- Sección tridimensional del MÓDULO A con nodos en color azul y centros de masas (nodos maestros) en color rojo.

Dirección	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)
Longitudinal	0.11	8.99
Transversal	0.08	12.32

Tabla 3.- Periodo fundamental y frecuencia del modelo en las direcciones longitudinal y transversal.

NIVEL	RIGIDEZ (kg/cm)	
	LONGITUDINAL	TRANSVERSAL
1	6 578 315	11 161 673
2	2 127 136	6 756 337
3	986 700	4 231 508

Tabla 4.- Rigideces en cada nivel y dirección (Franco, 1995).

CAPÍTULO 5

INSTRUMENTACIÓN

Es importante hacer una correcta elección de los instrumentos (equipo) a utilizar en el trabajo de la ingeniería sísmica debido a que esta ligado a las frecuencias características del sitio. Así mismo es importante tener en cuenta la amplitud del movimiento del suelo o de la estructura que se quiere medir, para seleccionar el instrumento con ancho de banda y rango dinámico adecuados al tipo de señal que queremos analizar. El equipo utilizado para medir el edificio en estudio fue proporcionado por el CICESE.

5.1 INSTRUMENTOS

Se utilizaron sensores Kinematics WR-1 (Figura 19), que miden velocidad y aceleración. En este trabajo se utilizaron como acelerómetros. Sus características se muestran en la Tabla 5.

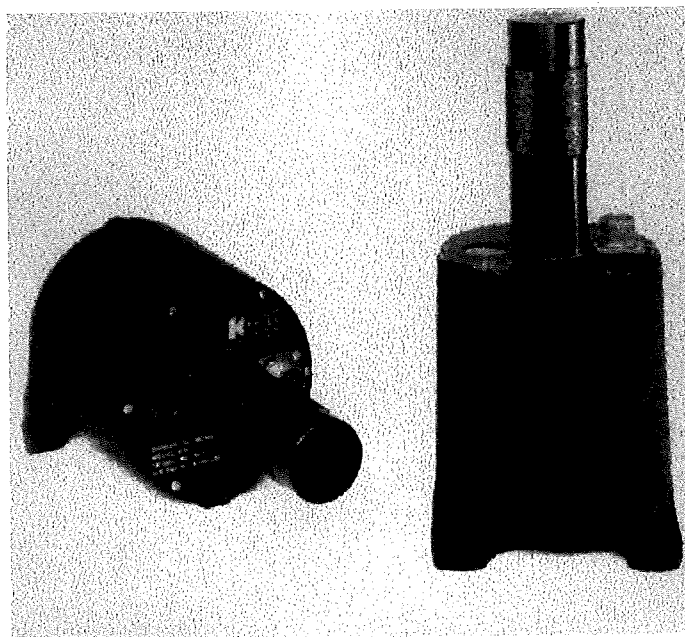


Figura 19.- Acelerómetro WR-1 (Kinematics, 1994).

Ancho de banda	0.05 a 20 Hz (0.02 a 20 Hz opcional)
Frecuencia natural	20 Hz
Rango dinámico	125 db (0.01 a 10 Hz)
Peso	5 kg (10.9 lb)
Temperatura de trabajo	-20 a 70 °C (0 a 160°F)

Tabla 5.- Características del Acelerómetro WR-1 (Kinematics, 1994).

Además se utilizó un registrador Kinematics SSR-1 (Figura 20), de tres canales con la posibilidad de expandir a seis canales, teniendo un proceso de adquisición de datos más rápido y con más libertad de registrar en diferentes puntos de la estructura. En la Tabla 6 se mencionan algunas de sus especificaciones.

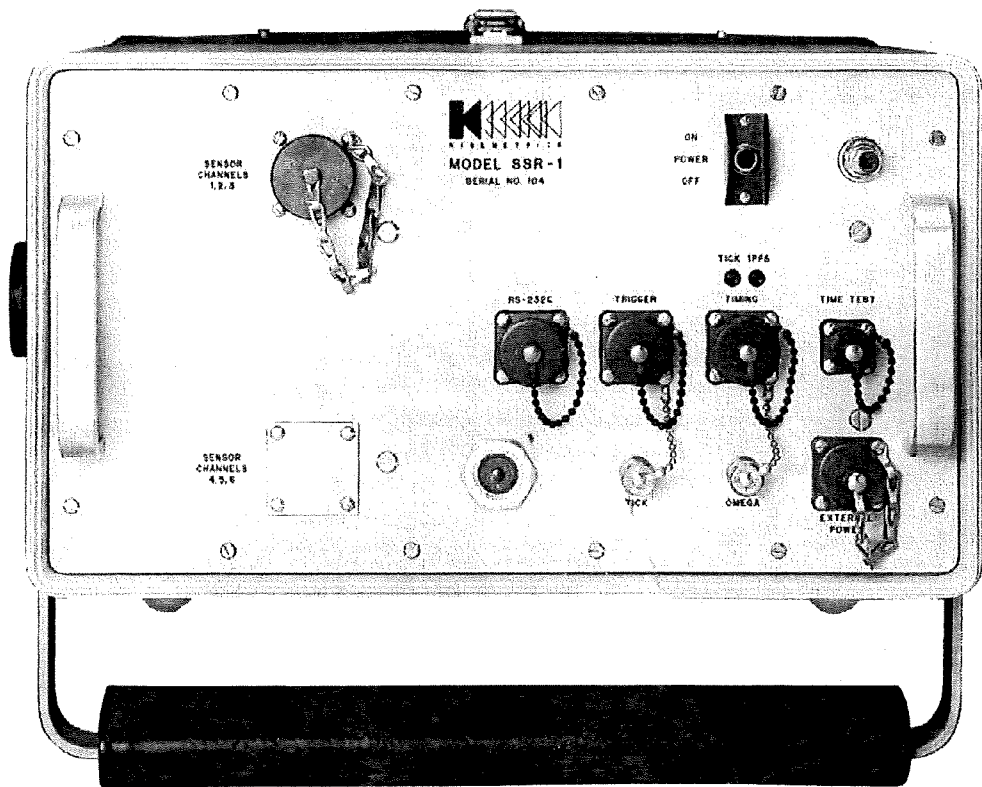


Figura 20.- Registrador tipo SSR-1 (Kinematics, 1993).

Número de canales	3 con opción a 6
Razón de muestreo	1000 muestras por segundo para un canal 500 muestras por segundo para tres canales 200 muestras por segundo para seis canales
Filtro	0.01 Hz
Capacidad de grabación	14 minutos de 200 muestras por segundo con tres canales
Convertidor de resolución	96 db (16 bits)
Rango dinámico	96 db (16 bits)
Peso	17 kg (37 lbs)
Temperatura de trabajo	-20 a 65 °C

Tabla 6.- Características del registrador SSR-1 (Kinematics, 1993).

5.2 LOCALIZACIÓN DE LOS SENSORES

La aceleración se mide en la losa de azotea y firme. Se colocan tres sensores en las direcciones longitudinal, transversal y vertical en el centro geométrico de la estructura (Figura 21).

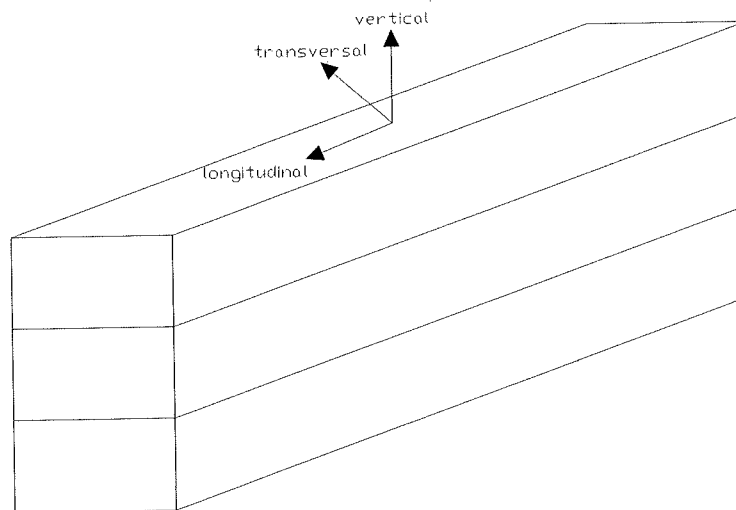


Figura 21.- Colocación de sensores en azotea y firme, en tres direcciones.

Una vez colocados los instrumentos se toman las muestras en intervalos de tiempo de tres minutos (Figura 22) y con una razón de muestreo de 100 muestras por segundo.

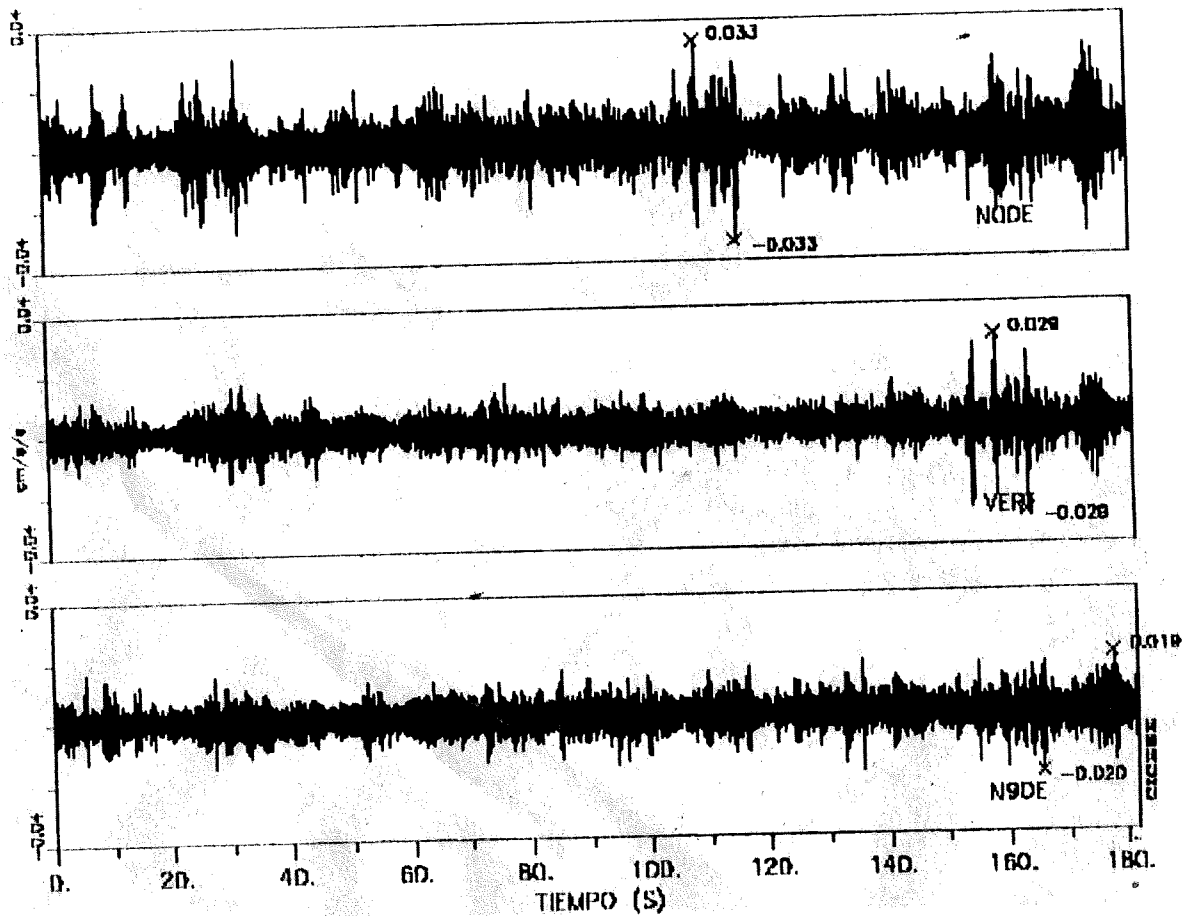


Figura 22.- Muestra de un registro de aceleración (Cosío, 2001).

5.3 MEDICIONES

Se aplica la transformada de Fourier a los registros de aceleración mediante un programa de graficado (Cosío, 2001) el cual filtra y suaviza el registro, mostrando así la frecuencia característica de la estructura en cada dirección (Figuras 23 y 24).

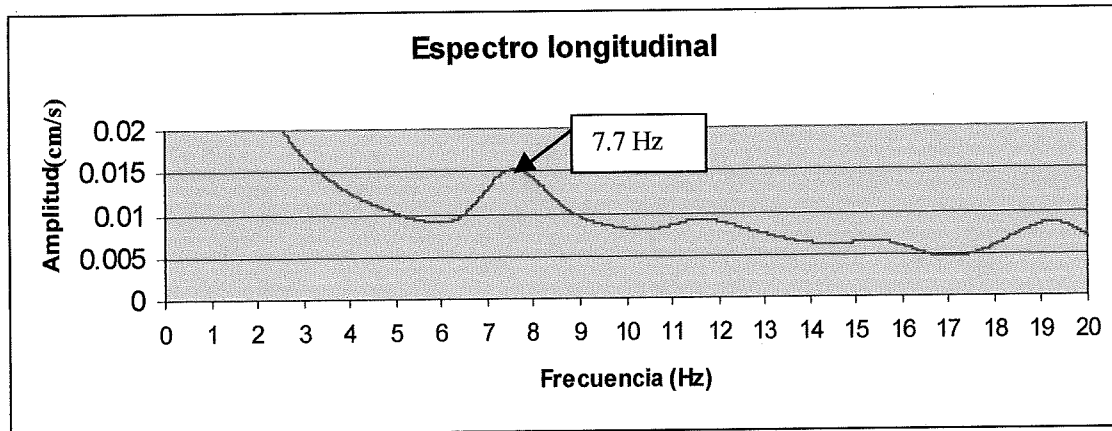


Figura 23.- Espectro longitudinal en la azotea.

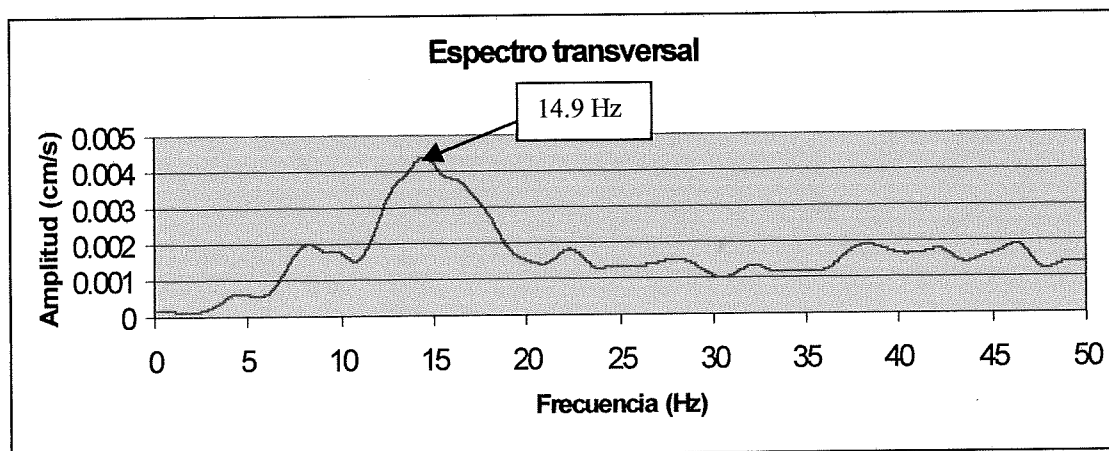


Figura 24.- Espectro transversal en la azotea.

CAPÍTULO 6

CÁLCULO DEL PERIODO FUNDAMENTAL

Para obtener las frecuencias propias de oscilación de los sistemas de más de un grado de libertad sometidos a una acción dinámica son necesarios una serie de cálculos que requieren información detallada y precisa de las características estructurales. Incluso utilizando métodos analíticos se suelen realizar simplificaciones razonables como por ejemplo suponer las masas concentradas al nivel de cada piso y usar métodos aproximados o fórmulas directas. Entre los métodos frecuentemente usados desde hace años, se encuentran los de Rayleigh, Dunkerley, Vianello-Stodola, H. Holzer, M.P. White, M.G. Salvadori, R.G. Merrit, G.W. Housner, R. Husid, M. Ifrim, el método simplificado Geiger, y el del Sistema Equivalente. Entre las fórmulas directas están las de Taniguchi, F.P.; Ulrich, D.S.; Carder, Rosenblueth, K. Nakagawa, M. Takeuchi, A. Arias, R. Husid, G.W. Housner, A.G. Brady, M. Baeza, H. Sandi, G. Serbanescu, J.S. Carmona. J.H. Cano, M. Ifrim y la de Rayleigh siendo esta última de las más utilizadas en las normas sísmicas (Espinoza, 1999).

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g \sum_{i=1}^N F_i X_i}{\sum_{i=1}^N W_i X_i^2}}$$

Fórmula de Rayleigh donde P es el periodo, W_i el peso del nivel i en ton, N número de niveles, X_i desplazamiento del nivel i debido a la fuerza F_i en cm, F_i fuerza de inercia al nivel i , g aceleración de la gravedad en cm/s^2 .

6.1 FÓRMULAS EMPÍRICAS

Además existe una gran cantidad de fórmulas empíricas incluidas en los códigos de cada país. En las Tablas 7 y 8 se presentan los cálculos del periodo fundamental del edificio en estudio

Determinación del periodo fundamental

en esta tesis. La diferencia entre los resultados se debe a que las fórmulas toman en cuenta las diferencias en materiales y procedimientos constructivos de cada país.

País	Fórmula	Longitudinal (s)	Transversal (s)
Cuba	$P = \frac{0.09h}{\sqrt{L}}$	0.14	0.29
Egipto	$P = \frac{0.09h}{\sqrt{L}}$	0.14	0.29
España	$P = 0.07N \sqrt{\frac{h}{L+h}}$	0.10	0.15
Estados Unidos	$P = 0.020h^{0.75}$	0.11	0.11
Filipinas	$P = 0.050h^{0.75}$	0.27	0.27
Francia	$P = \frac{0.08h}{\sqrt{L}} \sqrt{\frac{h}{L+h}}$	0.06	0.19
Israel	$P = 0.068h^{0.75}$	0.37	0.37
Perú	$P = \frac{0.05h}{\sqrt{L}}$	0.08	0.17
Portugal	$P = \frac{h}{6L}$	0.05	0.20
Puerto Rico	$P = \frac{h}{20\sqrt{L}}$	0.08	0.17
República Dominicana	$P = \frac{0.09h}{L}$	0.14	0.29
Tailandia	$P = \frac{0.09h}{\sqrt{L}}$	0.14	0.29
Taiwan	$P = \frac{0.09h}{\sqrt{L}}$	0.14	0.29
Venezuela	$P = \frac{0.09h}{\sqrt{L}}$	0.14	0.29

Tabla 7.- Periodo fundamental en las direcciones longitudinal y transversal calculados con fórmulas empíricas tomadas de las normativas mundiales (Espinoza, 1999).

Autor	Fórmula	Longitudinal	Transversal
Arias y Husid (1962)	$P = 0.024 H^{0.71} d^{-0.14}$	0.14	0.14
Takeuchi (1960)	$P = 0.08 + 0.02 H (1 - 4d)$	0.03	0.03
Seismology Committe Structural Engineers Association California (1960)	$P = 0.09 H B^{-0.5}$	0.15	0.30
Carydis y Mouzakis (1986)	$P = 0.046 H^{0.773} B^{-0.124}$	0.17	0.20

Tabla 8.- Periodo fundamental calculado con fórmulas empíricas de diversos autores (Durán et al, 1987).

6.2 FÓRMULA DE RAYLEIGH

El Reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California (1992) establece en su artículo 86.9 el uso de la fórmula de Rayleigh para el cálculo del periodo fundamental. Franco (1995) utiliza esta fórmula en la memoria de la obra. La Tabla 9 muestra los resultados calculados en el Apéndice 4.

Fórmula	Longitudinal	Transversal
Periodo calculado con la fórmula de Rayleigh	0.14 s	0.09 s
Periodo corregido usando espectro de diseño	0.19 s	0.12 s

Tabla 9.- Periodo fundamental calculado con la fórmula de Rayleigh (Reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California, 1992; Franco, 1995).

6.3 MÉTODO DE NEWMARK

Se calcula (Apéndice 5) el periodo fundamental con el método de Newmark (Gómez, 1988) obteniéndose los resultados de la Tabla 10.

Método	Periodo Longitudinal	Periodo transversal
Newmark	0.14 s	0.09 s

Tabla 10.- Periodo fundamental calculado con el método de Newmark (Gómez, 1988).

6.4 MEDICIONES CON VIBRACIÓN AMBIENTAL

El procesado para la obtención de las frecuencias características lo realiza Cosío (2001) resultando los espectros de Fourier de las Figuras 23 y 24 de donde se identifica el periodo fundamental mostrado en la Tabla 11.

	Periodo Longitudinal	Periodo transversal
Mediciones	0.13 s	0.07 s

Tabla 11.- Periodo fundamental calculado por Cosío (2001).

6.5 MODELO NUMÉRICO

La aplicación del programa de cálculo permite observar el comportamiento de la estructura en su modo fundamental. Los periodos obtenidos en cada dirección se muestran en la Tabla 12.

Modelo	Periodo Longitudinal	Periodo Transversal
Programa de Cálculo	0.11 s	0.08 s

Tabla 12.- Periodo fundamental calculado con el modelo numérico.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

El periodo fundamental identificado de la respuesta de la estructura se calculó por varios métodos (Tabla 13). El resultado obtenido con el modelo es aceptable en ambas direcciones habiendo mayor aproximación en la dirección transversal (13%) que el calculado con la fórmula de Rayleigh y el método de Newmark (22%). Estos dos últimos procedimientos proporcionan buena aproximación en la dirección longitudinal (7%).

Periodo (s)	Medición	Modelo	Rayleigh	Newmark
Longitudinal	0.13	0.11 (15%)	0.14 (7%)	0.14
Transversal	0.07	0.08 (13%)	0.09 (22%)	0.09

Tabla 13. Comparación del periodo fundamental calculados con el modelo, la fórmula de Rayleigh y método de Newmark con el medido experimentalmente. Entre paréntesis se muestra el porcentaje de aproximación.

Con la calibración del modelo numérico se tiene el conocimiento para modelar estructuras de concreto reforzado del tipo planteado.

A partir de esto se abren varias líneas de investigación a mediano plazo como el cálculo de torsión, amortiguamiento y del efecto de interacción suelo-estructura, además del análisis de las formas modales.

REFERENCIAS

Ambrose James y Vergun Dimitry, 1986. *Diseño Simplificado de Edificios para Cargas de Viento y Sismo*. Editorial Limusa, México, D.F.

Avila Jose de Jesus, 1997. *Effect of Retrofit on the Seismic and Ambient Vibration Response of the Mexicali General Hospital*. Tesis de Maestría, University of California, San Diego. Estados Unidos de América.

Cosío de la Rocha, José Jesús, 2001. *Procesamiento de Datos*. Tesis de Licenciatura en trámite. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, BC, México.

Creixell M. José, 1993. *Construcciones Antisísmicas y Resistentes al Viento*. Editorial Limusa, tercera edición, Universidad Autónoma de México, México, DF.

Crespo Villalaz Carlos, 1987. *Problemas Resueltos de Mecánica de Suelos y de Cimentaciones*. Editorial Limusa, primera edición, México, DF.

Espinoza Barreras Fortunato, 1999. *Determinación de Características Dinámicas de Estructuras*. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Durán M., Sáenz C. y Aguilar M., 1987. *Medición de Periodos Propios en Edificios de la Serena Mediante Vibraciones Ambientales*. Departamento de Obras Civiles, Universidad de la Serena, Chile.

Fong Mata Diana Leticia, 1999. *Identificación de las Propiedades Estructurales de un Edificio en la Ciudad de México Mediante Pruebas de Vibración Ambiental Realizadas Durante el Proceso de Reforzamiento*. Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Ensenada, BC, México.

Franco S. C., 1995. *Memoria de Cálculo de los edificios (4 cuerpos) U3-C tipo CAPFCE, para la Escuela de Contabilidad a edificarse en la Ciudad de Ensenada*. Editado por Salvador Franco Cárdenas, Ingeniero Civil. Mexicali, BC, México.

Gómez Tremari Raúl, 1988. *Fundamentos de Diseño y Construcción Sismorresistente*. Editado por la Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México.

Kinematics, 1993. *Instrumento Solid State Recorder SSR-1*. Folleto.

Kinematics, 1994. *Instrumento Wideband Ranger WR-1.* Folleto.

Meli Piralla Roberto, 1994. *Diseño Estructural.* Editorial Limusa, sexta reimpresión, Investigador del instituto de ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Mendoza L., Reyes A., y Lucó J.E., 1991. *Ambient Vibration Tests of the Mexicali General Hospital.* Earthquake Spectra, Vol. 7, No. 2, pp. 281-300.

Muriá-Vila D. y González Alcorta R., 1996. *Seismic Response of a Tall Building in México City.* 11 World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, México, paper No. 570.

Muriá Vila D. y Moreno Rubín de Celis S., 1993. *Identificación de las Propiedades Dinámicas Mediante Vibración Ambiental, el Edificio Jalapa.* Memoria del X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Puerto Vallarta, Jalisco, México.

Payo Gonzalo, 1986. *Introducción al Análisis de Sismogramas.* Monografías, Ministerio de la Presidencia, Instituto Geográfico Nacional. Madrid, España.

Pérez Roldan Jorge Humberto, 1995. *Desarrollo y Evaluación de Modelos Matemáticos Aplicando Técnicas de Identificación de Sistemas.* Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de México. México, DF.

Reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California, 1992. Periódico Oficial del Estado de Baja California, Tomo XCIX, No 21, 30 de Junio de 1992. Mexicali, BC.

Telmex (Teléfonos de México) 1988. *Reto Sísmico.* Editorial IDH. México.

Singer Ferdinand L. y Pytel Andrew, 1982. *Resistencia de Materiales.* Tercera edición, Harper y Row Publishers, Inc. Estados Unidos de América.

Wilson E. L., 1997. *Three Dimensional Dynamic Analysis of Structures with Emphasis on Earthquake Engineering.* Editado por Computers and Structures Inc. Berkeley, California, Estados Unidos de América.

APÉNDICE 1
MODELO NUMÉRICO
(ARCHIVO DE ENTRADA AL SAP90)

EDIFICIO DE AULAS DE CONTABILIDAD
SYSTEM

V=6

RESTRAINTS

1,22,1 R=1,1,1,1,1,1

23,133,1 R=1,1,1,1,1,1

134,136,1 R=0,0,1,1,1,0

JOINT

1	X=	1620.00	Y=	220.00	Z=	0.00
2	X=	1296.00	Y=	220.00	Z=	0.00
3	X=	972.00	Y=	220.00	Z=	0.00
4	X=	648.00	Y=	220.00	Z=	0.00
5	X=	324.00	Y=	220.00	Z=	0.00
6	X=	0.00	Y=	220.00	Z=	0.00
7	X=	0.00	Y=	1020.00	Z=	0.00
8	X=	324.00	Y=	1020.00	Z=	0.00
9	X=	648.00	Y=	1020.00	Z=	0.00
10	X=	972.00	Y=	1020.00	Z=	0.00
11	X=	1296.00	Y=	1020.00	Z=	0.00
12	X=	1620.00	Y=	1020.00	Z=	0.00
13	X=	1944.00	Y=	1020.00	Z=	0.00
14	X=	2268.00	Y=	1020.00	Z=	0.00
15	X=	2592.00	Y=	1020.00	Z=	0.00
16	X=	2916.00	Y=	1020.00	Z=	0.00
17	X=	3240.00	Y=	1020.00	Z=	0.00
18	X=	3240.00	Y=	220.00	Z=	0.00
19	X=	2916.00	Y=	220.00	Z=	0.00
20	X=	2592.00	Y=	220.00	Z=	0.00
21	X=	2268.00	Y=	220.00	Z=	0.00
22	X=	1944.00	Y=	220.00	Z=	0.00
23	X=	1620.00	Y=	220.00	Z=	320.00
24	X=	1296.00	Y=	220.00	Z=	320.00
25	X=	972.00	Y=	220.00	Z=	320.00
26	X=	648.00	Y=	220.00	Z=	320.00
27	X=	324.00	Y=	220.00	Z=	320.00
28	X=	0.00	Y=	220.00	Z=	320.00
29	X=	0.00	Y=	1020.00	Z=	320.00
30	X=	324.00	Y=	1020.00	Z=	320.00
31	X=	648.00	Y=	1020.00	Z=	320.00
32	X=	972.00	Y=	1020.00	Z=	320.00
33	X=	1296.00	Y=	1020.00	Z=	320.00
34	X=	1620.00	Y=	1020.00	Z=	320.00

35	X=	1944.00	Y=	1020.00	Z=	320.00
36	X=	2268.00	Y=	1020.00	Z=	320.00
37	X=	2592.00	Y=	1020.00	Z=	320.00
38	X=	2916.00	Y=	1020.00	Z=	320.00
39	X=	3240.00	Y=	1020.00	Z=	320.00
40	X=	3240.00	Y=	220.00	Z=	320.00
41	X=	2916.00	Y=	220.00	Z=	320.00
42	X=	2592.00	Y=	220.00	Z=	320.00
43	X=	2268.00	Y=	220.00	Z=	320.00
44	X=	1944.00	Y=	220.00	Z=	320.00
45	X=	1620.00	Y=	220.00	Z=	640.00
46	X=	1296.00	Y=	220.00	Z=	640.00
47	X=	972.00	Y=	220.00	Z=	640.00
48	X=	648.00	Y=	220.00	Z=	640.00
49	X=	324.00	Y=	220.00	Z=	640.00
50	X=	0.00	Y=	220.00	Z=	640.00
51	X=	0.00	Y=	1020.00	Z=	640.00
52	X=	324.00	Y=	1020.00	Z=	640.00
53	X=	648.00	Y=	1020.00	Z=	640.00
54	X=	972.00	Y=	1020.00	Z=	640.00
55	X=	1296.00	Y=	1020.00	Z=	640.00
56	X=	1620.00	Y=	1020.00	Z=	640.00
57	X=	1944.00	Y=	1020.00	Z=	640.00
58	X=	2268.00	Y=	1020.00	Z=	640.00
59	X=	2592.00	Y=	1020.00	Z=	640.00
60	X=	2916.00	Y=	1020.00	Z=	640.00
61	X=	3240.00	Y=	1020.00	Z=	640.00
62	X=	3240.00	Y=	220.00	Z=	640.00
63	X=	2916.00	Y=	220.00	Z=	640.00
64	X=	2592.00	Y=	220.00	Z=	640.00
65	X=	2268.00	Y=	220.00	Z=	640.00
66	X=	1944.00	Y=	220.00	Z=	640.00
67	X=	1620.00	Y=	220.00	Z=	955.00
68	X=	1296.00	Y=	220.00	Z=	955.00
69	X=	972.00	Y=	220.00	Z=	955.00
70	X=	648.00	Y=	220.00	Z=	955.00
71	X=	324.00	Y=	220.00	Z=	955.00
72	X=	0.00	Y=	220.00	Z=	955.00
73	X=	0.00	Y=	1020.00	Z=	955.00
74	X=	324.00	Y=	1020.00	Z=	955.00
75	X=	648.00	Y=	1020.00	Z=	955.00
76	X=	972.00	Y=	1020.00	Z=	955.00
77	X=	1296.00	Y=	1020.00	Z=	955.00
78	X=	1620.00	Y=	1020.00	Z=	955.00

Determinación del Periodo Fundamental

79	X=	1944.00	Y=	1020.00	Z=	955.00
80	X=	2268.00	Y=	1020.00	Z=	955.00
81	X=	2592.00	Y=	1020.00	Z=	955.00
82	X=	2916.00	Y=	1020.00	Z=	955.00
83	X=	3240.00	Y=	1020.00	Z=	955.00
84	X=	3240.00	Y=	220.00	Z=	955.00
85	X=	2916.00	Y=	220.00	Z=	955.00
86	X=	2592.00	Y=	220.00	Z=	955.00
87	X=	2268.00	Y=	220.00	Z=	955.00
88	X=	1944.00	Y=	220.00	Z=	955.00
89	X=	3240.00	Y=	0.00	Z=	320.00
90	X=	2916.00	Y=	0.00	Z=	320.00
91	X=	2592.00	Y=	0.00	Z=	320.00
92	X=	2268.00	Y=	0.00	Z=	320.00
93	X=	1944.00	Y=	0.00	Z=	320.00
94	X=	1620.00	Y=	0.00	Z=	320.00
95	X=	1296.00	Y=	0.00	Z=	320.00
96	X=	972.00	Y=	0.00	Z=	320.00
97	X=	648.00	Y=	0.00	Z=	320.00
98	X=	324.00	Y=	0.00	Z=	320.00
99	X=	0.00	Y=	0.00	Z=	320.00
100	X=	3240.00	Y=	0.00	Z=	640.00
101	X=	2916.00	Y=	0.00	Z=	640.00
102	X=	2592.00	Y=	0.00	Z=	640.00
103	X=	2268.00	Y=	0.00	Z=	640.00
104	X=	1944.00	Y=	0.00	Z=	640.00
105	X=	1620.00	Y=	0.00	Z=	640.00
106	X=	1296.00	Y=	0.00	Z=	640.00
107	X=	972.00	Y=	0.00	Z=	640.00
108	X=	648.00	Y=	0.00	Z=	640.00
109	X=	324.00	Y=	0.00	Z=	640.00
110	X=	0.00	Y=	0.00	Z=	640.00
111	X=	3240.00	Y=	0.00	Z=	955.00
112	X=	2916.00	Y=	0.00	Z=	955.00
113	X=	2592.00	Y=	0.00	Z=	955.00
114	X=	2268.00	Y=	0.00	Z=	955.00
115	X=	1944.00	Y=	0.00	Z=	955.00
116	X=	1620.00	Y=	0.00	Z=	955.00
117	X=	1296.00	Y=	0.00	Z=	955.00
118	X=	972.00	Y=	0.00	Z=	955.00
119	X=	648.00	Y=	0.00	Z=	955.00
120	X=	324.00	Y=	0.00	Z=	955.00
121	X=	0.00	Y=	0.00	Z=	955.00
122	X=	0.00	Y=	0.00	Z=	907.00

123	X=	0.00	Y=	0.00	Z=	1040.00
124	X=	3240.00	Y=	0.00	Z=	907.00
125	X=	3240.00	Y=	0.00	Z=	1040.00
126	X=	0.00	Y=	0.00	Z=	580.00
127	X=	0.00	Y=	0.00	Z=	690.00
128	X=	3240.00	Y=	0.00	Z=	580.00
129	X=	3240.00	Y=	0.00	Z=	690.00
130	X=	0.00	Y=	0.00	Z=	260.00
131	X=	0.00	Y=	0.00	Z=	370.00
132	X=	3240.00	Y=	0.00	Z=	260.00
133	X=	3240.00	Y=	0.00	Z=	370.00
134	X=	1620.00	Y=	455.00	Z=	320.00
135	X=	1620.00	Y=	455.00	Z=	640.00
136	X=	1620.00	Y=	455.00	Z=	955.00

FRAME

NM=5

1	A=1350.00	I=227812.50,101250.00	E=238752 :columnas
2	A=1375.00	I=346614.58,71614.58	E=238752 :vigas
3	A=1375.00	I=346614.58,71614.58	E=238752 :vigas
4	A=940.00	I=173038.33,31333.33	E=238752 :vigas
5	A=1283.00	I=281426.38,66809.90	E=238752 :vigas
1	1 23	M=1 LP=3,0	MS=0,134
4	2 24		MS=0,134
7	3 25		MS=0,134
10	4 26		MS=0,134
13	5 27		MS=0,134
16	6 28		MS=0,134
19	7 29		MS=0,134
22	8 30		MS=0,134
25	9 31		MS=0,134
28	10 32		MS=0,134
31	11 33		MS=0,134
34	12 34		MS=0,134
37	13 35		MS=0,134
40	14 36		MS=0,134
43	15 37		MS=0,134
46	16 38		MS=0,134
49	17 39		MS=0,134
52	18 40		MS=0,134
55	19 41		MS=0,134
58	20 42		MS=0,134
61	21 43		MS=0,134
64	22 44		MS=0,134

Determinación del Periodo Fundamental

2	23	45	MS=134,135
5	24	46	MS=134,135
8	25	47	MS=134,135
11	26	48	MS=134,135
14	27	49	MS=134,135
17	28	50	MS=134,135
20	29	51	MS=134,135
23	30	52	MS=134,135
26	31	53	MS=134,135
29	32	54	MS=134,135
32	33	55	MS=134,135
35	34	56	MS=134,135
38	35	57	MS=134,135
41	36	58	MS=134,135
44	37	59	MS=134,135
47	38	60	MS=134,135
50	39	61	MS=134,135
53	40	62	MS=134,135
56	41	63	MS=134,135
59	42	64	MS=134,135
62	43	65	MS=134,135
65	44	66	MS=134,135
3	45	67	MS=135,136
6	46	68	MS=135,136
9	47	69	MS=135,136
12	48	70	MS=135,136
15	49	71	MS=135,136
18	50	72	MS=135,136
21	51	73	MS=135,136
24	52	74	MS=135,136
27	53	75	MS=135,136
30	54	76	MS=135,136
33	55	77	MS=135,136
36	56	78	MS=135,136
39	57	79	MS=135,136
42	58	80	MS=135,136
45	59	81	MS=135,136
48	60	82	MS=135,136
51	61	83	MS=135,136
54	62	84	MS=135,136
57	63	85	MS=135,136
60	64	86	MS=135,136
63	65	87	MS=135,136
66	66	88	MS=135,136

67	40	41	M=2	LP=1,0	MS=134,134
68	41	42		LP=1,0	MS=134,134
69	42	43		LP=1,0	MS=134,134
70	43	44		LP=1,0	MS=134,134
71	23	44		LP=1,0	MS=134,134
72	23	24		LP=1,0	MS=134,134
73	24	25		LP=1,0	MS=134,134
74	25	26		LP=1,0	MS=134,134
75	26	27		LP=1,0	MS=134,134
76	27	28		LP=1,0	MS=134,134
77	28	29	M=3	LP=1,0	MS=134,134
78	29	30	M=2	LP=1,0	MS=134,134
79	30	31		LP=1,0	MS=134,134
80	31	32		LP=1,0	MS=134,134
81	32	33		LP=1,0	MS=134,134
82	33	34		LP=1,0	MS=134,134
83	34	35		LP=1,0	MS=134,134
84	35	36		LP=1,0	MS=134,134
85	36	37		LP=1,0	MS=134,134
86	37	38		LP=1,0	MS=134,134
87	38	39		LP=1,0	MS=134,134
88	39	40	M=3	LP=1,0	MS=134,134
89	38	41		LP=1,0	MS=134,134
90	37	42		LP=1,0	MS=134,134
91	36	43		LP=1,0	MS=134,134
92	35	44		LP=1,0	MS=134,134
93	34	23		LP=1,0	MS=134,134
94	33	24		LP=1,0	MS=134,134
95	32	25		LP=1,0	MS=134,134
96	31	26		LP=1,0	MS=134,134
97	30	27		LP=1,0	MS=134,134
160	40	89		LP=1,0	MS=134,134
161	41	90		LP=1,0	MS=134,134
162	42	91		LP=1,0	MS=134,134
163	43	92		LP=1,0	MS=134,134
164	44	93		LP=1,0	MS=134,134
165	23	94		LP=1,0	MS=134,134
166	24	95		LP=1,0	MS=134,134
167	25	96		LP=1,0	MS=134,134
168	26	97		LP=1,0	MS=134,134
169	27	98		LP=1,0	MS=134,134
170	28	99		LP=1,0	MS=134,134
98	62	63	M=2	LP=1,0	MS=135,135
99	63	64		LP=1,0	MS=135,135

Determinación del Periodo Fundamental

100	64	65		LP=1,0	MS=135,135
101	65	66		LP=1,0	MS=135,135
102	45	66		LP=1,0	MS=135,135
103	45	46		LP=1,0	MS=135,135
104	46	47		LP=1,0	MS=135,135
105	47	48		LP=1,0	MS=135,135
106	48	49		LP=1,0	MS=135,135
107	49	50		LP=1,0	MS=135,135
108	50	51	M=3	LP=1,0	MS=135,135
109	51	52	M=2	LP=1,0	MS=135,135
110	52	53		LP=1,0	MS=135,135
111	53	54		LP=1,0	MS=135,135
112	54	55		LP=1,0	MS=135,135
113	55	56		LP=1,0	MS=135,135
114	56	57		LP=1,0	MS=135,135
115	57	58		LP=1,0	MS=135,135
116	58	59		LP=1,0	MS=135,135
117	59	60		LP=1,0	MS=135,135
118	60	61		LP=1,0	MS=135,135
119	61	62	M=3	LP=1,0	MS=135,135
120	60	63		LP=1,0	MS=135,135
121	59	64		LP=1,0	MS=135,135
122	58	65		LP=1,0	MS=135,135
123	57	66		LP=1,0	MS=135,135
124	56	45		LP=1,0	MS=135,135
125	55	46		LP=1,0	MS=135,135
126	54	47		LP=1,0	MS=135,135
127	53	48		LP=1,0	MS=135,135
128	52	49		LP=1,0	MS=135,135
171	62	100		LP=1,0	MS=135,135
172	63	101		LP=1,0	MS=135,135
173	64	102		LP=1,0	MS=135,135
174	65	103		LP=1,0	MS=135,135
175	66	104		LP=1,0	MS=135,135
176	45	105		LP=1,0	MS=135,135
177	46	106		LP=1,0	MS=135,135
178	47	107		LP=1,0	MS=135,135
179	48	108		LP=1,0	MS=135,135
180	49	109		LP=1,0	MS=135,135
181	50	110		LP=1,0	MS=135,135
129	84	85	4	LP=1,0	MS=136,136
130	85	86		LP=1,0	MS=136,136
131	86	87		LP=1,0	MS=136,136
132	87	88		LP=1,0	MS=136,136

133	67	88		LP=1,0	MS=136,136
134	67	68		LP=1,0	MS=136,136
135	68	69		LP=1,0	MS=136,136
136	69	70		LP=1,0	MS=136,136
137	70	71		LP=1,0	MS=136,136
138	71	72		LP=1,0	MS=136,136
139	72	73	M=5	LP=1,0	MS=136,136
140	73	74	M=4	LP=1,0	MS=136,136
141	74	75		LP=1,0	MS=136,136
142	75	76		LP=1,0	MS=136,136
143	76	77		LP=1,0	MS=136,136
144	77	78		LP=1,0	MS=136,136
145	78	79		LP=1,0	MS=136,136
146	79	80		LP=1,0	MS=136,136
147	80	81		LP=1,0	MS=136,136
148	81	82		LP=1,0	MS=136,136
149	82	83		LP=1,0	MS=136,136
150	83	84	M=5	LP=1,0	MS=136,136
151	82	85		LP=1,0	MS=136,136
152	81	86		LP=1,0	MS=136,136
153	80	87		LP=1,0	MS=136,136
154	79	88		LP=1,0	MS=136,136
155	78	67		LP=1,0	MS=136,136
156	77	68		LP=1,0	MS=136,136
157	76	69		LP=1,0	MS=136,136
158	75	70		LP=1,0	MS=136,136
159	74	71		LP=1,0	MS=136,136
182	84	111		LP=1,0	MS=136,136
183	85	112		LP=1,0	MS=136,136
184	86	113		LP=1,0	MS=136,136
185	87	114		LP=1,0	MS=136,136
186	88	115		LP=1,0	MS=136,136
187	67	116		LP=1,0	MS=136,136
188	68	117		LP=1,0	MS=136,136
189	69	118		LP=1,0	MS=136,136
190	70	119		LP=1,0	MS=136,136
191	71	120		LP=1,0	MS=136,136
192	72	121		LP=1,0	MS=136,136

SHELL

NM=1

1 E=334252.8

1 JQ=6,28,7,29 ETYPE=1 M=1 TH=15

2 JQ=28,50,29,51 ETYPE=1 M=1 TH=15

Determinación del Periodo Fundamental

3 JQ=50,72,51,73	ETYPE=1	M=1	TH=15
4 JQ=18,40,17,39	ETYPE=1	M=1	TH=15
5 JQ=40,62,39,61	ETYPE=1	M=1	TH=15
6 JQ=62,84,61,83	ETYPE=1	M=1	TH=15
7 JQ=3,25,10,32	ETYPE=1	M=1	TH=15
8 JQ=25,47,32,54	ETYPE=1	M=1	TH=15
9 JQ=47,69,54,76	ETYPE=1	M=1	TH=15
10 JQ=10,32,9,31	ETYPE=1	M=1	TH=20
11 JQ=32,54,31,53	ETYPE=1	M=1	TH=20
12 JQ=54,76,53,75	ETYPE=1	M=1	TH=20
13 JQ=3,25,2,24	ETYPE=1	M=1	TH=20
14 JQ=24,46,25,47	ETYPE=1	M=1	TH=20
15 JQ=47,69,46,68	ETYPE=1	M=1	TH=20
16 JQ=21,43,14,36	ETYPE=1	M=1	TH=15
17 JQ=43,65,36,58	ETYPE=1	M=1	TH=15
18 JQ=65,87,58,80	ETYPE=1	M=1	TH=15
19 JQ=14,36,15,37	ETYPE=1	M=1	TH=20
20 JQ=36,58,37,59	ETYPE=1	M=1	TH=20
21 JQ=58,80,59,81	ETYPE=1	M=1	TH=20
22 JQ=22,44,21,43	ETYPE=1	M=1	TH=20
23 JQ=44,66,43,65	ETYPE=1	M=1	TH=20
24 JQ=66,88,65,87	ETYPE=1	M=1	TH=20

MASSES

134,136,1 M=1054,1054,0,0,0,0

APÉNDICE 2

**ALGUNOS ARTÍCULOS DEL
REGLAMENTO DE LA LEY DE EDIFICACIONES DEL ESTADO DE
BAJA CALIFORNIA
(1992)**

CAPÍTULO II CLASIFICACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES SEGÚN SU DESTINO

ARTÍCULO II.1

Para los efectos de este capítulo las construcciones se clasifican en los siguientes grupos:

GRUPO A.

Construcciones cuya falla estructural podría causar la pérdida de un número elevado de vidas o 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 más de 200 personas; gasolineras, depósitos de sustancias o tóxicas, terminales de transporte y estaciones de bomberos, subestaciones eléctricas y centrales telefónicas y de telecomunicaciones, archivos y registros públicos de particular importancia a juicio de la Secretaría, museos, monumentos y locales que alojen equipo especialmente costoso.

GRUPO B.

Estructuras cuya falla ocasionaría pérdidas de magnitud intermedia, tales como plantas industriales, bodegas ordinarias, comercios, bancos, restaurantes, casas para habitación privada, edificios de apartamentos y oficinas, bardas cuya altura exceda de 2.5m y todas aquellas estructuras cuya falla por un movimiento sísmico pueda poner en peligro otras construcciones de este grupo o del A.

GRUPO C.

Estructuras cuya falla implicaría un costo pequeño y no pueda normalmente causar daños a construcciones de los primeros grupos. Se incluyen en el presente grupo bardas con altura no mayor de 2.5m y bodegas provisionales para la construcción de obras pequeñas.

CAPÍTULO IV DOCUMENTOS

ARTÍCULO IV.2

En ningún caso las estructuras deberán ser construidas, si no se justifica previamente su estabilidad y duración bajo la acción de las cargas que van a soportar y transmitir al subsuelo, es decir si no se presentan las MEMORIAS DE CÁLCULO ESTRUCTURAL correspondientes.

Las MEMORIAS DE CÁLCULO deberán reunir los siguientes requisitos:

- 1) Descripción detallada en la estructura propuesta y de sus elementos componentes, indicando dimensiones, manera como trabajará en su conjunto y la forma como transmitirá las cargas al subsuelo;
- 2) Justificación del tipo de estructura elegida, de acuerdo al proyecto en cuestión y las normas técnicas contenidas en este reglamento, relativas a dimensionamiento, fuerzas aplicadas y métodos de diseño;
- 3) Descripción de tipo y de la calidad de los materiales de la estructura, indicando todos aquellos datos relativos a su capacidad y resistencia, esfuerzos máximos admisibles, módulos elásticos, etc.; y en general todas aquellas características que permitan definir las propiedades mecánicas de todos y cada uno de los elementos de la estructura;
- 4) Indicación y respaldo de los datos relativos al terreno donde se va a cimentar la estructura, como son: corte estratigráfico hasta la profundidad requerida para cimentar, tipo de capa o estrato resistente elegido, profundidad de la misma, capacidad de carga máxima admisible a esa profundidad, ángulo de fricción interna del material y en general todos aquellos datos que permitan definir el suelo en cuestión;
- 5) Descripción del procedimiento constructivo que se va a seguir para llevar a cabo la estructura, en el caso de estructuras autoportantes durante la etapa de construcción, se asentarán los esfuerzos de erección durante la etapa de construcción;

- 6) Presentación obligada del cálculo de todos y cada uno de los elementos tipo, detallando en cada caso las cargas, método de cálculo utilizado, secuencia del mismo y diseño resultante. Independientemente de lo anterior, la secretaría podrá exigir, cuando así lo juzgue conveniente, la presentación de los cálculos completos para su revisión;
- 7) Todos y cada uno de los requisitos anteriores deberán comprender los planos estructurales correspondientes, y
- 8) En general, todos los cálculos y planos que los acompañen, deberán ser perfectamente legibles e intelegibles.

CAPÍTULO XVII DUCTILIDAD

ARTÍCULO XVII.1

Los criterios de diseño sísmico tratados en el título J, parte 2 Requisitos Estructurales de este Reglamento incluyen el uso de factores de comportamiento sísmico “Q” que permitan diseñar para fuerzas sísmicas menores que las correspondientes a coeficientes o espectros de diseño elástico. Mediante estas reducciones, el Reglamento reconoce la capacidad de disipación de energía que poseen distintos sistemas estructurales.

CAPÍTULO XVIII CLASIFICACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES SEGÚN SU ESTRUCTURACIÓN

ARTÍCULO XVIII.1

Por su estructuración las construcciones se clasifican en los siguientes tipos:

TIPO I. DE ESTE TIPO SE AGRUPARON:

- a) Estructuras en que las fuerzas laterales son resistidas por marcos no contraventeados cuya relación altura-base no exceda de 5; en los que el promedio de $R_n / (1 + R_n) > 0.1$, donde:

R_n = Relación de la suma de rigideces relativas $K I/L$ de las trabes de cada nivel entre la suma de las rigideces relativas de las columnas del entrepiso inmediato inferior

$K I/L$ = Rigidez relativa del elemento considerado; momento de inercia entre claro y su modo de apoyo, donde:

$K = 4$; para elementos con doble empotramiento

$K = 3$; para elementos empotrado-articulado;

- b) Estructuras en que las fuerzas laterales son resistidas por marcos no contraventeados entre cuyas trabes y columnas existe continuidad o cuya resistencia lateral es proporcionada por muros de concreto o mampostería, la relación altura total-base no debe exceder de 3. Si el marco no está contraventeado en todas las crujías, al determinar este valor se tomará como base únicamente el ancho de la crujía o crujías contraventeadas, y
- c) Estructuras en que el 50 por ciento o más de su masa se halla en el extremo superior y que tienen un solo elemento resistente en la dirección de análisis. Se incluyen en este tipo los péndulos invertidos.

TIPO II. PERTENECEN A ESTE TIPO:

- a) Los edificios descritos en el tipo I, inciso a) en que la relación altura-base es mayor de 5 o en los que el promedio $R_n / (1 + R_n)$ es mayor que 0.1;
- b) Los edificios descritos en el tipo I, inciso B) en que la relación altura-base es mayor de 3, no siendo necesario que las trabes y columnas estén unidas en forma de asegurar la continuidad de momentos;
- c) Estructuras en que las fuerzas laterales son resistidas por la acción combinada de marcos y muros, y

- d) Estructuras cuya deformación ante fuerza lateral sea esencialmente como la de una viga de flexión en voladizo, con excepción de los péndulos invertidos considerados en el tipo I, y

TIPO III. ESTRUCTURAS ESPECIALES:

Son aquellas que no pueden incluirse dentro de los tipos anteriores o que están sujetas a efectos adicionales como son muros de retención y los tanques.

CAPÍTULO LXXXV DISPOSICIONES GENERALES

ARTÍCULO LXXXV. 1

Se consideran los siguientes tipos de terreno atendiendo a su rigidez:

- | | |
|-----------|---|
| Tipo I. | Terreno firme. |
| Tipo II. | Terreno de transición o relleno de formación no muy reciente. |
| Tipo III. | Terreno blando muy compresible. |

Aunque se hagan estos tipos de consideraciones en cuanto a los tipos de terrenos, será necesario que para el diseño de toda estructura se realice un estudio de mecánica de suelos con la finalidad de determinar con certeza sus características y clasificación correspondiente.

Los coeficientes de diseño sísmico para cada uno de éstos tres tipos de terreno se especifican en el artículo LXXXV.5 y el capítulo LXXXVI.

Mediante el desarrollo de estudios especiales, cualquier terreno del tipo III se podrá clasificar como alguno de los dos primeros de acuerdo con el siguiente procedimiento.

- a) Se localizará el nivel de terreno firme, nivel bajo el cual todos los suelos tengan módulos de rigidez mayores de 50 000 ton/m², o requieran más de 50 golpes por cada 30 cm, en la prueba de penetración standard.

- b) Para estratos comprendidos entre el nivel del terreno firme y el nivel en que las aceleraciones horizontales del terreno se transmitan a la construcción, se calculará:

$$\Sigma = \sum H_i (T_i / G_i)^{1/2}$$

donde:

H_i = Espesor del i -ésimo estrato en m.

T_i = Su peso volumétrico en ton/m^3 .

G_i = Módulo de rigidez en ton/m^2 .

Si $\Sigma H_i (T_i / G_i)^{1/2} < 0.20$ El terreno se considerará firme, del tipo I

Si $0.20 < \Sigma H_i (T_i / G_i)^{1/2} < 0.45$ El terreno se considerará de transición tipo II

A falta de información más precisa, para la aplicación del criterio anterior puede tomarse para T_i el valor de 1.5 ton/m^3 , y los valores de G_i pueden estimarse como $G_i = 0.35 E_i$; en que E_i es la pendiente inicial de la curva esfuerzo-deformación de una prueba de compresión simple.

Para esta clasificación se tomarán en cuenta todos los suelos que se encuentran debajo del nivel en que las aceleraciones horizontales se transmiten en la construcción, por ejemplo en el caso de un cajón de cimentación, este nivel correspondería al desplante de la losa inferior.

ARTÍCULO LXXXV.2

Las construcciones se clasifican en los siguientes grupos:

GRUPO A.

Estructuras que sean realmente importantes a raíz de un sismo o que en caso de fallar, causarían pérdidas directas o indirectas, excepcionalmente altas en comparación con el costo necesario para aumentar su seguridad.

Tal es el caso de subestaciones eléctricas, centrales telefónicas, estaciones de bomberos, archivos y registros públicos, hospitales, escuelas, auditorios, templos, salas de espectáculos, estaciones, terminales de transportes, monumentos, museos y locales que alojen equipo especialmente costoso en relación con la estructura.

GRUPO B.

Estructuras cuya falla ocasionaría pérdidas de magnitud intermedia, tales como plantas industriales, bodegas ordinarias, gasolineras, comercios, bancos, restaurantes, casas para habitación privada, hoteles, edificios de apartamentos y oficinas, bardas cuya altura exceda de 2.5m y todas aquellas estructuras cuya falla por un movimiento sísmico pueda poner en peligro otras construcciones de éste grupo o del A.

GRUPO C.

Estructuras cuya falla implicaría un costo pequeño y no pueda normalmente causar daños a construcciones de los primeros grupos. Se incluyen en el presente grupo bardas con altura no mayor de 2.5m y bodegas provisionales para la construcción de obras pequeñas.

ARTÍCULO LXXXV.3

Clasificación de las construcciones según su estructura:

Tipo I. Dentro de éste se agruparon:

- a) Estructuras en que las fuerzas laterales son resistidas por marcos no contraventeados cuya relación altura-base no exceda de 5; en los que el promedio de $RN > 1/9$ (un noveno).

donde:

RN = Relación de la suma de rigideces relativas I/L de las traveses de cada nivel entre la suma de rigideces relativas de las columnas del entrepiso inmediato inferior.

- b) Estructuras en que las fuerzas laterales son resistidas por marcos no contraventeados entre cuyas traveses y columnas existe continuidad o cuya resistencia lateral es proporcionada por muros de concreto o mampostería, la relación altura total-base no debe excederse de 3. Si el

marco no esta contraventeado en todas las crujías al determinar éste valor se tomara como base únicamente el ancho de la crujía o crujías contraventeadas.

- c) Estructuras en que el 50 por ciento o mas de sus masa se halla en el extremo superior y que tiene un solo elemento resistente en la dirección del análisis. Se incluyen en éste tipo los péndulos invertidos.

Tipo II. Pertenecen a este tipo:

- a) Los edificios descritos en el tipo I, inciso a) en que la relación altura-base es mayor de 5 o en los que el promedio RN es menor que 1/9 (un noveno).
- b) Los edificios descritos en el tipo I, inciso b) en que la relación altura-base es mayor que 3, no siendo necesario que las trabes y columnas estén unidas en forma de asegurar la continuidad de momentos.
- c) Estructuras en que las fuerzas laterales son resistidas por la acción combinada de marcos y muros.
- d) Estructuras cuya deformación ante fuerza lateral sea esencialmente como la de una viga de flexión en voladizo, con excepción de los péndulos invertidos considerados en el tipo I.

Tipo III. Estructuras especiales

Son aquellas que no puedan incluirse dentro de los tipos anteriores o que están sujetas a efectos adicionales como son muros de retención y tanques.

ARTÍCULO LXXXV.4

En este reglamento se presentan tres métodos de análisis sísmico:

- a) Método simplificado descrito en el artículo LXXXVI.9

- b) Método estático descrito en el capítulo LXXXVI
- c) Método dinámico descrito en el capítulo LXXXIX

En cada uno de esos artículos se fijan las limitaciones para su aplicación.

ARTÍCULO LXXXV.5

Se entiende por coeficiente sísmico, C , al cociente de la fuerza cortante horizontal en la base de la estructura sin reducir por ductilidad, y el peso W de la misma sobre dicho nivel.

Para el cálculo de W se tomarán las cargas muertas y vivas que se especifican en el título B parte 2.

En el método estático del análisis sísmico de las construcciones tratado en el capítulo LXXXVI, se emplearán los coeficientes sísmicos que se indican en la tabla 74 para el grupo B, de edificaciones de acuerdo con la zona sísmica y el tipo de terreno.

Para el grupo A, se multiplicarán los valores del grupo B por 1.5.

El grupo C no requiere ser analizado por sismo.

TABLA 74

VALORES DE C , PARA EL GRUPO DE EDIFICACIONES P1, P2 PARA DISTINTAS ZONAS SÍSMICAS DEL ESTADO.

ZONA SÍSMICA	TIPO DE SUELO	C	P1	P2
B	I	0.16	0.4	0.6
	II	0.20	0.75	1.5
	III	0.24	1.0	2.5
C	I	0.24	0.3	0.5
	II	0.30	0.6	1.2
	III	0.36	0.8	2.2

P1 y P2 están en segundos. En el artículo LXXXVI.8 se explica como emplearlos.

En la figura 6 se indican las zonas sísmicas del Estado de Baja California.

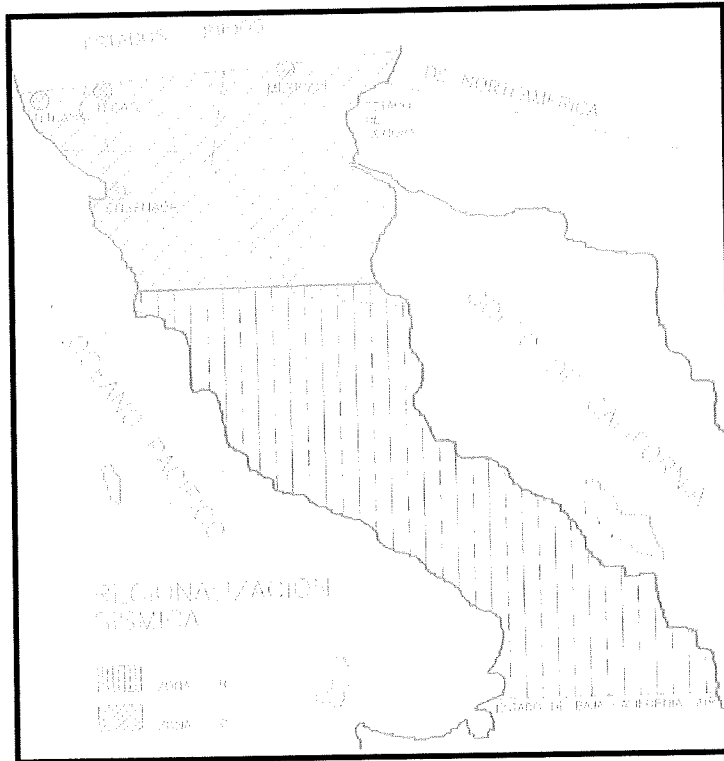


FIGURA 6

ARTÍCULO LXXXV.6

Para fines de cálculo de fuerzas internas en la estructura del producto CW se dividirá entre el factor Q que se especifica en la tabla 75.

Para el cálculo de deformaciones y desplazamientos se usará el valor de CW sin reducción.

El factor Q podrá diferir en las dos direcciones ortogonales en que se analiza la estructura, según sean las ductilidades de ésta en dichas direcciones.

TABLA 75

FACTORES DE REDUCCIÓN

Q

CASO	TIPO DE ESTRUCTURA	REQUISITOS	Q
1	I	<p>La resistencia en todos los niveles es suministrada exclusivamente por marcos no contraventeados de acero con zona de fluencia definida que cumpla con las siguientes condiciones:</p> <p>a Las vigas y columnas deberán satisfacer los requisitos de las secciones compactas del título G parte 2.</p> <p>b El promedio de los factores de seguridad para fuerza cortante en todos los entrepisos no podrá ser mayor que 1.25 veces el mínimo de dichos factores de seguridad. Se entiende aquí por factor de seguridad el cociente entre la resistencia al cortante de un entrepiso y la fuerza cortante que actúa en ese entrepiso.</p> <p>c Los tableros de piso irán arriostrados con diagonales a los nodos de la estructura o serán losas de concreto unidas con conectores a las vigas.</p> <p>d Los muros deben estar ligados a la estructura de tal forma que no impidan la deformación de esta.</p>	4
2	I y II	<p>La resistencia en todos los niveles es suministrada exclusivamente por marcos no contraventeados de concreto, madera o acero que no cumplan con los requisitos del caso 1. Los muros irán ligados a la estructura como se indica en el caso 1.</p>	3

		<p>O bien, la resistencia en todos los niveles es suministrada exclusivamente por marcos contraventeados o rigidizados con muros de concreto, pero la capacidad de los marcos sin contar muros o contravientos es cuando menos el 25 por ciento de la total requerida.</p> <p>El promedio de los factores de seguridad para fuerza cortante en todos los entrepisos no es mayor que 1.5 veces el mínimo de los factores de seguridad.</p>	
3	I y II	<p>La resistencia a fuerzas laterales es suministrada cuando menos en un entrepiso por marcos de madera, acero o de concreto reforzado, contraventeados o no, rigidizados con muros o no, que no cumplan con los requisitos del caso 2. O bien, la resistencia a fuerzas laterales, está dada por muros de mampostería de piezas macizas confinadas por castillos y dalas o losas, o por columnas y traveses de concreto reforzado o de acero. Estos muros y su confinamiento cumplirán con las restricciones establecidas en el título E, parte 2.</p>	2
4	II	<p>La resistencia a fuerzas laterales es suministrada por lo menos parcialmente por muros de mampostería de piezas huecas confinados por castillos y dalas o losas, o por columnas y traveses de concreto. Las piezas huecas y los confinamientos cumplirán con los requisitos del título E, parte 2.</p>	1.5
5	II y III	<p>Estructuras de muros cargados de mampostería natural o artificial, sin confinar con castillos.</p> <p>Se incluyen las construcciones con muros de adobe, que cumplan con los requisitos del título E.</p>	1

ARTÍCULO LXXXVI.8

Se pueden hacer reducciones importantes de los coeficientes sísmicos C , que se emplean en los incisos a y b del artículo LXXXVI, sustituyendo C por el valor de C' , obtenido como sigue

$$\text{Si } P < P1 \quad C' = \alpha + \alpha (C - \alpha) P/P1$$

$$\text{Si } P1 < P < P2 \quad C' = C$$

$$\text{Si } P > P2 \quad C' = C P2/P$$

donde: α = valor que depende según la zona sísmica del Estado:

Zona B, $\alpha = 0.08$

Zona C, $\alpha = 0.12$

P = valor más desfavorable del período fundamental de vibración, calculado como se indica en el artículo LXXXVI.9.

$P1$ y $P2$ = valores del período fundamental que aparecen en la tabla 6 de acuerdo con la zona y el tipo de terreno.

ARTÍCULO LXXXVI.9

El período fundamental, P en la dirección considerada se puede obtener con la expresión:

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g \sum_{i=1}^N F_i X_i}{\sum_{i=1}^N W_i X_i^2}}$$

F_i = fuerza de inercia al nivel i calculada como se indica en el art. LXXXVI.1, parte 2

W_i = peso del nivel i en ton

N = número de niveles

X_i = desplazamiento del nivel i debido a la fuerza F_i en cm

g = aceleración de la gravedad en cm/s^2 .

Se supondrá que el período natural de vibración puede exceder del calculado hasta en 33 por ciento o ser inferior hasta en 25 por ciento y se adoptará el más desfavorable en el intervalo.

CAPÍTULO XC ESPECTROS PARA DISEÑO SÍSMICO

ARTÍCULO XC.1

Cuando se aplique el análisis dinámico modal de este reglamento, se adoptarán las siguientes hipótesis para el análisis de la estructura:

La ordenada del espectro de aceleraciones para diseño sísmico, "a", expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, está dada por las siguientes expresiones:

$$a = (1 + 3 P/P_a) C/4, \quad \text{si } P \text{ es menor que } P_a$$

$$a = C, \quad \text{si } P \text{ está entre } P_a \text{ y } P_b$$

$$a = q C, \quad \text{si } P \text{ excede de } P_b$$

donde:

$$q = [P_b/P]$$

a = ordenada de los espectros de diseño, como fracción de la aceleración de la gravedad, sin reducción con fines de diseño (adimensional)

Determinación del Periodo Fundamental

P = período natural de vibración (en segundos)

Pa y Pb = períodos característicos de los espectros de diseño (en segundos)

C = coeficiente de diseño sísmico (adimensional)

Dichos valores se encuentran en la tabla 78

TABLA 78

VALORES DE Pa, Pb y r.

Zona	Pa	Pb	r
B	0.3	1.5	2/3
C	0.6	3.9	1

CAPÍTULO XCI REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS

ARTÍCULO XCI.1 FACTOR REDUCTIVO

Con fines de diseño, las fuerza sísmicas para análisis dinámico modal empleando los métodos que fijan estas normas se podrán reducir dividiéndolas entre el factor reductivo Q'. En el diseño sísmico de estructuras que satisfagan las condiciones de regularidad que fija el artículo LXXXV.7 parte 2 de este reglamento, Q' se calculará como sigue:

$Q' = Q$ si se desconoce P o si éste es mayor o igual que Pa

$Q' = 1 + (P/Pa) (Q - 1)$, si P es menor que Pa

donde:

Q' = factor reductivo de fuerzas sísmicas con fines de diseño, función del período natural.

Q = factor de comportamiento sísmico, independiente de P.

P = se tomará igual al período natural de vibración del modo que se considere cuando se emplee el método de análisis modal y

Pa = es un período característico del espectro de diseño.

En el diseño sísmico de estructuras que no satisfagan las condiciones de regularidad, se multiplicará por 0.8 el valor de Q'.

Cuando se adopten dispositivos especiales capaces de disipar energía por amortiguamiento o comportamiento inelástico, podrán emplearse criterios de diseño sísmico que difieran de los aquí especificados, pero congruentes con ellos, si se demuestran a satisfacción de la Secretaría tanto de eficacia de los dispositivos o soluciones estructurales como la validez de los valores del amortiguamiento y de Q' que se propagan.

CAPÍTULO XCII PERÍODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN

Cuando se aplique el análisis dinámico modal se adoptará como ordenada del espectro de aceleraciones para diseño sísmico, "a", expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, la que se especifica en el artículo XC.1

El período fundamental de la estructura se calculará teniendo en cuenta su interacción en el terreno, como se especifica en el artículo XCIII.1.

Para estructuras ubicadas en sitios para los que se desconoce el período dominante más largo del sitio, el coeficiente c se obtiene de la tabla 74.

APÉNDICE 3
MEMORIA DE CÁLCULO
(FRANCO, 1995)

Tipo	Elemento	Dimensión (m)
C-1	columna	0.30 x 0.45
T-5	trabe de cubierta	0.27 x 0.47
T-6	trabe de cubierta	0.25 x 0.51
T-1	trabe de entrepiso	0.25 x 0.55
T-2	trabe de entrepiso	0.25 x 0.55

Tabla XX tipo de elemento y sus dimensiones (Franco, 1995)

Material	Resistencia (kg/cm ²)
Concreto: trabes, columnas, losas y cimentación	F'c = 250
Acero: varillas #3 y mayores	Fy = 4200

Tabla XX tipo material y resistencia del mismo (Franco, 1995)

Especificaciones generales para el concreto

En caso de no especificarse usar los siguientes recubrimientos mínimos tabla XX.

Concepto	Recubrimiento (cm)
Inferior y superior en losas	2.00
Lateral, inferior y superior en trabes	3.00

Tabla XX recubrimiento minimo (Franco, 1995)

Especificaciones generales para acero de refuerzo:

- Al momento del colado, el acero deberá estar limpio de lodo, grasa y cualquier material extraño que afecte la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.
- Los traslapes de las varillas deberán de ser de una longitud de 40 veces el diámetro de la varilla.
- Los traslapes de las varillas no deberán coincidir todos en la misma sección del elemento.
- Todos los dobleces de las varillas deberán de hacerse en frío

APÉNDICE 4

FÓRMULA DE RAYLEIGH

Apéndices

Cálculo del periodo fundamental con la fórmula de Rayleigh en la dirección longitudinal y transversal

Peso total del Edificio (Suma de los pesos de los entrepisos) = 1034.2 ton

Factor de reducción por Ductilidad (Q) = 3

Coefficiente Sísmico (c) = 0.72 P1 = 0.27 P2 = 1.2 α = 0.12

Cortante Basal (Vs) = 248.2 ton

							D i r e c c i ó n X				
Nivel	Entrepiso	hi (m)	Wi (ton)	Wih (ton m)	Fi (ton)	Vi (ton)	Kix (ton/cm)	Vi/Kix (cm)	Xi (cm)	Wixi ² (ton cm)	Fixi (ton cm)
3		9.02	226.5	2043.4	85.8				0.22	10.50	18.48
	3					85.8	986.7	0.09			
2		6.42	396.5	2545.8	106.9				0.13	6.53	13.73
	2					192.8	2127.10	0.09			
1		3.21	411.2	1320.0	55.4				0.04	0.59	2.09
	1					248.2	6578.3	0.04			
		Σ	1034.3	5909.2					Σ	17.62	34.30

Periodo calculado con Rayleigh = 0.144
 Periodo corregido (Artículo LXXXVI.9)= 0.191

							D i r e c c i ó n Y				
Nivel	Entrepiso	hi (m)	Wi (ton)	Wih (ton m)	Fi (ton)	Vi (ton)	Kix (ton/cm)	Vi/Kix (cm)	Xi (cm)	Wixi ² (ton cm)	Fixi (ton cm)
3		9.55	226.5	2163.5	89.1				0.07	1.17	6.41
	3					89.1	4231.5	0.02			
2		6.42	396.5	2545.8	104.8				0.05	1.03	5.34
	2					193.9	6756.3	0.03			
1		3.21	411.2	1320.0	54.3				0.02	0.20	1.21
	1					248.2	11161.7	0.02			
		Σ	1034.3	6029.3					Σ	2.41	12.96

Periodo calculado con Rayleigh = 0.086
 Periodo corregido (Artículo LVXXXI.9)= 0.115

APÉNDICE 5
MÉTODO DE NEWMARK

Cálculo del periodo fundamental con el método de Newmark en la dirección longitudinal

$$P = \frac{2\pi}{\sqrt{W}}$$

m1= 0.2309
 m2= 0.4042
 m3= 0.4192
 k1= 986.7
 k2= 2127.14
 k3= 6578.32
 Wt= 1034.3

P = 0.14 s

m = WL / g	Yo	FDI / W ²	V = Q / W ²	K	V / K	Y1 / W ²	Yo / (Y1 / W ²)	Y'o
0.2309	3	0.6927				0.0017	1765.0798	5.8224
			0.6927	986.7	0.0007			
0.4042	2	0.8084				0.0010	2004.8060	3.4175
			1.5011	2127.14	0.0007			
0.4192	1	0.4192				0.0003	3425.6731	1
			1.9203	6578.32	0.0003			
0.2309	5.8224	1.3444				0.0031	1864.9627	6.5303
			1.3444	986.7	0.0014			
0.4042	3.41746	1.3813				0.0018	1942.3104	3.6803
			2.7257	2127.14	0.0013			
0.4192	1	0.4192				0.0005	2091.7207	1
			3.1449	6578.32	0.0005			
0.2309	6.5303	1.5079				0.0035	1889.8605	6.6569
			1.5079	986.7	0.0015			
0.4042	3.68035	1.4876				0.0019	1909.6025	3.7129
			2.9955	2127.14	0.0014			
0.4192	1	0.4192				0.0005	1926.4972	1
			3.4147	6578.32	0.0005			
0.2309	6.6569	1.5371				0.0035	1895.7745	6.6819
			1.5371	986.7	0.0016			
0.4042	3.71291	1.5008				0.0020	1900.4903	3.7176
			3.0378	2127.14	0.0014			
0.4192	1	0.4192				0.0005	1902.8733	1
			3.4570	6578.32	0.0005			
0.2309	6.6819	1.5428				0.0035	1897.1547	6.6872
			1.5428	986.7	0.0016			
0.4042	3.71756	1.5026				0.0020	1898.2566	3.7184
			3.0455	2127.14	0.0014			
0.4192	1	0.4192				0.0005	1898.6787	1
			3.4647	6578.32	0.0005			

Determinación del Periodo Fundamental

Cálculo del periodo fundamental con el método de Newmark en la dirección transversal

$$P = \frac{2\pi}{\sqrt{W}}$$

m1= 0.2309
 m2= 0.4042
 m3= 0.4192
 k1= 4231.5
 k2= 6756.3
 k3= 11161.7
 Wt= 1034.3

P = 0.09 s

m = WL / g	Yo	FDI / W ²	V = Q / W ²	K	V / K	Y1 / W ²	Yo / (Y1 / W ²)	Y'o
0.2309	3	0.6927				0.0006	5377.0926	3.2429
			0.6927	4231.5	0.0002			
0.4042	2	0.8084				0.0004	5073.2900	2.2914
			1.5011	6756.3	0.0002			
0.4192	1	0.4192				0.0002	5812.4772	1
			1.9203	11161.7	0.0002			
0.2309	3.2429	0.7488				0.0006	5294.6355	3.2645
			0.7488	4231.5	0.0002			
0.4042	2.29140	0.9262				0.0004	5261.1335	2.3213
			1.6750	6756.3	0.0002			
0.4192	1	0.4192				0.0002	5329.8834	1
			2.0942	11161.7	0.0002			
0.2309	3.2645	0.7538				0.0006	5284.6876	3.2658
			0.7538	4231.5	0.0002			
0.4042	2.32135	0.9383				0.0004	5280.6565	2.3240
			1.6921	6756.3	0.0003			
0.4192	1	0.4192				0.0002	5286.7451	1
			2.1113	11161.7	0.0002			
0.2309	3.2658	0.7541				0.0006	5283.3570	3.2657
			0.7541	4231.5	0.0002			
0.4042	2.32402	0.9394				0.0004	5282.8180	2.3242
			1.6934	6756.3	0.0003			
0.4192	1	0.4192				0.0002	5283.3035	1
			2.1126	11161.7	0.0002			
0.2309	3.2657	0.7541				0.0006	5283.1591	3.2657
			0.7541	4231.5	0.0002			
0.4042	2.32424	0.9395				0.0004	5283.0790	2.3242
			1.6935	6756.3	0.0003			
0.4192	1	0.4192				0.0002	5283.1067	1
			2.1127	11161.7	0.0002			